

BIOCHAR, COMPOSTO ORGÂNICO E POTÁSSIO NAS
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES
EM ESPODOSSOLO E NO CULTIVO DE MUCUNA PRETA E
MORINGA

CAROLINE CÂNDIDA MARTINS

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO – 2018

**BIOCHAR, COMPOSTO ORGÂNICO E POTÁSSIO NAS
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES
EM ESPODOSSOLO E NO CULTIVO DE MUCUNA PRETA E
MORINGA**

CAROLINE CÂNDIDA MARTINS

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutorado em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof^a. Luciana Aparecida Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCH / UENF**

077/2018

M386 Martins, Caroline Cândida.

Biochar, composto orgânico e potássio nas características químicas e lixiviação de nutrientes em Espodossolo e no cultivo de mucuna preta e moringa / Caroline Cândida Martins – Campos dos Goytacazes, e, 2018.

113 f.

Bibliografia: f. 97 - 113.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2018.

Orientadora: Luciana Aparecida Rodrigues.

1. Solos Arenosos. 2. Adubação de Potássio. 3. Adubação Orgânica. 4. Fertilidade. 5. Nutrição de Plantas. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD – 631.8

BIOCHAR, COMPOSTO ORGÂNICO E POTÁSSIO NAS
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES
EM ESPODOSSOLO E NO CULTIVO DE MUCUNA PRETA E
MORINGA

CAROLINE CÂNDIDA MARTINS

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutorado em Produção Vegetal.

Aprovada em 09 de março de 2018.

Comissão Examinadora:

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF

Prof^a. Deborah Guerra Barroso (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Gilmar Santos Costa (D.Sc., Produção Vegetal) – IFF

Prof^a. Luciana Aparecida Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF
(Orientadora)

A Deus;

Aos meus pais, Vanilda Maria Cândida Martins e José de Souza Martins;

Ao meu irmão, Douglas Cândido Martins, à minha sobrinha Isabella Martins e a todos os meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, aquele que me guia, acompanha, protege, ilumina, dá força e me abençoa;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de Solos, pela oportunidade de realização deste curso;

A universidade e ao CNPq, pelo financiamento da bolsa;

À professora e orientadora Luciana Aparecida Rodrigues, pela confiança, pela amizade e pelo exemplo como profissional;

À professora e coorientadora Deborah Guerra Barroso e ao professor Cláudio Roberto Marciano, pelos conselhos, opiniões e pela convivência;

Aos técnicos do Laboratório de Solos, Ederaldo, Kátia, Vanilda e Andréia pelo auxílio com os equipamentos, pelas dúvidas sanadas quanto às análises;

A todos os meus amigos e companheiros de Pós-Graduação, em especial ao Fabrício, Lucas, Erika, David, Júlia, Ellen, João e Rosely pelo companheirismo;

Aos companheiros de laboratório Júlia, João, Mauricio, Angélica, Bruna, Tainá, Gabriel e Ellen pelo auxílio na montagem e condução dos experimentos, realização das análises e tabulação de dados, sem vocês nada disso seria possível;

A todos os meus familiares, que sempre me apoiaram e compreenderam minha ausência;

E a todos que, pararam para ler este trabalho, muito obrigada.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| RESUMO | vii |
| ABSTRACT | ix |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Hipóteses | 3 |
| 1.2. Objetivo Geral | 4 |
| 1.3. Objetivos Específicos | 4 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 5 |
| 2.1 Biochar | 5 |
| 2.1.1. Histórico e Importância do Biochar | 5 |
| 2.1.2. Características Químicas e Físicas do Biochar | 9 |
| 2.1.3. Efeito do Biochar no Solo | 10 |
| 2.1.4. Efeito do Biochar no Crescimento Vegetal | 12 |
| 2.2. Composto Orgânico | 14 |
| 2.3. Potássio no Solo e na Planta | 16 |
| 2.4. Lixiviação de Nutrientes | 18 |
| 2.5. Mucuna Preta (<i>Mucuna aterrima</i>) | 20 |
| 2.6. Moringa Oleifera | 21 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 24 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 31 |
| 4.1. Análises químicas do solo recém-incubado, da água da primeira lixiviação, do solo da superfície e subsuperfície dos vasos e da água da segunda lixiviação realizada após o cultivo da mucuna..... | 31 |
| 4.2. Distribuição de K no sistema solo-planta-água-de-lixiviação | 47 |
| 4.3. Crescimento e nutrição mineral do adubo verde | 53 |

| | |
|--|----|
| 4.4. Análise química do solo após a decomposição do adubo verde e cultivo das plantas de moringa | 58 |
| 4.5. Crescimento e nutrição mineral das plantas de moringa | 64 |
| 5. RESUMO E CONCLUSÕES | 74 |
| 6. ANEXOS | 77 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 97 |

RESUMO

MARTINS, Caroline Cândida, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2018. Biochar, composto orgânico e potássio nas características químicas e lixiviação de nutrientes em Espodossolo e no cultivo de mucuna preta e moringa. Orientadora: Prof^a. Luciana Aparecida Rodrigues. Coorientadora: Prof^a. Deborah Guerra Barroso.

A aplicação de biochar tem grande potencial para promover alterações químicas no solo que podem incrementar o aproveitamento de nutrientes, pelas plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do biochar associado ao composto orgânico e ao KCl sobre as características químicas do solo, sobre a lixiviação de nutrientes e sobre o crescimento e nutrição da mucuna preta e posteriormente da *Moringa oleífera*. Inicialmente foi conduzido um experimento em casa de vegetação, em blocos casualizados, em um fatorial 2 x 2 x 3: com e sem biochar (1% v/v) x com e sem composto orgânico (10 % v/v) x três doses de potássio: 0; 53,65 e 107,30 mg dm⁻³ (na forma de KCl), com 3 repetições. Amostras de solo (Espodossolo) receberam os tratamentos e foram incubadas por 20 dias em sacos plásticos em casa de vegetação sendo, em seguida coletadas amostras para análise química. Os vasos foram confeccionados com dois anéis de PVC sobrepostos, tendo instalada na base inferior, uma mangueira para coleta da água de lixiviação. Na subsuperfície foi acondicionado o solo sem tratamento e na superfície o solo recém-incubado. Os vasos receberam água até atingir a saturação e mais 50% do volume total de poros. A drenagem foi mantida por 24 horas e foram coletadas amostras de água para análise. Nestes vasos, plantas de mucuna foram cultivadas por 40 dias e então cortadas, sendo determinada a matéria seca da parte aérea (MSPA) e também os teores K, Ca, Mg, P e N. Após o corte da mucuna os vasos foram novamente submetidos à lixiviação e coleta da

água percolada onde foram determinados os teores de Ca, Mg, K, pH e condutividade elétrica. Foram também coletadas amostras de solo da superfície e da subsuperfície dos vasos para caracterização química. Após o corte da mucuna e realização da segunda lixiviação, metade da biomassa fresca da mucuna foi depositada sobre os vasos e após 4 meses de decomposição deste material foram plantados nesses vasos plântulas de moringa. Nessa fase do experimento foi retirada a dose intermediária de K mantendo-se o esquema fatorial 2 x 2 x 2: com e sem a aplicação de biochar x com e sem aplicação de composto orgânico x sem adubação potássica (dose zero) e 100 % da recomendação. Foi realizada a reaplicação do biochar (1% v/v) e a aplicação do K pela incorporação superficial destes materiais ao solo da superfície dos vasos. Em cada vaso foi realizado o plantio de uma muda de moringa, sendo estas monitoradas e irrigadas por 4 meses, quando foi realizada a coleta das plantas para quantificação da biomassa e teores de nutrientes na parte aérea e nas raízes. Foram coletadas amostras de solo para caracterização química no solo da superfície e da subsuperfície dos vasos. Os dados tanto do primeiro, quanto do segundo experimento foram submetidos à análise de variância e ao teste de médias. Na mucuna, o biochar proporcionou maior acúmulo de MSPA das plantas comparativamente à sua não aplicação. A maior retenção de K no solo foi verificada com a adição do biochar, enquanto sua não aplicação proporcionou maiores perdas desse elemento principalmente na água da primeira lixiviação. O biochar aumentou os teores de K comparativamente a sua não aplicação, independente da adição do KCl, no solo e na água de lixiviação. O biochar foi capaz de aumentar os teores de bases e de P no solo e reduzir a presença destes elementos na água de lixiviação. As doses crescentes de KCl alteram a dinâmica das bases no solo. O biochar foi capaz de nutrir tanto as plantas de mucuna, quanto as de moringa adequadamente e aumentou a eficiência de utilização de nutrientes na parte aérea sem a aplicação do KCl e também em todas as doses de KCl aplicadas na mucuna e a moringa. O efeito positivo do composto orgânico somente foi verificado após o cultivo da moringa aumentando o crescimento e a nutrição dessas plantas, bem como os teores dos nutrientes no solo. Tanto a aplicação conjunta do biochar e do composto orgânico, quanto a aplicação do biochar com o KCl proporcionaram efeitos positivos nos teores de nutrientes no solo e no crescimento e nutrição das plantas de moringa.

ABSTRACT

MARTINS, Caroline Cândida, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March, 2018. Biochar, organic compound and potassium in the chemical characteristics and leaching of nutrients in Spodosol and the cultivation of mucuna preta and moringa. Advisor: Professor Luciana Aparecida Rodrigues. Coadvisor: Professor Deborah Guerra Barroso.

The application of biochar has great potential to promote chemical changes in the soil that can increase the use of nutrients by plants. The objective of this work was to evaluate the influence of biochar associated with organic compound and KCl on soil chemical characteristics, leaching of nutrients and growth and nutrition of black mucuna and later Moringa oleífera. Initially, a randomized complete block experiment was carried out in a 2 x 2 x 3 factorial: with and without biochar (1% v / v) x with and without organic compound (10% v / v) x three doses of potassium: 0; 53.65 and 107.30 mg dm⁻³ (as KCl), with 3 replicates. Samples of soil (Espodosoil) were treated and incubated for 20 days in plastic bags in a greenhouse. Samples were then collected for chemical analysis. The vessels were made with two overlapping PVC rings, and a hose was installed in the lower base to collect the leaching water. In the subsurface the soil was conditioned without treatment and on the surface the newly incubated soil. The vessels received water until reaching saturation and 50% of the total pore volume. Drainage was maintained for 24 hours and water samples were collected for analysis. Mucuna plants were cultivated for 40 days and then cut, and the dry matter of the aerial

part (MSPA) and also the K, Ca, Mg, P and N contents were determined. After the cut of the mucuna the pots were again submitted to the leaching and collection of the percolated water where the contents of Ca, Mg, K, pH and electrical conductivity were determined. Soil samples were also collected from the surface and subsurface of the vessels for chemical characterization. After the cut of the mucuna and realization of the second leaching, half of the fresh biomass of the mucuna was deposited on the pots and after 4 months of decomposition of this material were planted in these pots the moringa. In this phase of the experiment, the intermediate dose of K was withdrawn maintaining the factorial scheme 2 x 2 x 2: with and without the application of biochar x with and without application of organic compound x without potassium fertilization (zero dose) and 100% of recommendation. The incorporation of The biochar (1% v / v) and of K was performed on the soil of the vessel surface and carried out. In each vase was planted a moringa seedlings, which were monitored and irrigated for 4 months, when the plants were collected for quantification of biomass and nutrient contents in shoot and roots. Soil samples were collected for chemical characterization in the soil of the surface and subsurface of the vessels. Data from both the first and the second experiment were submitted to analysis of variance and test of means. In the mucuna, the biochar provided greater accumulation of MSPA of the plants compared to its non-application. The higher retention of K in the soil was verified with the addition of biochar, while its non-application provided higher losses of this element mainly in the water of the first leach. The biochar increased the contents of K compared to its non-application, independent of the addition of KCl, in the soil and the leaching water. The biochar was able to increase the P contents and other nutrients in the soil and reduce the presence of these elements in the leaching water. Increasing doses of KCl alter soil nutrient dynamics. The biochar was able to nourish both mucuna and moringa plants adequately and increased the efficiency of nutrient utilization in the aerial part without the application of KCl and also in all the doses of KCl applied in mucuna and moringa. The positive effect of the organic compound was only verified after the cultivation of the moringa increasing the growth and the nutrition of these plants as well as the levels of the nutrients in the soil. Both the application of biochar and the organic compound as well as the application of biochar with KCl provided positive effects on soil nutrient content and growth and nutrition of moringa plants.

1. INTRODUÇÃO

Os espodossolos são encontrados em ambientes costeiros, com características variáveis, seja em termos de material de origem, morfologia ou gênese (Moreau, 2001). Estes solos apresentam textura arenosa ao longo do perfil, sendo raros os casos reconhecidos de textura média. Possuem baixa fertilidade natural, baixa CTC e acidez elevada. No cenário Fluminense, esses solos são cultivados com a cultura do coqueiro-anão (Martins e de Jesus Júnior, 2011).

A introdução do cultivo de coco no Brasil permitiu que os solos arenosos das regiões costeiras, extremamente limitantes a outras culturas, pudessem ser cultivados comercialmente (Siqueira et al., 2002). Porém, as deficiências de N e K, elementos bastante requeridos por essa cultura, são as mais comuns nos coqueirais (Sobral, 1998).

Além disso, as características físicas (textura arenosa) e químicas (baixa CTC) dos espodossolos, atreladas ao manejo inadequado destes cultivos, facilitam a ocorrência de perdas de nutrientes por lixiviação, principalmente N e K. Técnicas que auxiliem na permanência desses elementos no solo são de fundamental importância na redução da aplicação e perdas de fertilizantes no sistema.

Estudos e investimentos em busca de alternativas que garantam uma boa produtividade, com menores custos e que diminuam as perdas do sistema de produção, são cada vez mais frequentes. O uso de adubo verde como a mucuna

preta nos espodossolos pode ser uma maneira de manter os nutrientes por mais tempo no sistema.

Inicialmente, o adubo verde absorve os nutrientes aplicados que não estão sendo aproveitados pela cultura principal, ou até mesmo concorre com essa cultura por esses nutrientes. Depois do seu corte, deposição e incorporação ao solo, a decomposição dessas plantas disponibiliza os elementos ao longo do ciclo da cultura principal. Essa prática é considerada simples, apresentando diversos benefícios como proteção do solo, aumento na retenção de umidade e redução de temperatura, melhorias das suas condições químicas, físicas e biológicas e controle de plantas espontâneas (Perin et al., 2010; Teodoro et al., 2011; Guareschi et al., 2012).

Outra estratégia que vem sendo estudada para o aproveitamento de resíduos é a conversão de biomassa de origem animal ou vegetal em “biochar” (Lehmann et al., 2003). O biochar é o produto resultante da pirólise da biomassa orgânica natural sob limitada presença de oxigênio ou ausência deste elemento. Tem potencial como condicionador de solo, melhorando suas propriedades físicas, químicas e biológicas (Laird et al., 2010; Paz-Ferreiro et al., 2012; Lone et al., 2015).

A aplicação de biochar tem grande potencial de aumentar os teores de nutrientes na solução do solo. Isso ocorre devido à grande quantidade de nutrientes presentes no material utilizado em sua produção, que se concentram durante o processo de pirólise. Além de melhorar a disponibilidade de nutrientes, devido à presença de cargas negativas na superfície do biochar (CTC), sua aplicação no solo aumenta a retenção e reduz a lixiviação de nutrientes (Gao et al., 2016; Méndez et al., 2013).

O aproveitamento, pelo adubo verde, dos nutrientes adicionados ao espodossolo, provenientes da adubação e do biochar, pode ser uma combinação importante para a manutenção dos elementos adicionados, para que, em um segundo momento, esses elementos sejam liberados e aproveitados pela cultura principal, como a *Moringa oleífera*. Além disso, é importante avaliar a possibilidade de redução das quantidades do adubo comercial a serem aplicadas e de diminuição das perdas de nutrientes no sistema com a aplicação do biochar, notadamente em solos altamente arenosos, como já é conhecido com a aplicação de compostos orgânicos ao solo.

A moringa oleífera é uma planta de uso diversificado, sendo utilizada na ornamentação de parques e jardins, na alimentação animal e, principalmente, na suplementação alimentar humana e na medicina. Sua adaptabilidade à região semiárida tem levado ao desenvolvimento de várias pesquisas, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento da moringa quando submetida a diferentes níveis de salinidade (Viera et al., 2008). Contudo, são poucos os estudos direcionados ao conhecimento da moringa quanto à sua exigência nutricional e acúmulo de nutrientes.

A utilização da moringa na alimentação humana devido ao seu alto teor de vitaminas e minerais (Bharali et al., 2003), aliado ao seu uso medicinal (Anwar e Bhangar, 2003), tem impulsionado ONG's a estimular seu cultivo em todo o país. Para utilização tanto na alimentação, quanto na medicina, a parte da planta mais utilizada são as folhas, e por isso torna-se importante o estudo do manejo adequado do cultivo desta planta, com o objetivo de produzir maior número de folhas, com acúmulo adequado de nutrientes.

1.1. Hipóteses

O biochar influencia o crescimento das plantas de mucuna preta e *Moringa oleífera*, as características químicas do solo e o padrão de lixiviação dos espodossolos.

O biochar quando associado ao composto orgânico possui efeito aditivo sobre as características do solo e sobre o crescimento e a aquisição de nutrientes pelas plantas de mucuna preta e *Moringa oleífera*.

O adubo verde (mucuna preta) é capaz de absorver nutrientes podendo estes ser liberados novamente na solução do solo em decorrência da decomposição do material vegetal.

O composto orgânico e/ou do biochar influenciam a nutrição da mucuna preta e a recuperação de nutrientes pela cultura subsequente (*Moringa oleífera*).

O composto orgânico e do biochar melhoram o aproveitamento do adubo mineral e diminuem as perdas de nutrientes, principalmente K nos espodossolos.

1.2. Objetivo Geral

Avaliar a influência do biochar e do composto orgânico associados ou não à aplicação do KCl sobre as características químicas de espodossolo, sobre a lixiviação de nutrientes e sobre o crescimento e nutrição da mucuna e da moringa, cultivadas em vasos.

1.3. Objetivos Específicos

- Avaliar a influência do biochar associado a diferentes doses de KCl sobre a dinâmica de K no solo e na água de lixiviação, e no crescimento e na nutrição de plantas de mucuna preta;
- Avaliar as alterações nas características químicas do solo e na água de lixiviação, causadas pela aplicação do biochar, associado a diferentes doses de potássio em um espodossolo do Norte Fluminense antes e após o cultivo da mucuna preta;
- Avaliar a influência do biochar e do composto orgânico associados à aplicação ou não do KCl sobre o crescimento e a nutrição de plantas de *Moringa oleífera* cultivadas após o plantio, corte e decomposição da mucuna, e sobre as características químicas do solo da superfície e da subsuperfície dos vasos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Biochar

2.1.1. Histórico e Importância do Biochar

Por muitos anos, assumiu-se que as limitações ambientais inibiam a agricultura intensiva na Amazônia. Ecossistemas amazônicos são caracterizados predominantemente por solos altamente intemperizados e de baixa fertilidade. Atualmente, esses ecossistemas são rapidamente destruídos, como consequência da exploração antropogênica intensiva (Fearnside, 2005; Lewis, 2006; Trumper et al., 2009).

Manchas de solos de cor escura foram encontradas na Amazônia, sendo conhecidos como Terra Preta de Índio, ou Terra Preta Amazônica, e exibem propriedades completamente diferentes da maioria dos solos nesta região. Esses solos são caracterizados por grandes estoques de matéria orgânica estável (MOS) e altos níveis de nutrientes (Glaser, 2007).

Evidências arqueológicas e de datação por radiocarbono mostraram que estes solos foram formados pelos habitantes pré-colombianos, embora a formação da Terra Preta tenha sido um processo variável e por vezes mais rápido do que se pensava anteriormente (Heckenberger et al., 2003).

A existência desse solo é conhecida há mais de 100 anos, mas só nas últimas décadas tem atraído grande interesse científico (Woods e Denevan,

2009). Este solo é caracterizado por apresentar um horizonte superficial com altos níveis de MOS, biochar, e nutrientes (especialmente fósforo), além de artefatos arqueológicos de origem pré-colombiana. O biochar, também conhecido como biocarvão, é um fator chave para a estabilidade da MOS na terra preta (Glaser et al., 2001) e para sua alta CTC (Glaser et al., 2003).

A Terra Preta Amazônica pode atuar como um modelo para a agricultura sustentável nos trópicos úmidos (Sombroek et al., 2002) e para outros solos que apresentam uma baixa capacidade de retenção de nutrientes. Técnicas agrícolas que levam à formação da terra preta têm o potencial para diminuir a degradação do solo utilizado na agricultura intensiva e para recuperar áreas degradadas (Glaser, 2007). Além disso, a elevada estabilidade da MOS nas terras pretas (Kuzakov et al., 2009) mostra que, em princípio, o carbono pode ser sequestrado por milênios nos solos. Então, o cultivo na terra preta tem o potencial de combinar a agricultura sustentável com o sequestro de CO₂ em longo prazo.

Cinco locais com Terra Preta na Amazônia Central continuam uma média de cerca de 50 kg de biochar por hectare até um metro de profundidade de solo, sendo estas enriquecidas em 70 vezes, quando comparadas com os solos adjacentes (Glaser et al., 2001).

A possibilidade de se obter um produto com propriedades similares à Terra Preta de Índio despertou o interesse de pesquisadores do mundo inteiro, que viram no biochar um material com características adequadas para esta finalidade (International Biochar Initiative, 2012). Biochar é qualquer material rico em carbono obtido de biomassa pirolisada. Ele é obtido pelo tratamento térmico da biomassa sob limitada ou nenhuma presença de oxigênio (pirólise) (Mukherjee e Zimmerman, 2013).

A pirólise é o processo de decomposição térmica, entre 400 e 800 °C, convertendo a biomassa em três produtos: o biocarvão (sólido), o bio-óleo (líquido) e gás combustível, contendo CO, CO₂, H₂, CH₄ e outros hidrocarbonetos. As proporções relativas de cada produto obtido dependem do tipo de pirólise, dos seus parâmetros e das características da biomassa utilizada (Bridgwater, 2011). É um processo de oxidação-redução no qual uma parte da biomassa é reduzida a carbono e a outra parte é oxidada e hidrolisada, dando origem a fenóis, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos (Rocha et al., 2004).

Restringindo-se o fornecimento de O₂ durante a pirólise pode-se impedir uma combustão completa do material. Quando se utiliza biomassa vegetal como matéria-prima para a produção de biochar, o calor produzido durante a combustão volatiliza uma porção significativa do hidrogênio e do oxigênio presentes no material vegetal, juntamente com uma parte do carbono contido dentro dos tecidos da planta (Preston e Schmidt, 2006).

O biochar é comumente definido como biomassa carbonizada, produzido para aplicar-se ao solo, melhorando suas propriedades ao mesmo tempo em que proporciona o sequestro de C (Lehmann e Joseph, 2009). O sequestro de C ocorre devido à presença de carbono bioquimicamente recalcitrante e predominantemente aromático no biochar (Mcbeath e Smernik, 2009; Keith et al., 2011).

O biochar obtido pela pirólise de biomassa se degrada muito mais lentamente, criando um estoque de carbono no solo, cerca de 1500 a 2000 vezes mais estável do que um material orgânico não pirolisado, com residência no solo de várias centenas a milhares de anos. A presença de estruturas orgânicas internas semelhantes à do grafite contribuem para que o biocarvão mantenha sua recalcitrância por um maior período de tempo, caracterizando um sistema de sequestro de C mais eficiente (Resende et al., 2011).

Dentre as técnicas de fixação de carbono (C) no solo o biochar vem sendo estudado recentemente. Existem três razões para este material ser considerado uma boa opção para o sequestro de C: ser produzido por processos relativamente simples e pouco poluentes; a existência de biomassa em qualquer local; e, o mais importante, seu potencial de melhorar a qualidade dos solos (Vaccari, et al., 2011). Além disso, tem-se a possibilidade de utilização de resíduos que, quando descartados de forma inadequada, tornam-se poluentes. Praticamente qualquer fonte de biomassa pode ser carbonizada para produção de biochar (Maia, 2010).

O sequestro de C em solos agrícolas tem sido considerado uma opção interessante, graças à vasta quantidade de carbono que pode ser armazenada nos solos. De uma maneira geral, o incremento de C do solo ocorre devido ao balanço entre entradas e as saídas de C, estando as entradas basicamente associadas à produção de biomassa pelas plantas cultivadas e/ou à adição via fonte externa de C (dentre elas o biochar). Mudanças nas práticas agrícolas,

adoção da rotação de culturas, aplicação de resíduos orgânicos (composto, resíduos agrícolas, esterco e outros), oferecem a possibilidade de aumentar o conteúdo de carbono orgânico no solo, graças ao aumento dos inputs de C (entradas) e a redução da taxa de decomposição (saídas) (Mesa et al., 2009).

Em termos de saídas do sistema, a principal forma, ocorre pela própria degradação ou mineralização dos compostos de carbono derivados de plantas ou fontes externas aplicadas. Percebe-se que alternativas de manejo que viabilizem elevados aportes de C no sistema e minimizem as saídas, devem ser mais efetivas quanto ao incremento do C no solo. É importante salientar, também, que sistemas de manejo que mantenham ou aumentem o C edáfico têm sido associados a modelos mais sustentáveis de produção (Vilela et al., 2013).

O biochar vem sendo estudado no Brasil e no exterior, para a produção de um fertilizante orgânico condicionador do solo, similar às Terras Pretas de Índios da Amazônia (Verheijen et al., 2010; Resende et al., 2011).

Tradicionalmente resíduos verdes são deixados para se decompor no solo, porém no processo de decomposição podem ocorrer perdas de nutrientes que são valiosos para as plantas (Parra et al., 2000). Além disso, a palhada também pode hospedar pragas e doenças para a cultura subsequente. Existem métodos alternativos para eliminação dos patógenos e para melhor aproveitamento dos nutrientes, mas estas técnicas possuem sucesso limitado. Estes métodos incluem a queima, a compostagem e vermicompostagem (Smider e Singh, 2014).

Em geral, a reciclagem de nutrientes através da compostagem de resíduos verdes é uma estratégia economicamente viável (Parra et al., 2008), mas a indústria está procurando estratégias práticas mais eficientes e viáveis para o aproveitamento de resíduos. A conversão destes resíduos em biochar, através da pirólise, oferece uma alternativa que tem benefícios econômicos e ambientais. Resíduos vegetais ricos em nutrientes originam um biochar com potencial para fornecer vários nutrientes ao solo (Zimmerman, 2010; Keith et al., 2011).

Alguns resíduos orgânicos, tais como, lodo de esgoto, bagaço e palha de cana-de-açúcar, esterco de galinha, fibra de coco, entre outros resíduos vegetais e/ou animais, que são gerados em abundância, são normalmente, aplicados na superfície do solo como fertilizantes ou condicionadores de solo. Nos últimos anos vem sendo proposta a transformação destes resíduos em biochar, principalmente

como forma de estabilizar o C presente nestes materiais e retardar sua degradação e liberação no ambiente como CO₂.

2.1.2. Características Químicas e Físicas do Biochar

Carbono recalcitrante, macro e micronutrientes são os principais componentes da maioria dos biochars (Lehmann et al., 2011), embora a quantidade e disponibilidade de nutrientes variem de acordo com as condições da matéria-prima e da pirólise utilizadas.

Esse material pirolisado, por apresentar altas concentrações de C (Lehmann e Joseph, 2009) e baixo teor de nitrogênio (N), apresenta uma elevada relação C/N e baixa taxa de mineralização, fato que contribui para o aumento do seu período de permanência no solo (Benites et al., 2009).

A composição estrutural e química do biochar é altamente variável dentro dos diferentes tipos de biochar. Algumas características estão presentes em todos os biochars, incluindo a sua cor escura, pH, que normalmente é neutro a básico, alto conteúdo de C e grau de aromaticidade (o que explica, em parte, os altos níveis de recalcitrância deste material) (Lehmann et al., 2011). Sua composição estrutural e química exata é dependente de uma combinação do tipo de matéria-prima e das condições de pirólise utilizadas. Estes mesmos parâmetros também são fundamentais na determinação do tamanho de partícula e na distribuição de tamanho dos poros no biochar, além de influenciarem seu comportamento funcional, mobilidade e destino no ambiente (Verheijen et al., 2010).

A porosidade do biochar é que determina sua área superficial. A distribuição de poros é muito variável e engloba, de acordo com o seu diâmetro interno, nano- (<0.9 nm), micro- (<12 nm) a macroporos (>50 nm) (Lehmann et al., 2009).

A CTC do biochar também é afetada pelo tipo de biomassa utilizada e pela temperatura da pirólise. Altas temperaturas fazem com que a CTC seja baixa devido à perda de grupos funcionais. Com o envelhecimento (tempo após a pirólise) a sua CTC aumenta, graças à formação na sua superfície de grupos funcionais como o carboxílico e outros oxigenados. Ao mesmo tempo, o

envelhecimento causa uma redução substancial da capacidade de troca aniônica (CTA), devido ao desaparecimento da carga positiva em sua superfície (Silber et al., 2010).

De acordo com Petter (2010), à medida que ocorre a oxidação parcial das bordas das estruturas aromáticas do biochar, novos sítios eletroquímicos são formados. O biochar também possui pH elevado e o ponto de equilíbrio entre a CTC (afetada pelo pH) e CTA (não afetada pelo pH) é mais baixo do que o de outros materiais orgânicos e também do que o do solo (Silber et al., 2010).

Essas características afetam a disponibilidade dos nutrientes para as plantas no solo com biochar incorporado. Biochars produzidos pela pirólise de coníferas a temperaturas mais baixas, como, por exemplo, 350 °C, podem conter grandes quantidades de nutrientes disponíveis, ao mesmo tempo em que têm uma capacidade de sorção para cátions menor do que biochars gerados a temperaturas mais elevadas, como, por exemplo, 800 °C. Além disso, espécies de plantas com muitas células de grande diâmetro em seus tecidos podem levar a maiores quantidades de macroporos no biochar. Maiores quantidades de macroporos podem melhorar a capacidade do biocarvão de adsorver moléculas maiores, tais como compostos fenólicos (Bridgwater, 2011).

2.1.3. Efeito do Biochar no Solo

O aumento da fertilidade do solo causado pela adição do biochar é geralmente associado com alterações físicas e químicas nas características do mesmo (Laird et al., 2010). O Biochar apresenta estrutura interna inerte, semelhante ao grafite, que faz preservar (sequestrar) o carbono no solo por centenas e até milhares de anos, e estrutura periférica externa reativa (funcionalizada) para atuar como matéria orgânica natural do ambiente.

A presença do biochar misturado ao solo contribui significativamente para melhoria da natureza física do sistema, influenciando a estrutura, a textura, a porosidade e a consistência através de mudanças na densidade, na área superficial, na distribuição e no tamanho dos poros e das partículas (van Zwieten et al., 2010a).

Das funções que o biochar possui destacam-se a promoção da estruturação do solo com ligações químicas entre o biocarvão e estruturas macromoleculares inorgânicas, retendo água da chuva e de irrigação para liberá-la durante períodos secos (Resende et al., 2011), retendo e liberando os íons H^+ e OH^- na ação de controle do pH do solo.

Ao afetar as características físicas do solo, o biocarvão afeta diretamente a resposta do solo à água, a agregação, a aeração, a elasticidade e a permeabilidade, assim como a sua CTC, retendo íons metálicos nutrientes de plantas, como o Ca, Fe, Cu, ou tóxicos para elas, como, por exemplo, o Al (Lehmann et al., 2011, Resende et al., 2011).

A adição de biochar ao solo tem influência sobre a microbiota edáfica. Este efeito é explicado pelo estímulo aos organismos, que leva ao aumento da ciclagem de nutrientes do material orgânico. Adicionalmente a este efeito pode ser provocada redução da acidez e da disponibilidade de Al (devido à CTC do biochar), favorecendo o ambiente radicular e promovendo a absorção de nutrientes pela planta (van Zwieten et al., 2010b).

Indiretamente, alguns aspectos químicos e biológicos do solo podem ser influenciados, como a presença física de locais para reações e fornecimento de habitats para a população microbológica do solo (Steenwerth et al., 2005). Esses efeitos físicos no solo têm impacto direto no crescimento das plantas, pois a profundidade de penetração e a disponibilidade de ar e de água na zona radicular serão muito maiores, comparado com os solos sem biochar (van Zwieten et al., 2010a).

O carbono pirogênico, constituinte básico do biochar, confere ao material condições favoráveis para adsorção de compostos orgânicos solúveis, podendo contribuir não só com a disponibilidade de nutrientes, mas também com a retenção de água no solo, principalmente os de textura arenosa (Madari et al., 2006).

A porosidade do biochar é bastante variável, estando os poros pequenos envolvidos na adsorção e transporte de moléculas e nutrientes. Já os macroporos são importantes, pois favorecem a hidrodinâmica e aeração, promovendo também habitat para os microrganismos (Nóbrega, 2011).

A natureza altamente porosa e elevada área superficial interna do biochar juntamente com sua capacidade de adsorver a matéria orgânica solúvel e outros

nutrientes inorgânicos, também é responsável por proporcionar um habitat favorável para os microrganismos (Lehmann et al., 2011), quando adicionado ao solo.

O aumento da comunidade microbiana, incluindo bactérias benéficas para as plantas, pode favorecer a solubilização de fontes indisponíveis de enxofre (S) e fósforo (P) do solo, ou mesmo o próprio biochar pode ter um impacto benéfico sobre a disponibilidade desses nutrientes e no crescimento das plantas em ambiente onde tais nutrientes são escassos (Fox et al., 2014).

A superfície específica do solo é uma característica muito importante, uma vez que influencia todas as funções essenciais para a fertilidade do mesmo, incluindo os ciclos de água, ar e dos nutrientes e a atividade microbiológica (Bailey et al., 2011). Os solos arenosos têm uma capacidade limitada em armazenar água e nutrientes, o que está relacionado com sua menor área superficial de partículas. As argilas têm uma superfície específica maior que a areia. Os solos que contêm uma alta fração de argila têm elevada capacidade de armazenamento de água, porém possuem baixa aeração. O aumento da fração orgânica aumenta o armazenamento de água, sendo uma solução para os solos argilosos, assim como para os arenosos.

O biochar pode atuar da mesma forma que a matéria orgânica, graças à sua superfície específica maior que à da areia e igual ou superior à da argila, causando um aumento líquido da superfície específica do solo quando adicionado a este (Nóbrega, 2011).

2.1.4. Efeito do Biochar no Crescimento Vegetal

Estudos importantes têm sido relatados com o uso de biochar, utilizado juntamente com fertilizantes orgânicos e inorgânicos, para melhorar as características químicas, físicas e microbiológicas do solo (Glaser et al., 2002), a produtividade de culturas (Steiner et al., 2008; Graber et al., 2010) e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Lehmann et al. 2003; Silber et al., 2010).

O biochar fornece mais nutrientes para o solo e, conseqüentemente, influencia na absorção de nutrientes pelas plantas. Sua aplicação pode alterar a capacidade competitiva de determinadas espécies, como as leguminosas (Rondon et al., 2007).

Vários mecanismos têm sido propostos para explicar o aumento da capacidade competitiva de leguminosas na presença de biochar (Lehmann e Rondon, 2006). O biochar aumenta o pH do solo (Jeffery et al, 2011), característica que pode beneficiar as leguminosas, estimulando a fixação biológica de nitrogênio (FBN), particularmente sob condições limitantes de N no solo. Além disso, o biochar também pode aumentar o teor de P, K, Mg e outros nutrientes no solo, que por sua vez também podem aumentar a FBN (Rondon et al., 2007).

Petter (2010), estudando o efeito do biochar em solos de cerrado, constatou que, na cultura da soja, as doses de 8 e 16 t ha⁻¹ proporcionaram maior altura e massa seca das plantas, nas épocas avaliadas.

Melhor resposta das culturas como um resultado da adição de biochar pode ser atribuída também aos vários efeitos indiretos, incluindo a neutralização de compostos fitotóxicos no solo (Wardle et al., 1998), a promoção do crescimento dos fungos micorrízicos (Warnock et al., 2007), e a alteração da microbiota do solo e suas funções (Steiner et al., 2008). A imobilização do N pela comunidade microbiana também foi encontrada depois da adição de biocarvão a um Latossolo (Lehmann et al., 2003).

Maia e Sohi (2010) constataram que a adição de biochar ao solo, ao longo de um ciclo de milho forrageiro, resultou em um aumento de 2,7 vezes no teor de carbono total do solo, em relação aos tratamentos que não receberam este material, e um aumento em 17% na produção de massa seca de milho forrageiro nas parcelas que receberam o biochar.

Petter (2010), estudando o biochar na cultura do arroz, encontrou aumento significativo nos teores de P, Ca e pH e redução de Al e H+Al na camada de 0-10 cm. Neste estudo, a produtividade foi aumentada à medida que se aumentaram as doses de biochar aplicado ao solo.

Kolton et al. (2011) mostraram uma clara mudança na estrutura da comunidade microbiana associada à raiz das plantas de pimentão, cultivadas em solo tratado com biochar, caracterizada por uma indução substancial de vários

gêneros de microrganismos. Estes mesmos autores sugerem que fatores físicos e químicos são responsáveis pela mudança observada na comunidade bacteriana, e estas são induzidas, pelo menos parcialmente, pelos fenômenos de crescimento e resistência de plantas induzidos pela adição de biochar ao solo onde estas plantas foram cultivadas.

Elad et al. (2010) demonstraram recentemente que o biochar, quando aplicado ao solo, induz a resistência sistêmica a fungos patogênicos foliares. Interações entre certas bactérias e as raízes das plantas podem resultar em um fenômeno denominado resistência sistêmica induzida, onde as plantas se tornam resistentes a bactérias patogênicas, fungos, vírus, insetos e nematoides (Kloepper et al., 2004; Haas e Defago, 2005).

Major et al. (2010) demonstraram que uma aplicação de biochar em um solo tropical infértil e ácido melhorou o rendimento do milho, pelo menos até quatro anos após a aplicação (período de estudo). Indicando que uma única aplicação de biochar pode proporcionar benefícios durante vários cultivos e que o biochar pode ser uma ferramenta valiosa para a gestão de agroecossistemas em regiões tropicais.

Estudos da interação entre a adição de biochar ao solo e a colonização de plantas por fungos micorrízicos arbusculares (FMA), realizados por Tryon (1948) e Matsubara et al. (2002) demonstraram que a adição de biochar ao solo pode aumentar a disponibilidade de nutrientes. Esse aumento na fertilidade do solo pode resultar em melhor desempenho da planta hospedeira e elevação das concentrações de nutrientes em seu tecido, além de aumentar a taxa de colonização das raízes da planta hospedeira pelos FMA (Ishii e Kadoya 1994).

As experiências de Matsubara et al. (2002) sugeriram que o biocarvão também pode aumentar a capacidade do FMA de auxiliar o seu hospedeiro na resistência à infecção por patógenos.

2.2. Composto Orgânico

Não apenas no Brasil, mas também em outros países, grandes quantidades de resíduos têm sido depositadas sobre o solo de forma planejada,

como fonte de nutrientes para as plantas (Silva et al., 2004; Nascimento et al., 2004). Estes resíduos podem ser aplicados sem nenhum tratamento prévio ou após sofrerem algum tipo de tratamento, como o processo de compostagem ou vermicompostagem.

A compostagem tem sido uma estratégia muito utilizada pelos agricultores, por centenas de anos, no aproveitamento de resíduos para a produção de composto orgânico. Além de promover a adição de matéria orgânica ao solo, esta técnica é realizada para aumentar a produção agrícola e a qualidade do solo, causando menos impacto (Jiménez Becker et al., 2010).

A compostagem é um processo de transformação biológica que pode ser utilizado para transformar diferentes tipos de resíduos orgânicos em fertilizantes que, quando adicionados ao solo, melhoram as suas características físicas, químicas e biológicas (Lima, 2004). Conseqüentemente, o composto serve para enriquecer solos pobres, melhorando a sua estrutura e permitindo uma boa fertilidade, também aumentando a capacidade das plantas na absorção de nutrientes, fornecendo substâncias que estimulam seu crescimento (Pará, 2003). A importância da ciclagem de nutrientes através do uso ampliado de compostos orgânicos é cada vez mais reconhecida (Roy et al., 2002; Römer, 2009; Fischer e Glaser, 2012).

Devido ao fato de os insumos para a produção de fertilizantes inorgânicos estarem cada vez mais escassos (Cordell et al., 2009) e seus preços estarem aumentando (Silva, 2011; USDA, 2013), a busca e o estudo dos efeitos de fontes alternativas de nutrientes e condicionadores de solo como os compostos orgânicos e o biochar, tornam-se cada vez mais importantes. Alguns estudos têm sido publicados sobre os efeitos interativos da aplicação conjunta do biochar e de fertilizantes orgânicos (Lehmann et al., 2003; Steiner et al., 2008, Schulz e Glaser, 2012, Tammeorg et al., 2012).

Interações entre o biocarvão e fertilizantes orgânicos têm sido associadas ao aumento do conteúdo de carbono orgânico do solo, o que pode melhorar a capacidade de retenção de nutrientes por meio do aumento da CTC e da formação de complexos organo-minerais (Glaser et al., 2002), além de melhorar a capacidade de adsorção de substâncias fitotóxicas (Hille e Den Ouden, 2005; Schulz e Glaser, 2012).

Schulz e Glaser (2012) sob condições tropicais, obtiveram aumento na produção de biomassa em aveia (*Avena sativa* L.) a partir da aplicação da mistura de biochar com composto orgânico, comparada à produção com a adição de composto puro.

2.3. Potássio no Solo e na Planta

O potássio é absorvido pelas plantas da solução do solo na forma iônica K^+ (Malavolta et al., 1997). É um elemento essencial para o crescimento das plantas, atuando na ativação de vários sistemas enzimáticos e na síntese de proteínas, carboidratos e trifosfato de adenosina (ATP); participa de processos ligados à fotossíntese e respiração; na manutenção de água nas plantas por meio da abertura e fechamento estomático; na regulação osmótica e na resistência da planta à incidência de pragas (Ernani et al., 2007). Além de proporcionar alongação celular, maior resistência a doenças e ao acamamento e melhoria na qualidade da produção (Calmak, 2005).

Esse nutriente tem alta mobilidade na planta, em qualquer nível de concentração, seja dentro da célula, no tecido vegetal, no xilema e no floema (Malavolta, 1980). O cátion K^+ não é metabolizado na planta e forma ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade. É o cátion mais abundante no citoplasma das células vegetais e a sua maior contribuição no metabolismo das plantas está relacionada com o controle do potencial osmótico das células e dos tecidos (Marschner, 2012). A translocação de K nas plantas é facilitada pelo fato de mais de 80% estarem presentes nos tecidos vegetais em forma solúvel (Rosolem et al., 2006).

No tecido foliar, o K possui alta redistribuição. Portanto, os sintomas de deficiência aparecem nas folhas mais velhas (Malavolta et al., 1997). No estágio inicial de sua carência, aparecem manchas cloróticas espalhadas irregularmente por toda a superfície foliar e nos espaços entre as nervuras. Com a evolução dos sintomas, as manchas se unem formando faixas cloróticas ou avermelhadas nas margens das folhas velhas, com posterior necrose dos tecidos (Marschner, 2012).

Após o nitrogênio, o K é o nutriente requerido em maiores quantidades pelas plantas. Porém, diferente do N, sua disponibilidade depende exclusivamente da aplicação de fertilizantes e das reservas do solo. Nas condições brasileiras, os solos são pobres em minerais contendo K e apresentam baixa capacidade de retenção de cátions, devido a estes solos serem muito intemperizados, favorecendo a lixiviação do K para fora da zona de crescimento radicular (Vilela et al., 2004; Curi et al., 2005).

A disponibilidade de K, assim como a capacidade de suprimento deste nutriente pelo solo, depende da presença de minerais primários e secundários, da aplicação de fertilizantes e da CTC do solo, além da ciclagem do nutriente pelas plantas. Em outras palavras, a disponibilidade depende das formas de K presentes e da quantidade armazenada em cada uma dessas formas (Nachtingall e Vall, 1991), aspectos que contribuem na movimentação e dinâmica do K no perfil do solo.

A passagem do K da forma trocável para a não-trocável pode ser rápida, dependendo da concentração do nutriente na solução do solo (Rosolem et al., 2006). A energia de retenção dos cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nos coloides do solo segue uma série denominada liotrófica, resultando na maior lixiviação de K em solos bem drenados, principalmente em solos com menor CTC (Raij, 1991), característica de grande parte dos solos do Brasil.

O movimento radial de K em direção às raízes ocorre por fluxo de massa e principalmente por difusão (Araújo et al., 2003), porém o movimento vertical ocorre fundamentalmente por fluxo de massa (Sanzonowicz e Mielniczuk, 1985).

A quantidade lixiviada depende da fonte utilizada, do volume de água adicionado ao solo pelas chuvas e/ou pela irrigação e da concentração de potássio na solução do solo (Ernani et al., 2007). A aplicação de fertilizantes potássicos de alta solubilidade, como o cloreto de potássio, facilita a lixiviação desse nutriente, especialmente em solos arenosos e de baixa CTC (Kinpara, 2003).

Técnicas para a redução das perdas por lixiviação podem ser obtidas por meio do aumento da CTC do solo. Isso é possível com alterações em fatores como: aumento no teor de matéria orgânica, no pH e na superfície específica do solo e mudanças na relação CTC/CTA do solo, entre outros (Lopes e Guilherme, 2004).

2.4 Lixiviação de Nutrientes

Com o aumento pela demanda de alimentos está ocorrendo um crescente avanço da tecnificação da agricultura, sendo que o manejo da fertilidade do solo com adubação química e o incremento do uso de irrigação e de drenagem conjunta, são elementos de grande expressão no contexto do progresso agrícola (Jadoski et al., 2010).

Para garantir o uso eficiente dos fertilizantes, é importante acompanhar a dinâmica e a distribuição dos nutrientes no perfil do solo, pois isto permite recomendar ou ajustar a aplicação dos fertilizantes, além de prevenir danos ambientais, como a salinização dos solos e a contaminação das águas (Barros et al., 2010).

A agricultura intensiva e tecnificada gera benefícios como a maior produção de alimentos, mas, por outro lado, ocasiona também inúmeros problemas, especialmente em relação ao meio ambiente, destacando-se os prejuízos causados aos recursos hídricos. Além da utilização direta da água na agricultura, existe o processo de deposição de elementos químicos no solo e na água, que acabam representando um risco para os novos cultivos e para saúde humana e animal, uma vez, que além de reduzir a qualidade da água, aumentam a dificuldade de seu tratamento para o consumo (Jadoski et al., 2010).

Íons em solução interagem com a fase sólida do solo, formando diferentes complexos que afetam sua adsorção e mobilidade. Íons altamente hidratados (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , NO_3^-) compõem complexos de esfera externa com a fase sólida do solo (Sposito, 1989), movimentando-se mais livremente com a passagem da água.

Outro fator importante, que influencia a dinâmica dos íons em solução, é a textura do solo, pois a retenção física, em função do tamanho de partícula, exerce forte influência sobre a CTC do solo (Iwai, 2005), assim como agregados de menor tamanho também promovem maior retenção de cátions (Coelho et al., 2000).

O conhecimento da composição química da solução do solo pode fornecer subsídios importantes para o manejo da fertilização. Segundo Rajj

(1991), embora se reconheça a importância da solução do solo para a nutrição vegetal, seu estudo é difícil, em razão da complexidade da fase de extração.

Wolt (1994) relata que há diversos métodos de extração da solução do solo: deslocamento de solução em coluna, pela adição ou retirada de gases ou adição de líquidos; centrifugação a alta e a baixa pressão; câmara de pressão; obtenção a vácuo do extrato saturado e soluções aquosas; métodos de adsorção molecular; e uso de extratores providos de cápsulas porosas.

Devido aos fatores climáticos, às condições edáficas e aos métodos de irrigação, os sais dissolvidos na água podem se acumular no perfil do solo ou ser carregados para as águas subterrâneas (Rodrigues et al., 2007).

Correa et al. (2006) e Phillips e Burton (2005) mostraram que, em elevadas adições de água no sistema, a taxa de lixiviação dos íons é maior em solos arenosos. Por apresentarem baixa superfície específica e serem, em geral, pobres em matéria orgânica, esses solos possuem baixa capacidade para reter nutrientes, que, livres na solução, ficam sujeitos à lixiviação para as camadas mais profundas. Em solos irrigados, a lixiviação do nitrato é potencializada pelas propriedades físicas dos solos, pelas práticas agrícolas intensivas e pela elevada adição de água empregada na irrigação (Andrade et al., 2009).

A mobilidade vertical dos nutrientes no solo é afetada por fatores físicos e químicos do solo. Dentre os principais atributos físicos estão a distribuição relativa do tamanho de poros e seus graus de saturação com água (Dierolf et al., 1997) e a quantidade de água que percola no perfil (Bustos et al., 1996), a qual depende da quantidade e intensidade das chuvas e da capacidade de retenção de água pelo solo.

Os principais aspectos químicos relacionados à mobilidade de nutrientes no solo são: a concentração da solução do solo (Ishiguro et al., 1992), o pH (Ernani et al., 2002), a CTC (Chaves e Libardi, 1995), as reações de dissolução/precipitação (Bustos et al., 1996) e as trocas iônicas entre os nutrientes que estão na solução com aqueles da fase sólida, durante o processo de descida (Akinremi e Cho, 1991).

Associado a adubos orgânicos e/ou minerais, o biochar retém os cátions presentes na solução do solo nos grupos carboxílicos e fenólicos carregados negativamente, presentes em sua estrutura, diminuindo a lixiviação e melhorando a eficiência dos adubos (Lima et al., 2013).

2.5. *Mucuna* preta (*Mucuna aterrima*)

A mucuna é uma leguminosa anual ou bianual, originária do Sudeste da Ásia. Sua inflorescência é formada por ráceros axilares multifloridos, corola violácea de cor branca, suas folhas são trifoliadas, com folíolos grandes e membranosos, sua vagem contém até seis sementes de coloração preta, com hilo branco e saliente (Vilela, 2009), a floração e frutificação ocorrem de maneira variável (Amabile et al., 2000).

A mucuna preta é uma planta trepadora, com ampla adaptação, que pode atingir altura de 0,5 a 1,0 m (Wutke, 1993; Fahl et al., 1998). Apresenta desenvolvimento vegetativo vigoroso, com crescimento inicial extremamente rápido e acentuada rusticidade, adaptando-se bem às condições de deficiência hídrica e temperaturas altas (Amabile et al., 2000), além de adaptar-se aos mais diferentes tipos de solo, desde os arenosos até os argilosos (Vilela, 2009). Aos 58 dias após a emergência, apresenta cobertura de 99% da superfície do solo, proporcionando ótima competição com as ervas daninhas (Favero et al., 2001).

Esta espécie pertence à família Fabaceae, sendo muito utilizada na agricultura brasileira como planta de cobertura (Sakai et al., 2007), apresentando-se como uma boa opção para utilização como adubo verde (Vilela, 2009), por proporcionar melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Duarte Junior e Coelho, 2008).

A adubação verde é uma antiga prática de cultivo, sobretudo de leguminosas, produzidas no local ou não, com a finalidade de preservação e ou restauração dos teores de matéria orgânica e de nutrientes dos solos. Embora sua adoção tenha sido temporariamente desestimulada em nossas condições, particularmente a partir do início dos anos 70, devido ao desenvolvimento da indústria de fertilizantes minerais, atualmente está de acordo com a tendência mundial de sistemas de produção mais sustentáveis, provenientes da agricultura orgânica ou produzidos com o mínimo de insumos químicos (Miyasaka, 1984).

Utilizando-se a adubação verde, o material orgânico produzido proporciona o aumento da CTC, da infiltração em solos argilosos e da retenção de água nos solos arenosos, além dos elevados teores de macro e micronutrientes

tornarem as condições para o desenvolvimento microbiano no solo mais favoráveis (Miyasaka, 1984).

Para que uma espécie seja utilizada como adubo verde, esta deve promover uma boa exploração superficial e em profundidade do solo (maior aproveitamento dos nutrientes que se encontram fora da zona de depleção das raízes da cultura comercial), ter boa eficiência da utilização da luz solar, favorecer a ciclagem de nutrientes (Lima e Menezes, 2010) e, no caso de leguminosas, como a mucuna, com boa FBN, produzir uma palhada com baixa relação C/N, sendo facilmente degradada pelos microrganismos do solo, que através da decomposição, disponibilizam os nutrientes que estavam na palhada (Gontijo Neto, 2013).

Os teores de nutrientes na biomassa da mucuna encontrados por Bueno et al. (2007) foram de 28,18 g kg⁻¹ de N; 18,28 g kg⁻¹ de K; 2,18 g kg⁻¹ de P; 4,77 g kg⁻¹ de Ca e 1,55 g kg⁻¹ de Mg. O cultivo foi realizado no campo em Piracicaba-SP, em um Argissolo Amarelo distrófico, no período do verão, por 4 meses.

O experimento realizado por Cavalcante et al. (2012) foi conduzido no campo, em Arapiraca-AL, em um Argissolo Vermelho distrófico, no período de final de inverno e início da primavera, por 4 meses. Os autores observaram nesta mesma espécie, a mucuna, teores de 24,5 g kg⁻¹ de N; 2,2 g kg⁻¹ de P; 13,7 g kg⁻¹ de K; 4,2 g kg⁻¹ de Ca e 2,0 g kg⁻¹ de Mg.

2.6. Moringa Oleifera

A espécie *Moringa oleifera* Lam é nativa da Índia, porém atualmente pode ser encontrada em vários países tropicais (Bhatia et al., 2007). Pertence à família Moringaceae, composta por apenas um gênero Moringae, e 14 espécies conhecidas (Okuda et al., 2001; Rangel, 2018). Ela é conhecida por vários nomes comuns, de acordo com seus diferentes usos, podendo ser chamada de acácia-branca, árvore-rabanete-de-cavalo, cedro, moringueiro e quiabo-de-quina (Rangel, 2018).

O cultivo da moringa alcançou a Europa, Estados Unidos e grande parte da Ásia. No Brasil, foi introduzida por volta de 1950, podendo ser encontrada na

região Nordeste, principalmente nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará (Aguiar, 2010). Essa planta se adaptou muito bem ao sertão nordestino, devido ao seu clima seco, já que a moringa é bastante adaptada à seca e não suporta encharcamento. Nesta região a planta ficou conhecida como Lírio Branco ou Acácia-Branca (Kerr, 2010).

A altura da moringa varia de 5 a 12 m, com uma copa aberta em forma de sombrinha, tronco ereto com casca esbranquiçada e esponjosa. Possui folhas verdes pálidas, decíduas, alternadas, pecioladas e compostas, bipenadas com sete folíolos pequenos em cada pina. Estes folíolos podem ser localizados na lateral, com forma elíptica, ou na posição terminal, ligeiramente maiores que os posicionados na lateral (Silva e Kerr, 1999). As flores são perfumadas (Ramachandran et al., 1980) e emergem em panículas, apresentando uma coloração branca a creme (Pereira Neto et al., 2008).

Seus frutos apresentam cor verde a marrom esverdeada e são deiscentes. As vagens são perpendiculares com formato triangular e se quebram em três partes quando secas (Lorenzi e Matos, 2002). Podem conter de 10 a 20 sementes armazenadas em uma polpa branca. As sementes globoides são escuras por fora e contêm no seu interior uma massa branca e oleosa. A casca da raiz é espessa, mole e reticulada, de cor pardo-clara, externamente, e branca, internamente, lenho mole, poroso e amarelo. Tem odor pungente e sabor semelhante ao do rabanete (Cysne, 2006).

É uma planta alógama que se propaga por sementes e estacas (Silva e Kerr 1999), facilmente, sendo que as sementes podem ser plantadas diretamente no local definitivo ou em sementeiras (Maracajá et al., 2010). Apresenta crescimento rápido e capacidade de sobreviver em solos pobres, requerendo o mínimo de atenção, sendo capaz de resistir a longos períodos de seca (Jahn, 1991; Fahey, 2005).

Vários são os usos da moringa: como forrageira (folhas, frutos e sementes); medicinal (todas as partes da planta); condimentar (principalmente as raízes); melífero (flores); e como combustível (madeira e óleo) (Ferreira et al., 2008). Durante séculos a moringa tem sido utilizada na alimentação humana, principalmente em países da África e da Ásia, onde todas as suas partes são consumidas (Fahey, 2005). É também muito utilizada na medicina popular e na indústria de cosméticos (Anwar e Bhangar, 2003). Suas sementes possuem

proteínas coagulantes que são úteis para a remoção da turbidez da água (Gassenschmidt et al., 1995), sendo estas bastante utilizadas na limpeza da água para o consumo no sertão nordestino.

Existe um crescente interesse nacional e internacional pelo plantio da moringa devido ao seu valor nutricional, medicinal e econômico (Foidl et al., 2001; Fahey, 2005; Maroyi, 2005; CTA, 2008). A moringa possui alto valor nutricional, sendo rica em vitaminas e minerais. Suas folhas são a parte mais nutritiva da planta, sendo fonte significativa de vitamina C, B6 e provitamina A, como o betacaroteno, além de minerais, como o Mg e Ca (Bharali et al., 2003). Contém mais vitamina A que a cenoura, mais Ca que o leite, mais Fe que o espinafre, mais vitamina C que a laranja, mais potássio que a banana, e a qualidade das proteínas da moringa deixam pra trás rivais como o leite e o ovo (Fahey, 2005).

A utilização de fertilizantes ajuda no crescimento das plantas de moringa, aumentando sua capacidade de crescimento e produção (Jones, 1999). Quando as culturas são plantadas sucessivamente no mesmo local, sem o manejo adequado da adubação, os nutrientes do solo são esgotados, especialmente o N, o P e K.

A moringa precisa do K para seu crescimento e para resistência das plantas à seca e às doenças. Necessitam também do N para produção de carboidratos, aminoácidos e proteínas necessárias para um bom crescimento (Parker, 1998). Apesar do enorme potencial produtivo da moringa, as informações sobre ela ainda são escassas, principalmente no que diz respeito ao requerimento de fertilizantes que proporcionará um bom crescimento e qualidade nutricional adequada das plantas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, em um delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 2 x 3, tendo o primeiro e o segundo fator dois níveis, (com e sem a aplicação de biochar e com e sem a adição do composto orgânico) e o terceiro fator três níveis (doses de K), com 3 repetições, totalizando 36 parcelas. As doses de potássio foram baseadas na recomendação de adubação para coqueiros (Fontes et al., 2003), cultura amplamente cultivada nesse tipo de solo na região, sendo aplicados 0; 53,65 e 107,30 mg dm⁻³ de K em uma única vez no solo, na forma de KCl, correspondendo a 0, 50% e 100% da recomendação.

O solo utilizado foi um Espodossolo (segundo o “Sistema Brasileiro de Classificação de Solos”- Embrapa, 2013), com 96% de areia, encontrado em área de restinga, sob um coqueiral em fase de produção, com cerca de 10 anos de implantação, localizado no município de Quissamã, RJ. O solo foi coletado na camada de 20 a 40 cm de profundidade, e seus atributos químicos encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1. Atributos químicos do Espodossolo coletado do coqueiral para a utilização no experimento.

| Camada cm | pH | C g dm ⁻³ | P mg dm ⁻³ | K | Al | H+Al | Ca | Mg | Na | CTCef | SB | V % |
|--------------|-----|-------------------------|--------------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-------|-----|--------|
| 20-40 | 5,4 | 1,11 | 9,0 | 59,0 | 0,05 | 1,0 | 2,2 | 0,4 | 0,4 | 3,2 | 2,1 | 38,0 |

*pH em H₂O, Ca e Mg extraídos por solução de KCl, determinados por espectrometria de absorção atômica; Al extraído por solução de KCl, determinado por titulação; K, Na e P extraídos por Mehlich-1 e determinados, os dois primeiros, por fotometria de chama e o último por colorimetria; acidez potencial, (H+ Al) extraída por acetato de cálcio e determinada por titulação com NaOH; C extraído com dicromato de K e titulação com sulfato ferroso amoniacal; SB = soma de bases (SB = Ca + Mg + K + Na); V = saturação de bases; CTCef = SB + Al.

A quantidade de biochar aplicada foi 1% v/v, que correspondeu a 2,76 g dm⁻³. O biochar foi cedido pelo Professor Claudio Roberto Fonseca Sousa Soares da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), tendo sido produzido a partir da pirólise de cama de aviário a uma temperatura de 400 °C, pelo SPPT - Pesquisas Tecnológicas Ltda, de Mogi Mirim, SP. A metodologia para a produção do biochar foi descrita por Lin et al. (2012), e sua caracterização química encontra-se no Quadro 2.

Quadro 2. Caracterização química do biochar utilizado no experimento.

| pH | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg | S | C | Fe | Cu | Zn | Mn |
|-----|--------------------|-------------------------------|------------------|-------|-------|---------------------|-------|------|-----|-----|-----|
| - | g kg ⁻¹ | | | | | mg kg ⁻¹ | | | | | |
| 8,9 | 39,81 | 27,62 | 61,00 | 56,51 | 11,42 | 5,1 | 345,4 | 1620 | 583 | 588 | 677 |

*Extração por digestão total e determinação: pH em H₂O, Ca, Mg, Fe, Cu Zn e Mg por espectrometria de absorção atômica; K e Na por fotometria de chama; P por colorimetria de Metavanato; N pelo método semi-micro-Kjeldahl; S por turbidimetria de sulfato de bário; C pelo método de Walkley-Black.

O composto orgânico foi utilizado no experimento na proporção de 10% em volume total do solo. O composto foi produzido na Fazenda Santa Clara no município de Quissamã-RJ, a partir do resíduo das cascas de coco provenientes da indústria envasadora de água de coco, obtidas na Cooperativa Agrícola de Quissamã. A casca de coco passou por uma “trincha” para ser desfibrada e foi

distribuída sob o estábulo na área de confinamento do gado, para ser utilizada como cama pelos animais. Após uma semana esse resíduo (fibra de coco + esterco e urina de bovinos) foi recolhido por uma pá carregadeira em um trator e enleirado para a realização da compostagem.

As pilhas de compostagem foram revolvidas (para aeração), irrigadas e a temperatura foi monitorada por meio de um vergalhão e de um termômetro, introduzidos na leira protegidos por um cano de PVC. O processo de decomposição durou cerca de três meses e foi concluído quando a temperatura reduziu e se manteve estável. A análise química do composto que foi utilizado na montagem do experimento encontra-se descrita no Quadro 3.

Quadro 3. Caracterização química do composto orgânico.

| N | P | K | Ca | Mg | Fe | Cu | Zn | Mn |
|------|------|--------------------|------|------|---------------------|----|----|-----|
| | | g kg ⁻¹ | | | mg kg ⁻¹ | | | |
| 4,83 | 2,11 | 14,70 | 2,34 | 0,99 | 3146 | 10 | 34 | 124 |

*Extração por digestão total e determinação: Ca, Mg, Fe, Cu Zn e Mg por espectrometria de absorção atômica; K fotometria de chama; P por colorimetria de Metavanato; N pelo método semi-micro-Kjeldahl.

O solo coletado, após secagem ao ar, foi passado em peneira de 4 mm e homogeneizado. Foram separadas amostras de 3,2 kg⁻¹, que foram acondicionadas em sacos plásticos, onde foi realizada a homogeneização dos tratamentos (mistura do biochar, do composto orgânico e do KCl). Todas as amostras receberam adubação nitrogenada (110 mg dm⁻³ de N na forma de ureia) e fosfatada (300 mg dm⁻³ de P na forma de superfosfato simples) estabelecidas de acordo com o exposto por Novais et al. (1991). As amostras de solos foram umedecidas até atingir 60% do volume total de poros (VTP), de acordo com Freire et al. (1980), e incubadas durante 20 dias. Após a incubação, amostras do solo de cada unidade experimental foram coletadas para caracterização química inicial do solo de acordo com cada tratamento, através da determinação do pH, H+Al, dos teores de K, Na, P, Ca, Mg, Al e cálculo da CTC efetiva e potencial (Embrapa, 1997). Os teores de K foram utilizados para a estimativa do conteúdo de K no solo.

Foram confeccionados vasos com canos de PVC de diâmetro de 150 milímetros em anéis de 15 cm de altura, sobrepostos dois a dois, unidos com fita adesiva. O fundo do vaso foi confeccionado com um círculo de poliestireno (isopor) com um furo no centro, onde foi adaptada uma mangueira para a coleta da água de lixiviação. O vaso também foi revestido internamente com saco plástico, evitando que o solo entrasse em contato com a parede de PVC e com o fundo de isopor (Figura 1). No fundo do vaso (dentro do saco plástico) foi colocada uma tela fina para impedir a passagem do solo pela mangueira.

Na subsuperfície foi acondicionado o solo sem nenhum tipo de tratamento ou adubação, enquanto a superfície foi preenchida com o solo recém-incubado já com os tratamentos e a adubação fosfatada e nitrogenada. A coluna de solo da superfície e da subsuperfície foi de 12,5 cm cada, totalizando 25 cm de altura.

Após o solo ser colocado nos vasos a extremidade livre de cada mangueira foi vedada e levantada até a altura da borda superior do vaso, para impedir a drenagem de água. Os vasos receberam água até atingir a saturação, sendo que a quantidade de água retida no solo nesta condição corresponde ao volume total de poros (VTP). Após um dia, a vedação das mangueiras foi removida para permitir a passagem da água de lixiviação, que começou a ser coletada em garrafas pet. Foi então acrescentada água equivalente a mais 50% do VTP e após 24 horas de drenagem as garrafas de coleta foram levadas para o laboratório. De cada garrafa foi retirada uma amostra de 200 ml água, a qual foi filtrada em papel filtro e analisada quanto aos teores de Ca e Mg, pela leitura em absorção atômica, K pela leitura em fotômetro de chama, pH e condutividade elétrica (Embrapa, 1997). Os teores de K foram utilizados para posterior determinação do conteúdo de K na água da primeira lixiviação.

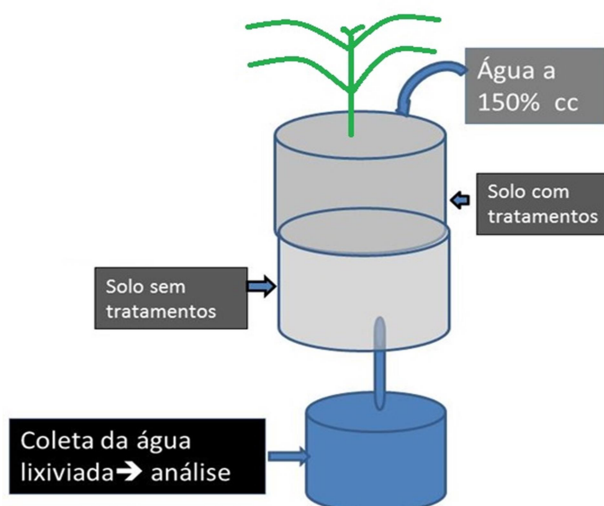


Figura 1. Esquema da montagem dos vasos e da lixiviação.

Uma semana após a lixiviação, em cada vaso foi realizado o plantio de cinco sementes de mucuna preta. Após a emergência foi realizado o desbaste mantendo-se as duas plantas mais vigorosas em cada vaso, que foram cultivadas e irrigadas por 40 dias, quando foi realizado o corte.

Assim que foi realizado o corte da mucuna, os vasos foram novamente submetidos à lixiviação. Para isso, adicionou-se, a cada vaso, água até atingir a saturação, deixando que ocorresse a infiltração por 12 horas e posteriormente acrescentando-se mais o equivalente a 50% do VTP, sendo após 24 horas realizada a coleta do lixiviado para posterior análise dos teores de Ca e Mg, pela leitura em absorção atômica, K pela leitura em fotômetro de chama, pH e condutividade elétrica (Embrapa, 1997). Os teores de K foram utilizados para posterior determinação de seu conteúdo na água da segunda lixiviação.

A partir da introdução de um trado tipo sonda, foram coletadas amostras de solo da superfície e da subsuperfície dos vasos para posterior caracterização química do solo de acordo com cada tratamento, através da determinação do pH, H+Al, dos teores de K, Na, P, Ca, Mg, Al e cálculo da CTC efetiva e potencial (Embrapa, 1997). Os teores de K foram utilizados para a estimativa do conteúdo de K no solo da superfície e da subsuperfície.

Após a segunda lixiviação, metade da matéria fresca das plantas foi distribuída sobre os respectivos vasos para decomposição após a realização da segunda lixiviação e a outra metade foi seca em estufa de circulação forçada de

ar a 65 °C, por 72 horas, e pesadas, para determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas. O material foi posteriormente moído e submetido à digestão nítrica, sendo determinados os teores K, Ca, Mg e P, e à digestão sulfúrica, para determinação dos teores de N (Tedesco et al., 1995), seguidos da estimativa do conteúdo destes nutrientes, tendo como base o peso da matéria seca das duas plantas de cada vaso. Também foi calculada a Eficiência de Utilização dos nutrientes (EU) pelas plantas de mucuna submetidas a cada um dos tratamentos, através da seguinte fórmula:

$$EU = MSPA * MSPA / \text{Conteúdo do nutriente}$$

Decorridos quatro meses de decomposição da mucuna, foi realizado, nesses mesmos vasos, o cultivo da moringa. No entanto, diferentemente do plantio da mucuna, que foi realizado utilizando-se três doses de K, no plantio da moringa foram mantidas apenas duas doses de K. Assim, esta etapa foi realizada em um fatorial 2 x 2 x 2, sendo o primeiro fator a aplicação ou não do biochar; o segundo fator aplicação ou não do composto orgânico e o terceiro fator a aplicação ou não de adubação potássica (mantendo-se apenas o nível de 100 % de K), com três repetições, totalizando 24 unidades experimentais.

O biochar foi reaplicado na mesma proporção, ou seja, 1% v/v do solo da superfície dos vasos, sendo incorporado na camada superficial dos vasos (até 2 cm de profundidade).

O potássio foi reaplicado com a dose 133 mg dm⁻³ de K (600 mg por vaso) de acordo com a recomendação de Freire et al (2013) para leguminosas arbustivas, tendo em vista a escassez de trabalhos com adubação potássica para o crescimento inicial de plantas de moringa. A dose de K foi dividida em duas aplicações, uma incorporada no solo até 2 cm de profundidade no vaso (camada superficial) e outra em cobertura, ambas na forma de KCl. Foram realizadas adubações com 120 mg dm⁻³ de P na forma de superfosfato simples e 240 mg dm⁻³ de N na forma de ureia em cobertura. O composto orgânico não foi reaplicado para o cultivo da moringa, sendo mantida somente a aplicação realizada antes do cultivo da mucuna.

O plantio da moringa foi realizado com mudas produzidas pela germinação de sementes em copos plásticos que foram transplantadas logo após estarem com um ou dois pares de folhas. Em cada vaso foi realizado o plantio de uma muda de moringa, sendo estas cultivadas e irrigadas por 70 dias.

Decorridos os 70 dias de cultivo, foram realizadas medições da altura de cada planta, diâmetro do coleto e contagem do número de folhas, logo após foi realizado o corte das plantas.

O solo dos vasos foi coletado separando-se os dois anéis (superfície e subsuperfície), sendo as amostras usadas para caracterização química do solo de cada anel, de acordo com cada tratamento, através da determinação do pH em água, utilizando a proporção 1:2,5 (v/v) de solo:solução; cálcio e magnésio extraídos por solução de KCl 1 mol L⁻¹ e os teores determinados por espectrometria de absorção atômica; alumínio extraído por solução de KCl 1 mol L⁻¹ e o teor determinado por titulometria; potássio, sódio e fósforo extraídos por Mehlich-1 e determinados, os dois primeiros por fotometria de chama e o último por colorimetria. A acidez potencial (H + Al) foi extraída por acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 e determinada por titulometria; e cálculo da CTC efetiva e potencial (Embrapa, 1997).

As plantas de moringa foram separadas em parte aérea e raízes, secas em estufa de ventilação forçada por 72 horas e moídas para posterior análise dos teores de P, K, Ca e Mg na parte aérea e nas raízes e de N somente na parte aérea. Os teores de K, Ca, Mg e P nas partes da planta foram determinados após digestão nítrica da matéria seca e os teores de N após digestão sulfúrica, segundo Tedesco et al., (1995). A partir dos teores nutricionais foi estimado o conteúdo destes elementos na parte aérea e nas raízes.

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análises químicas do solo recém-incubado, da água da primeira lixiviação, do solo da superfície e subsuperfície dos vasos e da água da segunda lixiviação realizada após o cultivo da mucuna

A aplicação do composto orgânico, não proporcionou influência significativa sobre os atributos químicos avaliados no solo recém-incubado, nem no solo da superfície e da subsuperfície dos vasos após o cultivo da mucuna, nem na água da primeira, nem da segunda lixiviação, nem na parte aérea da mucuna, como mostra o anexo 1. Também não proporcionou interações significativas entre o composto orgânico e o biochar ou entre ele e as doses de KCl para a maior parte das avaliações realizadas. Por outro lado, interações significativas foram verificadas entre o biochar e as doses de KCl aplicadas. Por isso, o composto orgânico não foi utilizado como fator, sendo feita a anova novamente utilizando-o como repetição (anexo 2).

O biochar proporcionou pequenos incrementos nos valores de pH em relação à sua não adição, tanto no solo (Figura 2A), quanto na água de lixiviação (Figura 2B), após o cultivo da mucuna. Grande parte dos biochars apresenta poder alcalinizante, que pode ser explicado pela presença de grupamentos funcionais oxigenados, com cargas negativas, em sua superfície (Sizmur et al., 2015). No solo utilizado no presente experimento, porém, essa reação somente

foi significativa após um maior período de contato do biochar com o solo, ou seja, após o cultivo da mucuna. Deve-se considerar ainda, que as leguminosas apresentam efeito de acidificar o solo rizosférico (Marschner, 2012), assim, esse efeito poderia estar tamponando o efeito alcalinizante do biochar.

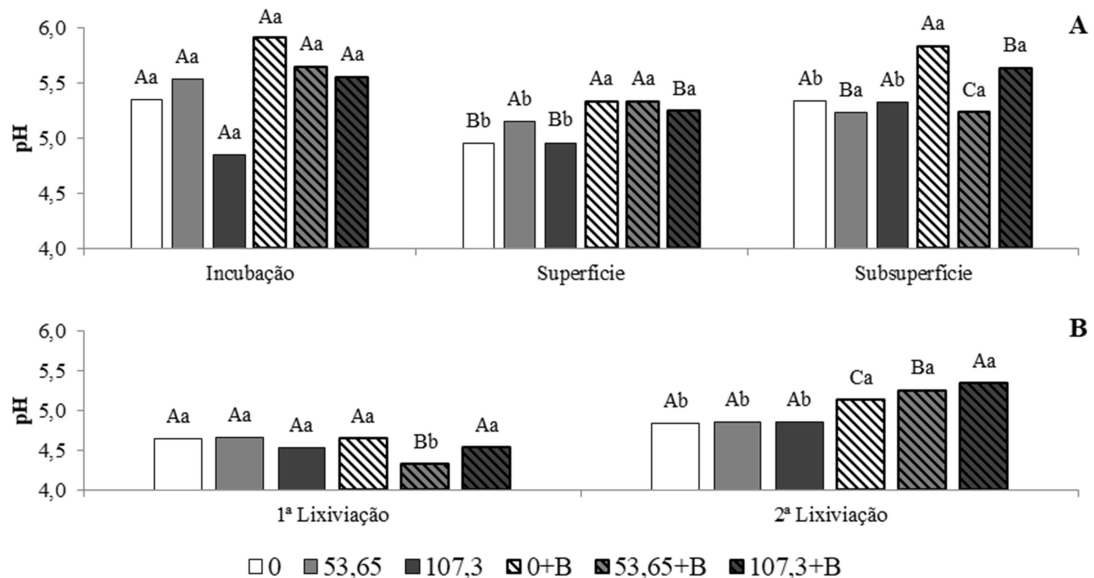


Figura 2. Valores de pH em água: **A)** de espodossolo, após período de incubação (20 dias) e na superfície e subsuperfície dos vasos após cultivo da mucuna preta (40 dias); **B)** na água da primeira lixiviação dos vasos (após período de incubação e antes do plantio da mucuna) e na segunda lixiviação (após o plantio da mucuna), em função da aplicação ou não de biochar (B) associado a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

Os teores de K no solo aumentaram significativamente com a aplicação do biochar em relação à sua não aplicação, nas três doses de adubação utilizadas, no solo recém-incubado e no solo da superfície e da subsuperfície após o corte da mucuna (Figura 3A).

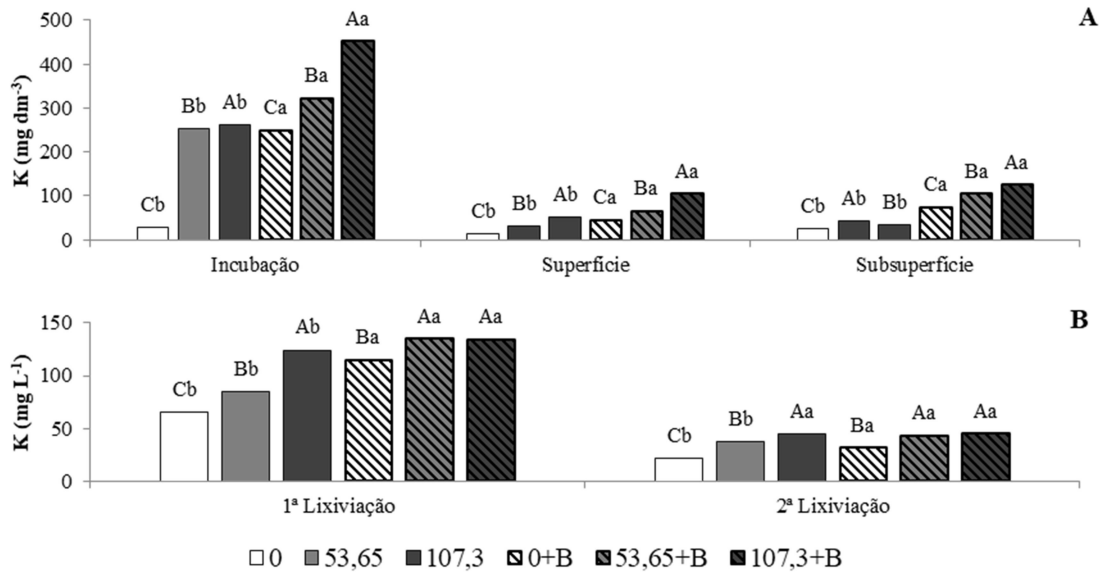


Figura 3. Teores de K: **A)** em espodossolo, após período de incubação (20 dias) e na superfície e subsuperfície dos vasos após cultivo da mucuna preta (40 dias); **B)** na água da primeira lixiviação dos vasos (após período de incubação e antes do plantio da mucuna) e na segunda lixiviação (após o plantio da mucuna), em função da aplicação ou não de biochar (B) associado a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

No solo recém-incubado, a aplicação do biochar proporcionou aumento de 8,55 vezes no teor de K do solo, em relação à sua não aplicação na dose zero de KCl. Este incremento nos teores de potássio (efeito do biochar) foi mantido quando se realizou a adubação potássica, ocorrendo aumento de aproximadamente 1,3 vezes na dose 53,63 mg dm⁻³ e de 1,7 vezes nos teores de K no solo na dose 107,3 mg dm⁻³ de K, comparativamente à não aplicação do biochar para essas doses.

Após o cultivo da mucuna, no solo da superfície, o incremento nos teores de K ocasionados pela aplicação do biochar, foi mantido, sendo esses de aproximadamente 3 vezes no controle, de 2 vezes na dose intermediária e na maior dose de K em relação aos tratamentos sem adição do biochar. Yao et al.

(2009) também encontraram resultados positivos sobre os teores de K do solo com a adição do biochar em ambiente controlado.

Os incrementos nos teores de K observados no solo da subsuperfície, proporcionado pela adição do biochar na superfície, indicam uma movimentação deste cátion da superfície para a subsuperfície e também uma provável movimentação do próprio biochar e/ou do K contido neste material para parte inferior do vaso.

Os teores de K na água de lixiviação (Figura 3B) aumentaram com as doses de KCl tanto na primeira, quanto na segunda lixiviação. A aplicação do biochar também elevou os teores de K comparado à sua não aplicação, em todos os níveis de adubação, indicando que o K presente no biochar encontra-se disponível na solução do solo, sendo carregado pela água de lixiviação, principalmente devido ao fato de este solo ser bastante arenoso e possuir baixa CTC.

Segundo Mielniczuk (1982), para uma mesma quantidade de potássio total, haverá menos K^+ na solução, em solos com alta CTC (normalmente os solos argilosos), o que refletirá em menores perdas de potássio por lixiviação, já que este nutriente se movimenta, com facilidade, verticalmente. Duarte et al. (2013), trabalhando com solos de diferentes texturas, encontraram maior lixiviação de K no solo de textura arenosa. A menor superfície de cargas nesses solos possibilita que os cátions trocáveis permaneçam em solução, aumentando as possibilidades de perdas por lixiviação.

Assim como o K, os teores de Ca também aumentaram no solo recém-incubado e no solo da superfície com a adição do biochar comparado à sua não aplicação, em todas as doses de KCl testadas (Figura 4A). No solo da subsuperfície, porém, esse aumento nos teores de Ca com a aplicação do biochar ocorreu somente para a dose intermediária de KCl, mas não houve efeito da aplicação ou não do biochar no controle e na dose $107,3 \text{ mg dm}^{-3}$ pelo contrário, ocorreu redução nos teores de Ca com a aplicação do biochar.

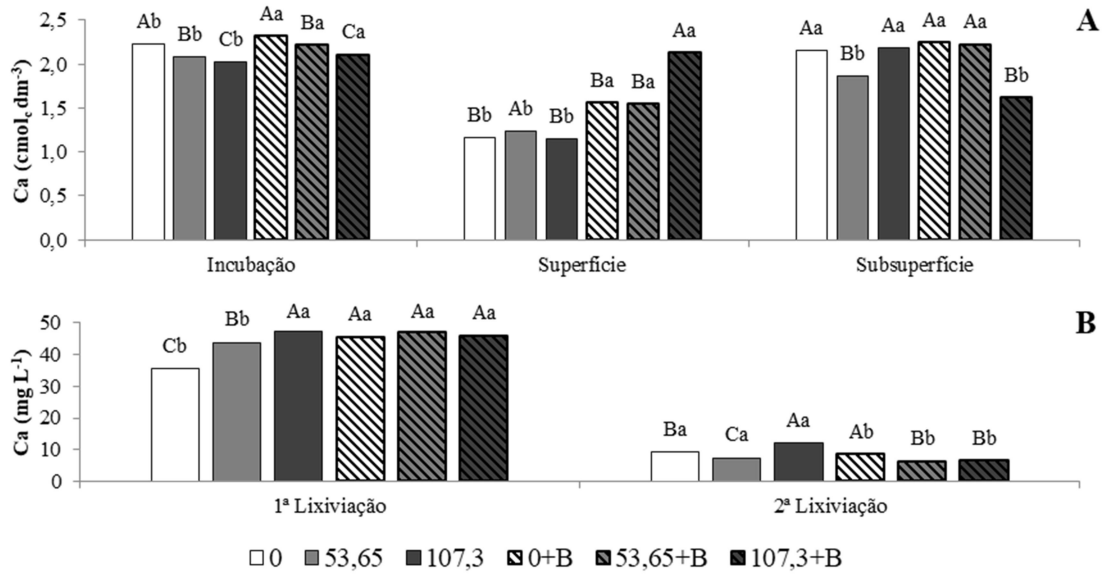


Figura 4. Teores de Ca: **A)** em espodossolo, após período de incubação (20 dias) e na superfície e subsuperfície dos vasos após cultivo da mucuna preta (40 dias); **B)** na água da primeira lixiviação dos vasos (após período de incubação e antes do plantio da mucuna) e na segunda lixiviação (após o plantio da mucuna), em função da aplicação ou não de biochar (B) associado a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

A aplicação das doses crescentes de KCl ocasionou redução proporcional nos teores de Ca no solo recém-incubado, tanto na presença, quanto na ausência do biochar, esse comportamento não foi observado no solo da superfície e da subsuperfície, após o cultivo da mucuna, onde os teores de K eram menores e a “disputa” pelos sítios ativos do solo entre estes cátions foi menor devido à menor concentração de K no solo.

Na primeira lixiviação foi verificado que sem a adição do biochar as doses crescentes de KCl proporcionaram maiores teores de Ca na água (Figura 4B). Com a aplicação do biochar não houve efeito das doses de K nos teores de Ca. A aplicação do biochar no solo reduziu as perdas de Ca na água de lixiviação após o cultivo da mucuna (segunda lixiviação), porém na primeira lixiviação os teores de Ca foram superiores no controle e na dose 53,65 mg dm⁻³ de K, quando o

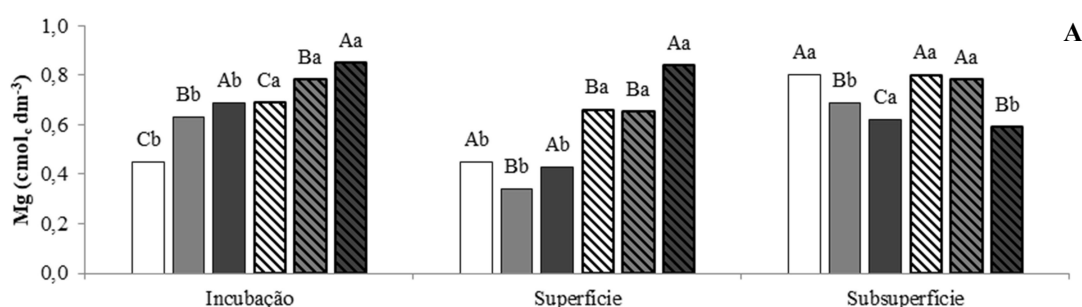
biochar foi adicionado ao solo. Não foi verificado efeito da aplicação de K nos teores de Ca, na água da segunda lixiviação.

O aumento nos teores de Ca no solo após o cultivo da mucuna, no local de aplicação do biochar (superfície) foi bastante significativo, mesmo tendo havido absorção deste elemento pela planta cultivada. O maior tempo de contato entre o solo e o biochar, ocasionado pelo período de incubação, (20 dias) mais cultivo da mucuna (60 dias), aumentou a possibilidade de reação e, conseqüentemente, ocasionou maior liberação de Ca pelo biochar no solo.

A redução que ocorreu nos teores de Ca da subsuperfície com a aplicação do biochar na maior dose de KCl mostra que neste tratamento não houve lixiviação do Ca da superfície para a subsuperfície, fato confirmado pela redução dos teores de Ca neste tratamento também na água da segunda lixiviação, ou seja, após o cultivo da mucuna. O Ca fornecido pelo biochar, provavelmente, ficou retido na superfície ou foi absorvido pela planta.

A adição de grandes quantidades de K também pode ter promovido a lixiviação de outros cátions no solo, pelo deslocamento dos demais cátions como o Ca para a solução do solo. Ernani et al. (2003) observaram maior lixiviação de Ca em um Latossolo e um Cambissolo, com o aumento da adição de doses crescentes de potássio sobre a superfície. Além disso, com a adição de biochar aumentou a disponibilidade desse nutriente. Singh et al. (2010) citam que os biochars, de maneira geral, são ricos em Ca e com o processo de pirólise a concentração desse nutriente no biochar é favorecida.

As doses crescentes de KCl proporcionaram aumentos nos teores de Mg no solo recém-incubado, quando este recebeu ou não o biochar (Figura 5A). Em cada dose, a aplicação do biochar aumentou os teores de Mg no solo recém-incubado em relação à sua não aplicação.



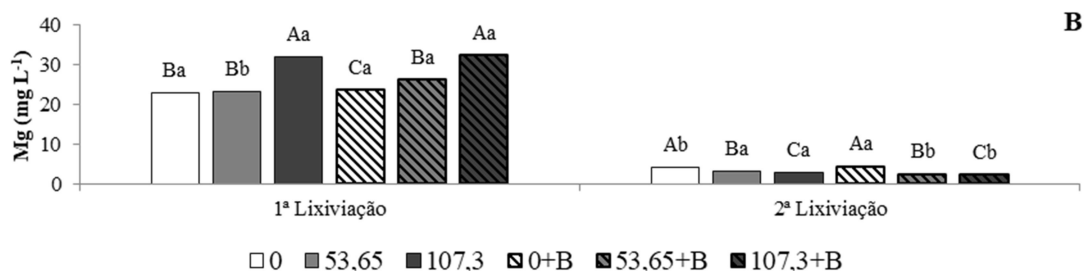


Figura 5. Teores de Mg: **A)** em espodossolo, após período de incubação (20 dias) e na superfície e subsuperfície dos vasos após cultivo da mucuna preta (40 dias); **B)** na água da primeira lixiviação dos vasos (após período de incubação e antes do plantio da mucuna) e na segunda lixiviação (após o plantio da mucuna), em função da aplicação ou não de biochar (B) associado a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

No solo da superfície as doses crescentes do KCl não resultaram em incrementos no teor de Mg, mas em cada dose a aplicação do biochar proporcionou aumento nos teores de Mg no solo, comparativamente à sua não aplicação. Por outro lado, na subsuperfície, as doses crescentes de K reduziram os teores de Mg no solo com e sem a adição do biochar. No controle não foi verificado efeito do biochar na subsuperfície, enquanto na dose intermediária ocorreu aumento de 13 % nos teores de Mg com a adição do biochar comparados à sua não aplicação e na maior dose, foi verificado uma redução nos teores de Mg em relação à não aplicação do biochar, sendo esse comportamento o mesmo observado para os teores de Ca nesta dose. A elevada absorção pela mucuna pode ter diminuído a disponibilidade desse nutriente no solo após o cultivo.

Na primeira lixiviação (Figura 5B), antes do cultivo da mucuna, somente a aplicação da maior dose de KCl proporcionou aumento nos teores de Mg comparado às demais doses aplicadas. Por outro lado, com o biochar, doses crescentes de KCl proporcionaram aumento proporcional nos teores de Mg na água de lixiviação.

Este resultado sugere que, em altos níveis de K no solo, ocorre um deslocamento do Mg para a solução do solo. A adição de altas doses de K

proporciona a lixiviação de outros cátions no solo, pelo deslocamento destes elementos para a solução (Ernani et al., 2007), como ocorreu com o Mg e o Ca no presente experimento. O coeficiente de seletividade (Novais e Mello, 2007) indica que a preferência dos cátions trocáveis pelos sítios de troca é maior para o Ca^{2+} , depois para o Mg^{2+} e por último o K^+ . Por outro lado, o aumento no teor de K no solo pela adição das doses de KCl aumenta a atividade do K na solução do solo. Além disso, as quantidades disponíveis desses elementos provenientes do biochar também atuam na atividade de cada um na solução do solo.

Após o cultivo da mucuna, com e sem a aplicação do biochar, as doses crescentes de KCl proporcionaram redução nos teores de Mg na água de lixiviação, acompanhando o resultado observado na superfície. Esse resultado pode ter ocorrido devido à maior absorção desse nutriente pelas plantas reduzindo assim, os teores deste elemento na solução do solo.

A aplicação do biochar aumentou significativamente os teores de Na no solo recém-incubado e após o cultivo da mucuna na superfície e na subsuperfície comparativamente à sua não aplicação (Figura 6). As doses crescentes de KCl proporcionaram aumentos crescentes nos teores de Na no solo recém-incubado, tanto em ausência quanto na presença do biochar.

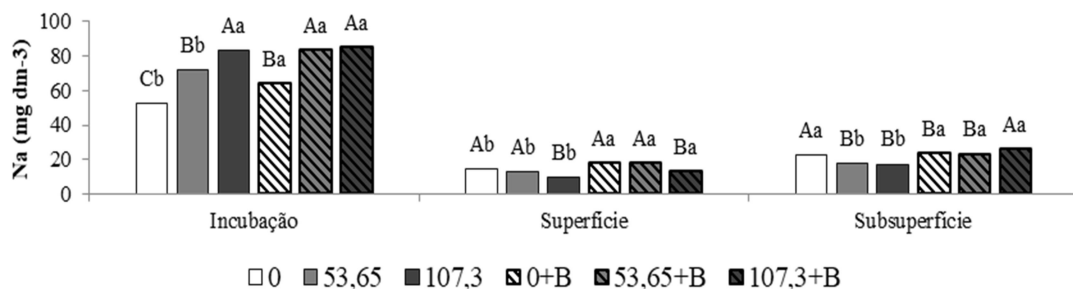


Figura 6. Teores de Na em espodossolo, após período de incubação (20 dias) e na superfície e subsuperfície dos vasos após cultivo da mucuna preta (40 dias), em função da aplicação ou não de biochar (B) associado a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

Após o plantio da mucuna, no solo da superfície, com e sem a aplicação do biochar, e no solo da subsuperfície apenas sem a aplicação do biochar, houve redução no teor de Na disponível, na maior dose de KCl quando comparado às demais doses, podendo ser devido à maior absorção desse elemento pela mucuna ou por sua maior lixiviação. Foi também verificado que na subsuperfície houve maiores teores de Na que na superfície, indicando uma provável lixiviação desse elemento na ausência e na presença do biochar.

As doses crescentes de KCl proporcionaram decréscimos no teor de P no solo recém-incubado com e sem a aplicação do biochar (Figura 7). O mesmo ocorreu com o Ca (Figura 4A). Esse resultado sugere que pode ter ocorrido precipitação do Ca com o P nas maiores doses de KCl aplicadas. Isso é possível pelo deslocamento do Ca da superfície de troca devido à adição do KCl possibilitando as reações de precipitação do Ca com o P.

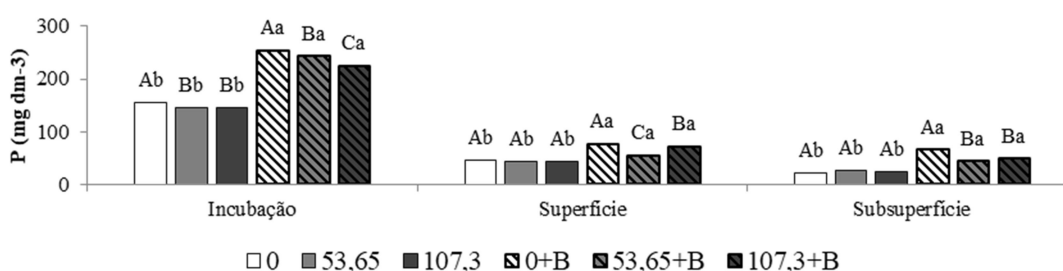


Figura 7. Teores de P em espodossolo, após período de incubação (20 dias) e na superfície e subsuperfície dos vasos após cultivo da mucuna preta (40 dias), em função da aplicação ou não de biochar (B) associado a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

O biochar proporcionou aumento nos teores de P no solo com relação à sua não aplicação (Figura 7), tanto no solo recém-incubado, quanto após o cultivo da mucuna. Além disso, este material possibilitou o carreamento de P da superfície para a subsuperfície, junto à água de lixiviação ou pelo deslocamento

do próprio biochar, melhorando o ambiente radicular em profundidade. O incremento nos teores de P com a aplicação do biochar, no solo recém-incubado, foi em média de 69 % comparativamente à sua não aplicação. O aumento nos teores de P na superfície e na subsuperfície foi de aproximadamente 53 e 127 %, respectivamente, com a aplicação do biochar relacionada à sua não aplicação. A descida do P para camadas mais profundas do solo ocasionadas pelo biochar pode ser importante para espécies com raízes mais profundas.

Esse aumento nos teores de P disponível no solo é decorrente da elevada concentração desse nutriente no biochar (27,62 g kg⁻¹). Prakongkep et al. (2014) demonstraram que o biochar é rico em fosfato monopotássico (KH₂PO₄), forma de P bastante solúvel em água, e de elevada disponibilidade, aumentando os teores tanto de K quanto de P no solo.

Outro benefício do biochar na disponibilidade de P no solo é decorrente da sua natureza altamente porosa e elevada área superficial interna. Estas suas características, juntamente com sua capacidade de adsorver a matéria orgânica solúvel e outros nutrientes inorgânicos (Lehmann et al., 2011), aumentam a disponibilidade desse nutriente (Fischer e Glaser, 2012), quando o biochar é adicionado ao solo.

O fornecimento de P pelo biochar reforça a função nutricional desse material, muito importante para solos tropicais e pobres em nutrientes como os espodossolos, presentes no Norte do Rio de Janeiro, que apresentam baixíssimos teores de P disponível, assim como a maioria dos solos brasileiros.

No solo recém-incubado, os teores de Al (Figura 8) não variaram com as doses de K, com ou sem a adição do biochar. Com o cultivo da mucuna, na superfície, os teores de Al se elevaram no controle e na dose 107,3 mg dm⁻³ de K nos tratamentos onde não foi realizada a aplicação do biochar em relação à sua adição. No solo da subsuperfície os teores de Al se elevaram somente nos tratamentos sem a aplicação do KCl, ou seja, a aplicação do KCl diminuiu os teores de Al na solução do solo.

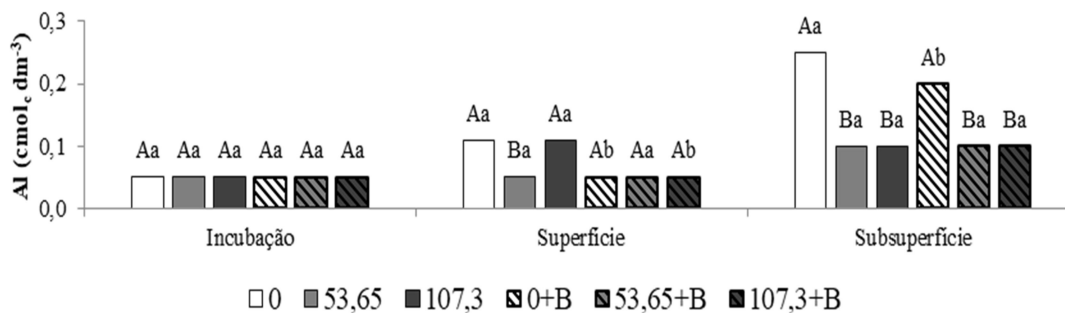


Figura 8. Teores de Al em espodossolo, após período de incubação (20 dias) e na superfície e subsuperfície dos vasos após cultivo da mucuna preta (40 dias), em função da aplicação ou não de biochar (B) associado a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

A estabilidade dos teores de Al na presença do biochar pode ser explicada pela retenção do Al nos sítios ativos do biochar. O biochar possui CTC ativa e a variação na CTC deste material ocorre em função, principalmente, da biomassa utilizada como matéria-prima e da temperatura de pirólise (Singh et al., 2010).

Para a acidez potencial foram verificadas interações significativas entre as doses de KCl e a aplicação do biochar no solo recém-incubado e no solo da subsuperfície após o cultivo da mucuna.

A acidez potencial (H+Al) (Figura 9) apresentou uma pequena variação, porém significativa com a aplicação do biochar em todas as doses de KCl no solo recém-incubado comparativamente à não adição do biochar. Na superfície, após o cultivo da mucuna, não houve diferença significativa entre os tratamentos, porém houve um aumento na acidez potencial de cerca de 1,5 vezes com relação ao solo recém-incubado, em todos os tratamentos. Sem a aplicação do biochar, na subsuperfície dos vasos, as doses crescentes de KCl proporcionaram aumento na acidez potencial, porém resultado inverso foi observado com a aplicação do biochar. A aplicação do biochar, porém, aumentou a acidez potencial no controle

e seus valores diminuíram com a aplicação deste material nas doses 53,65 e 107,3 mg dm⁻³ de K comparativamente à sua não aplicação.

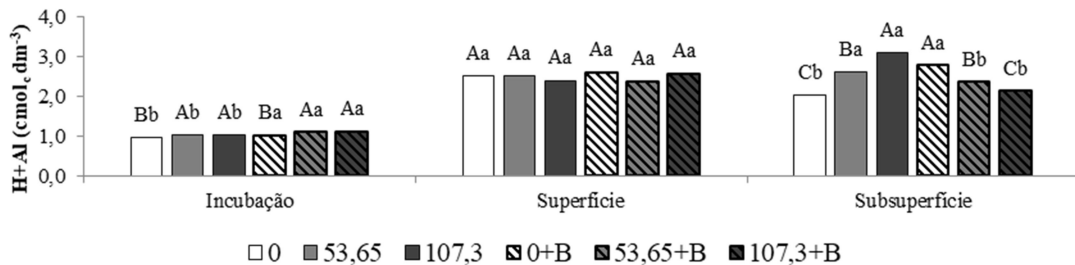


Figura 9. Acidez potencial (H+Al) em espodossolo, após período de incubação (20 dias) e na superfície e subsuperfície dos vasos após cultivo da mucuna preta (40 dias), em função da aplicação ou não de biochar (B) associado a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

As respostas na CTC potencial (Figura 10) e na CTC efetiva (Figura 11) no solo recém-incubado e no solo da superfície após o cultivo da mucuna foram semelhantes. As doses crescentes de KCl aumentaram a CTC potencial (Figura 10) e a CTC efetiva (Figura 11) no solo recém-incubado em presença e ausência do biochar. No solo da superfície, após o cultivo da mucuna, esse efeito ocorreu somente na presença do biochar.

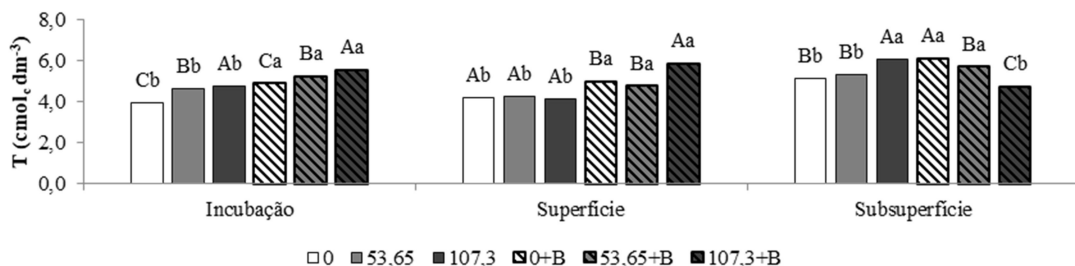


Figura 10. CTC potencial (T) em espodossolo, após período de incubação (20 dias) e na superfície e subsuperfície dos vasos após cultivo da mucuna preta (40 dias), em função da aplicação ou não de biochar (B) associado a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

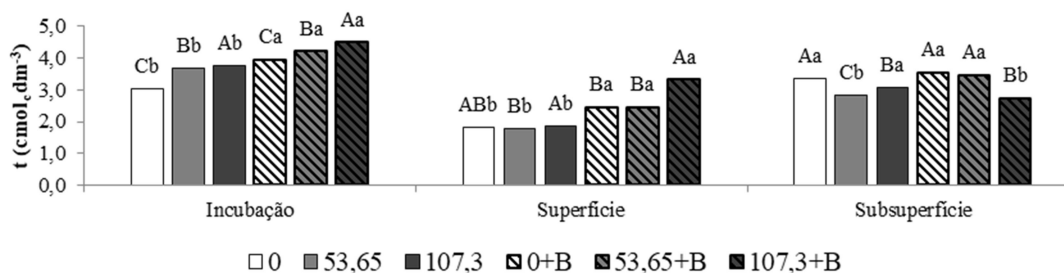


Figura 11. CTC efetiva (t) em espodossolo, após período de incubação (20 dias) e na superfície e subsuperfície dos vasos após cultivo da mucuna preta (40 dias), em função da aplicação ou não de biochar (B) associado a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

A aplicação do biochar aumentou a CTC potencial e efetiva no período de incubação e manteve o incremento em seus valores após o cultivo da mucuna na superfície em relação à sua não aplicação. Na subsuperfície, porém, na maior dose de KCl houve redução na CTC potencial e efetiva com a aplicação do biochar comparativamente à sua não adição ao solo (Figura 10 e 11).

O fato de a CTC potencial ter reduzido na dose $107,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de K com aplicação de biochar na subsuperfície, comparado à sua não aplicação, pode ser explicado pela variação na dinâmica dos nutrientes no solo ocasionada pela aplicação deste tratamento, fato melhor observado pela análise da fórmula utilizada para o cálculo da CTC: $T=SB+(H+Al)$, onde SB (soma de bases)=

K+Na+Ca+Mg. Observando as figuras 4, 5 e 9 é possível notar que os teores de Ca e Mg, além da acidez potencial, foram menores nas parcelas onde foi aplicada a dose 107,3 mg dm⁻³ de K associada ao biochar, e por consequência, ocasionando redução nos valores da CTC potencial sob este tratamento. Esse aumento da CTC potencial pode ser justificado pela forma indireta de obtenção dessa propriedade (cálculo), que considera o aumento da concentração de cátions trocáveis como Ca e Mg (Souza, 2015). O mesmo pode também explicar a redução da CTC efetiva na maior dose de K com a aplicação do biochar.

Estudos têm demonstrado aumento da CTC, quando o biochar é obtido por pirólise lenta (Jeffery et al., 2011; Shenbagavalli e Mahimairaja, 2012; Jien e Wang, 2013), como o utilizado no presente estudo. As características físicas do biochar afetam diretamente a CTC do solo, retendo elementos nutrientes de plantas como Ca, Fe, Cu, ou elementos tóxicos para as plantas, como, por exemplo, o Al (O'Neill et al., 2009; Anderson et al., 2011; Resende et al., 2011). Adicionalmente a este efeito, pode ser provocada redução da acidez e da disponibilidade de Al devido à CTC do biochar (van Zwieten et al., 2010), como verificado no presente trabalho para o Al trocável (Figura 8) e para o pH do solo (Figura 2A).

Para solos com CTC potencial igual ou superior a 4,0 cmol_c kg⁻¹, os teores adequados de K no solo precisam ser superiores a 51 mg kg⁻¹ (Rossetto et al., 2004). No solo recém-incubado para todos os tratamentos (com e sem a adição de biochar), os teores de K no solo (Figura 3) foram superiores a 51 mg kg⁻¹. Após o cultivo da mucuna, nos tratamentos onde se adicionou o biochar, o solo da superfície e da subsuperfície apresentaram teores de K adequados. Sem a aplicação do biochar, no solo da superfície apenas a maior dose de K atingiu estes valores e na subsuperfície nenhuma das doses de KCl aplicadas atingiu o teor de K adequado.

Apesar da redução na CTC efetiva em todas as doses de KCl aplicadas após o cultivo da mucuna (superfície), quando comparado aos valores observados antes do cultivo (solo recém-incubado), o biochar manteve um incremento na CTC efetiva de 35, 38 e 79% com as doses de KCl aplicadas, respectivamente, comparado à não aplicação do biochar nestas mesmas doses. No solo da subsuperfície o biochar proporcionou incremento na CTC efetiva no controle e na dose 53,65 mg dm⁻³ de K.

Os valores de condutividade elétrica na água de lixiviação apresentados na figura 12 vêm confirmar que houve não só uma maior lixiviação de bases (K, Ca e Mg e Na), mas de nutrientes de uma maneira geral na primeira lixiviação (momento logo após a incubação e antes do cultivo da mucuna), onde haviam mais nutrientes disponíveis que na segunda lixiviação, realizada após a retirada de nutrientes pela primeira lixiviação e também pelo cultivo da mucuna no solo.

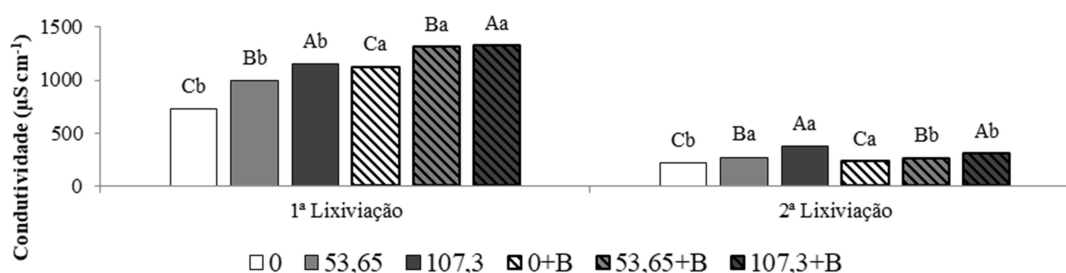


Figura 12. Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) na água da primeira lixiviação dos vasos (após período de incubação e antes do plantio da mucuna) e na segunda lixiviação (após o plantio da mucuna), em função da aplicação ou não de biochar (B) associado a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

Avaliando os nutrientes no solo segundo as classes de disponibilidade de acordo com Ribeiro et al (1999), foi verificado que no solo recém-incubado, somente a aplicação das doses 53,65 e 107,3 mg dm^{-3} de K sem o biochar foi capaz de elevar os teores de K de “baixo” para “muito bom”. A aplicação do biochar elevou os teores de K de “baixo” para “muito bom” já a partir do controle (sem a aplicação do K). O Ca e a CTC efetiva mantiveram-se no nível “médio” com a aplicação do biochar. O Mg e a CTC potencial elevaram-se do nível “baixo” para a “médio”. Para o P não houve alteração na classe de disponibilidade, mantendo-se no nível “muito bom”.

Após o cultivo da mucuna, na superfície, a aplicação do biochar elevou os teores de K do nível “baixo” para “médio” no controle e na dose intermediária segundo a classe de interpretação de disponibilidade (Ribeiro et al., 1999) em relação à não aplicação do biochar. Na maior dose a aplicação do biochar elevou os teores de K de “médio” para “bom”. O biochar elevou, no solo da superfície, os teores de Ca e Mg e os valores de CTC potencial e efetiva de “baixo” para “médio”. Já os níveis de P mantiveram-se com o nível “muito bom” no controle e elevou-se de “bom” para “muito bom” nas demais doses de K aplicadas, com a aplicação do biochar.

Na subsuperfície foi observado que a adição do biochar (aplicada na superfície) elevou os teores de K de “baixo” para “bom” no controle e na dose intermediária e no maior nível de aplicação de K para “muito bom” segundo a classe de interpretação de disponibilidade (Ribeiro et al., 1999). A aplicação do biochar manteve valores de Ca, Mg, CTC potencial e efetiva “médios” e elevou o P de “médio” para “muito bom” em todas as doses de K aplicadas.

De maneira geral o biochar aumentou os teores das bases (K, Ca e Mg) no solo recém-incubado comparativamente à sua não aplicação. Quando foi realizada a primeira lixiviação, logo após a incubação e antes do plantio da mucuna, a lixiviação das bases não foi proporcional ao teor que havia no solo recém-incubado. Assim, maiores teores de bases obtidos com a aplicação do biochar não resultaram em aumento na concentração de bases na água de lixiviação, provavelmente porque o biochar também aumentou a CTC efetiva e potencial (Figura 10 e 11) do solo nesses tratamentos, ou seja, a capacidade de retenção de bases neste solo.

Após o cultivo da mucuna no solo da superfície, na maior dose de KCl foi observado aumento no teor de todas as bases (K, Ca e Mg) em relação às demais doses. No solo da subsuperfície e também na água de lixiviação o resultado foi inverso para Ca e Mg (Figura 4 e 5), indicando que o biochar, apesar de introduzir o Ca e Mg proveniente de sua composição, manteve esses elementos na superfície e, por consequência, houve menor carreamento dos mesmos para a subsuperfície e para água de lixiviação. Essa resposta é confirmada pela menor condutividade elétrica na água da segunda lixiviação no solo que recebeu biochar comparado ao solo que não o recebeu (Figura 12).

Para o P o biochar não somente aumentou seus teores no solo recém-incubado, comparativamente à não adição do biochar, como também manteve mais alto no solo da superfície e da subsuperfície os teores deste elemento, indicando uma movimentação, ou seja, uma distribuição de P no perfil do solo.

Os maiores teores de K, P, Ca e Mg observados na superfície dos vasos após o cultivo da mucuna indicam que, apesar destes elementos terem sido extraídos pelo adubo verde, teores consideráveis foram mantidos no solo com a aplicação do biochar, podendo ser utilizados pelas plantas em cultivos subsequentes.

4.2. Distribuição de K no sistema solo-planta-água-de-lixiviação

O conteúdo de K no solo recém-incubado (Figura 13) apresentou valores crescentes com o aumento das doses de KCl aplicadas, com ou sem a aplicação do biochar. A aplicação do biochar proporcionou maior conteúdo de K no solo em cada dose de KCl testada comparado à sua não aplicação.

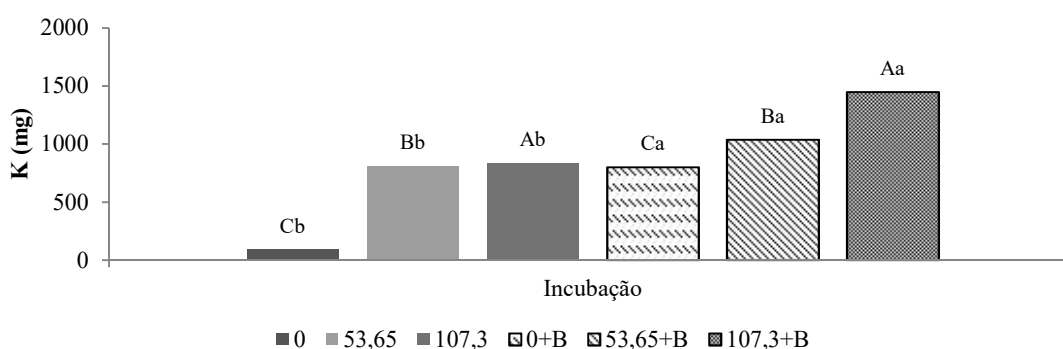


Figura 13. Conteúdo de potássio no solo após período de incubação em função da aplicação ou não de biochar (B) associada a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

No solo recém-incubado, no controle, foi observado cerca de 100 mg de K em 3,2 kg de solo, enquanto que no mesmo tratamento com a adição do biochar foi verificado cerca de 800 mg de K, ou seja, um acréscimo de 7 vezes no conteúdo de K, indicando o alto teor desse elemento no biochar que foi extraído pelo extrator Mehlich. Com a aplicação de somente 1% de biochar ao solo, são adicionados 139,74 mg dm⁻³ de K, ou seja, 279,5 kg ha⁻¹. A aplicação do biochar no solo recém-incubado, no controle, equipara-se ao da aplicação de 107,3 mg dm⁻³ de K (que corresponde a 214,6 kg ha⁻¹ de K).

O conteúdo de K na parte aérea das plantas de mucuna foi influenciado pela aplicação do biochar e pelas doses de K aplicadas (Figura 14). Dentro de cada dose de K aplicadas ao solo, a aplicação do biochar proporcionou maior conteúdo de K na parte aérea da planta de mucuna que a sua não aplicação. As doses crescentes de adubação potássica, quando não se adicionou o biochar, levaram a incrementos proporcionais no conteúdo de K. Já com a adição do biochar não foi verificado esse efeito proporcional, pois, embora a maior dose de K testada tenha proporcionado maior conteúdo do elemento na planta comparado às outras doses, a dose 53,65 mg dm⁻³ de adubação potássica apresentou menor acúmulo de K do que o controle.

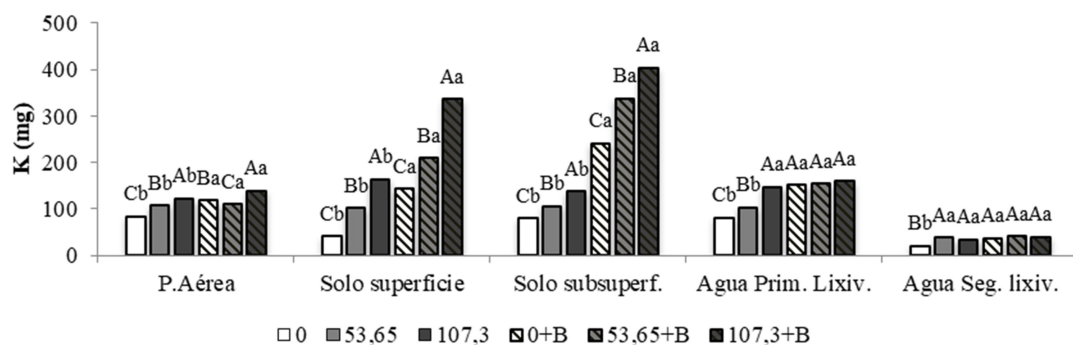


Figura 14. Conteúdo de K: na parte aérea de duas plantas de mucuna preta após 40 dias de cultivo; no solo da superfície e da subsuperfície do vaso após o cultivo da mucuna e realização de duas lixiviações; na água da primeira lixiviação, realizada após período de incubação; e na água da segunda lixiviação, realizada após o cultivo; em função da aplicação ou não de biochar (B) associada a três níveis de adubação potássica. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre os níveis de adubação potássica

dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

O conteúdo de K nas plantas de mucuna aumentou com a adição do biochar ao solo comparativamente à sua não adição. Na maior dose de K testada ($107,8 \text{ mg dm}^{-3}$) e sem a aplicação do biochar o conteúdo de K na parte aérea da planta foi semelhante ao tratamento sem aplicação de K e com a aplicação do biochar. Estes resultados ocorreram devido à alta concentração de K no biochar ($50,63 \text{ g kg}^{-1}$), demonstrando que boa parte deste K está na forma disponível, podendo, assim, atender a demanda deste nutriente para as plantas, assim como de outros elementos que poderiam também limitar o crescimento da mucuna.

As doses crescentes de adubação potássica, nos tratamentos que receberam e naqueles que não receberam o biochar, fizeram aumentar proporcionalmente o conteúdo de K no solo da superfície e da subsuperfície (Figura 14). Avaliando cada dose de KCl, separadamente, observa-se que a aplicação do biochar incrementou o conteúdo de K em ambas as camadas de solo comparativamente à sua não aplicação. É importante salientar que, tanto para o solo da superfície quanto da subsuperfície, a adição do biochar no tratamento onde não se adicionou KCl (controle) proporcionou conteúdos de K próximos ou mesmo superiores aos valores associados à maior dose de K ($107,3 \text{ mg dm}^{-3}$) sem a adição do biochar, demonstrando o potencial do biochar no fornecimento de K ao solo.

Tendo em vista que não foi adicionado biochar ou KCl no solo da subsuperfície, o incremento no conteúdo de K nessa camada, observado principalmente nos tratamentos com biochar, indica uma movimentação deste cátion a partir da superfície e também uma provável movimentação do próprio biochar (que apresenta K na sua composição).

O K, quando presente na solução do solo, tende a movimentar-se verticalmente, principalmente pela água de drenagem. Por isso, este elemento pode ser perdido por lixiviação, ou seja, transportado para profundidades além daquelas ocupadas pelas raízes (Oliveira e Villas Boas, 2008). Esta movimentação do potássio no perfil do solo depende, principalmente, da CTC, do

regime hídrico, da solubilidade do fertilizante e da textura (Rosolem et al., 2006), sendo alta nos espodossolos que apresentam textura arenosa e baixa CTC. Por outro lado, no solo da superfície o conteúdo de K foi menor porque, além da lixiviação para a subsuperfície, pode ter ocorrido uma maior absorção deste nutriente pelas raízes da mucuna.

No conteúdo de K na água lixiviada (Figura 14) na primeira lixiviação, sem a aplicação do biochar ao solo, foi verificado aumento no conteúdo de K com o aumento das doses de potássio. Esse efeito ocorreu com menos intensidade na segunda lixiviação. Na presença do biochar, entretanto, o aumento das doses de K (Figura 14) não resultou em aumento no conteúdo de K na água nas duas lixiviações efetuadas. Para cada dose de K avaliada, foi observado que a aplicação do biochar aumentou o conteúdo de K na água lixiviada somente para a dose zero e na dose $53,65 \text{ mg dm}^{-3}$ na primeira lixiviação e para o controle na segunda lixiviação.

Na segunda lixiviação, realizada após o cultivo da mucuna, a quantidade de K presente na água de lixiviação foi menor quando comparada com a primeira lixiviação, realizada após período de incubação, para todas as doses de KCl testadas.

Estudos relataram redução na lixiviação de nutrientes em solo que recebeu aplicação de biochar (Lehmann et al., 2003; Novak et al., 2009; Singh et al., 2010). A retenção de nutrientes no solo foi atribuída à capacidade do biochar de adsorver estes elementos por apresentar alta CTC (Novak et al., 2009; Singh et al., 2010), e também de aumentar a retenção de água, o que reduz a lixiviação dos nutrientes móveis (Steiner et al., 2008).

O percentual de K distribuído (Figura 15) no sistema planta-solo-água-de-lixiviação foi estimado com base no somatório do conteúdo de cada uma dessas partes (conteúdo de K da parte aérea das plantas, do solo da superfície e subsuperfície e na água da primeira e da segunda lixiviação).

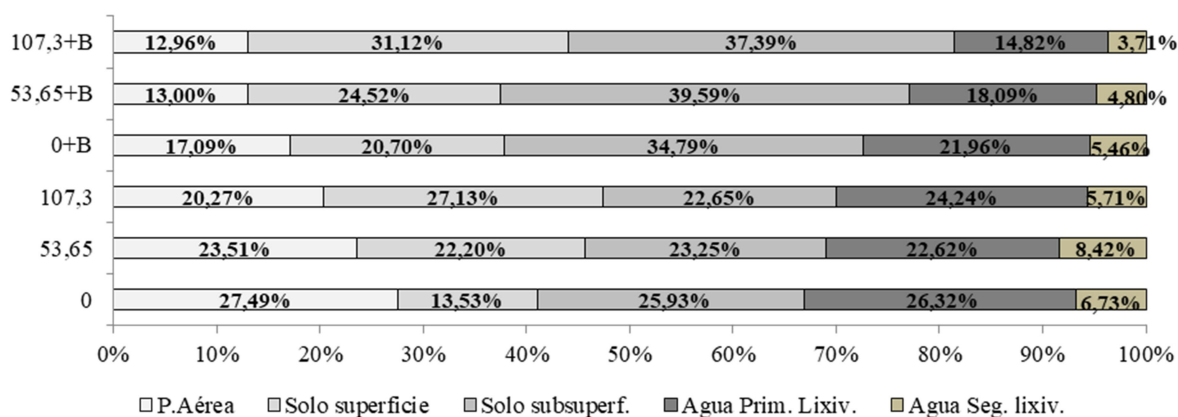


Figura 15. Distribuição percentual do conteúdo de K no sistema planta-solo-água-de-lixiviação. A partir do somatório do conteúdo de K nas duas plantas cultivadas por 40 dias + o conteúdo de K no solo (superfície + subsuperfície) após o cultivo + o conteúdo de K na água de lixiviação (primeira lixiviação, realizada após período de incubação + segunda lixiviação, realizada após o cultivo da mucuna); em função da aplicação ou não de biochar (B) associada a três doses de potássio (média de 6 repetições).

Avaliando cada tratamento quanto à distribuição percentual do K em cada compartimento do sistema planta-solo-água-de-lixiviação (Figura 15), foi observado que, em média, o conteúdo de K nas plantas que receberam o biochar variou de 12% a 17% do K total, enquanto em plantas que não receberam biochar variou de cerca de 20% a 27%. É importante considerar que, apesar do menor valor percentual de K acumulado nas plantas, o K total adicionado foi significativamente maior nos tratamentos com biochar e as plantas adquiriram maior conteúdo de K (Figura 14) quando em sua presença.

Na distribuição percentual de K no solo, verificou-se que o solo da subsuperfície apresentou percentualmente conteúdo de K superior ao da superfície. Além disso, independente da dose de adubação potássica aplicada, a presença do biochar proporcionou percentualmente maior conteúdo de K na subsuperfície (variando entre cerca de 34 e 30%) dos vasos comparado à sua não aplicação (que variou entre cerca de 23 e 26%). No solo da superfície os tratamentos sem biochar apresentaram de 13 a 27% de conteúdo total de K do

sistema planta-solo-água enquanto que com o biochar o percentual variou de 20 a 37% do total obtido no sistema.

Somando-se o percentual de K obtido na superfície com o obtido para subsuperfície do solo, observa-se que cerca de 62% do K total do sistema solo-planta-água-de-lixiviação (variou de 55, 65 e 68% para as doses crescentes de K) ficou retido no solo nos tratamentos com biochar enquanto que a retenção no solo sem o biochar foi de cerca de 44% (39, 45 e 50% com as doses crescentes de K). Assim, maiores dose de K proporcionaram maior retenção de K no solo e esta retenção foi mais intensa em presença do biochar.

Com relação às perdas percentuais de K por lixiviação, nos tratamentos com ausência de biochar os conteúdos de K na água da primeira e da segunda lixiviação foram, em média, de 25% (variando de 22 a 26%) e 6% (variando entre 6 e 8%) do total no sistema, respectivamente, enquanto para os tratamentos com o biochar foram de 18% (variando entre cerca de 15 e 22%) e 4% (variando entre cerca de 4 e 5%) do total. Somando-se os percentuais obtidos nas duas lixiviações, em presença do biochar, cerca de 22% do K foi encontrado na água lixiviada enquanto a não adição do biochar proporcionou perda percentual do elemento na água de 31% do total obtido no sistema planta-solo-água-de-lixiviação, ou seja maior perda sem o biochar.

Avaliando-se a distribuição percentual em cada dose de KCl estudada, observou-se que na ausência do biochar, no controle, o conteúdo de K foi maior na planta (27,49%), na subsuperfície do vaso (25,93%) e na água da primeira lixiviação (26,32%), enquanto somente 13% foi observado na superfície. Provavelmente isso ocorreu devido à absorção do elemento pelas raízes nesta camada. Nas doses 53,65 e 107,3 mg dm⁻³, sem o biochar, a distribuição do conteúdo de K foi proporcional entre a parte aérea da mucuna, o solo da superfície e da subsuperfície do vaso e na água da primeira lixiviação. Com a aplicação do biochar, independente da dose de KCl aplicada, a maior retenção de K foi observada no solo da subsuperfície.

Estes resultados mostram que o biochar foi eficiente na retenção do potássio no solo e conseqüente diminuição de sua proporção, na água de lixiviação, fato que pode ser associado à presença de cargas (CTC) no biochar. De acordo com Laird et al. (2010), o biochar apresenta estrutura periférica externa

reativa (funcionalizada) para atuar como a matéria orgânica natural do ambiente, aumentando assim a CTC do solo.

4.3. Crescimento e nutrição mineral do adubo verde

O biochar proporcionou maior crescimento das plantas de mucuna preta comparativamente à sua não aplicação, principalmente quando associado à dose 107,3 mg dm⁻³ de K, garantindo maior acúmulo de MSPA das plantas, mesmo neste solo bastante arenoso (Figura 16). As plantas de mucuna apresentaram valores médios de MSPA entre 11 e 14 g vaso⁻¹ aos 40 dias de cultivo, superiores aos encontrados por Ernani et al. (2001), mesmo as plantas, no presente experimento, sendo mais novas. Esses autores observaram MSPA variando de 6 e 12 g vaso⁻¹ aos 60 dias de cultivo com a aplicação de diferentes doses de calcário em Latossolo Bruno e Cambissolo Húmico. Fernandes et al. (2007) encontraram valores médios de 17,4 g vaso⁻¹ em Latossolo Amarelo também trabalhando com doses de calcário, cultivando as plantas por 60 dias.

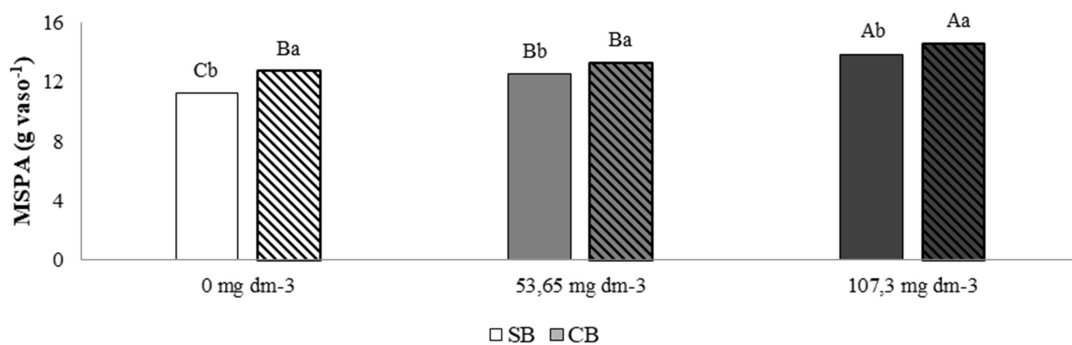


Figura 16. Matéria seca da parte aérea de duas plantas de mucuna preta, em g vaso⁻¹, cultivadas por 40 dias, em função da aplicação (CB) ou não do biochar (SB), associada a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

As doses de KCl aumentaram a MSPA, tanto na presença quanto na ausência do biochar. Avaliando cada dose de KCl, a aplicação do biochar aumentou a MSPA em relação à sua não aplicação nas três doses de K avaliadas.

Observando a Figura 16 nota-se que os valores médios de MSPA no tratamento sem adubação, com adição de biochar foram próximos aos valores atribuídos à dose $53,65 \text{ mg dm}^{-3}$ de K sem a adição do biochar, demonstrando que a incorporação deste material ao solo foi importante no fornecimento de K às plantas de mucuna. A aplicação de 1% de biochar em volume do solo (correspondente a $2,76 \text{ g dm}^{-3}$, ou seja, $5,52 \text{ Mg ha}^{-1}$ de biochar) proporcionou produção de MSPA das plantas de mucuna semelhante à aplicação $53,65 \text{ mg dm}^{-3}$ de K na ausência de biochar (correspondente a $107,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de K adicionado ao solo pela fonte mineral, no caso o KCl, considerando aplicação em área total). Resposta semelhante ocorreu entre os valores de MSPA obtidos na dose $53,65 \text{ mg dm}^{-3}$ com biochar ($107,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de K via KCl mais o adicionado via biochar) e na dose $107,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de K sem biochar ($214,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de K via KCl, considerando aplicação em área total).

Aumentos na biomassa de leguminosas quando cultivadas em solo modificado com biochar foram também descritos por Rondon et al. (2007). Oram et al. (2014), relataram que o uso de biochar aumentou substancialmente o K disponível no solo, excedendo as concentrações nos tratamentos que receberam o fertilizante K em 3-4 vezes e levando a um aumento significativo na biomassa do trevo vermelho.

Em relação à nutrição da mucuna observou-se que a aplicação do biochar, quando comparada à sua não aplicação, proporcionou maior aquisição de N nos tratamentos sem adição de KCl e com adição de $53,65 \text{ mg dm}^{-3}$ de K e menor aquisição de N na maior dose de K ($107,3 \text{ mg dm}^{-3}$) (Figura 17). Esse comportamento foi inverso ao observado para o P, que apresentou maior conteúdo somente na dose $107,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de K, com ausência de diferenças significativas na aquisição de P para o controle e para a dose $53,65 \text{ mg dm}^{-3}$ de K. Já para o Mg, o conteúdo só aumentou com a adição do biochar quando o KCl não foi aplicado, mas nenhuma diferença significativa foi observada para as demais doses de K avaliadas. O conteúdo de Ca não apresentou diferença

significativa com a aplicação ou não do biochar em todas as doses de K avaliadas.

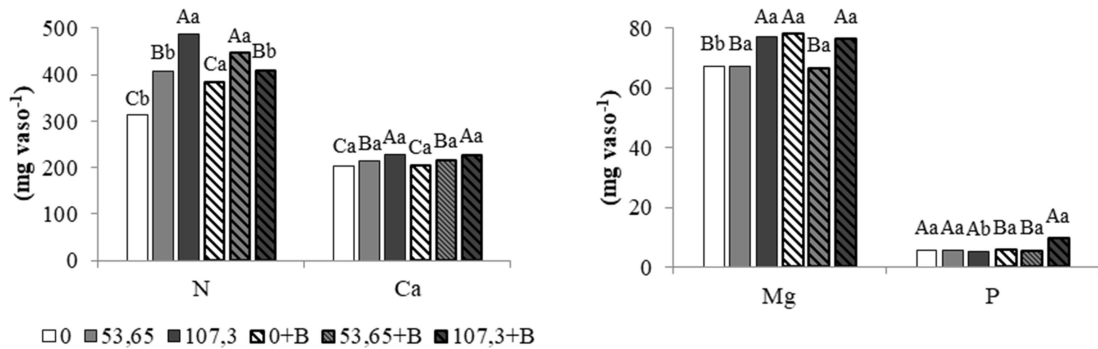


Figura 17. Conteúdo de N, Ca, Mg e P na parte aérea em duas plantas de mucuna, cultivadas por 40 dias, em função da aplicação ou não de biochar (B) associada a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

Os conteúdos de N, Ca e Mg aumentaram com a aplicação das doses crescentes de KCl nos tratamentos sem a adição do biochar, enquanto o conteúdo de P não foi afetado pelas doses crescentes de KCl. Para os tratamentos com biochar, somente os conteúdos de Ca e P tiveram incrementos positivos com as doses crescentes de KCl (Figura 17).

De acordo com Ernani et al. (2007), o K compete com NH_4^+ , Ca e Mg nos sítios de absorção pelas plantas. Dessa forma, o aumento das doses de KCl deveria diminuir o conteúdo de K na planta, o que não ocorreu no presente experimento. Por outro lado, a aplicação do K no solo também promove a troca com outros cátions que se encontram retidos nas cargas do solo, deixando-os disponíveis na solução do solo (Ernani et al., 2007), o que poderia aumentar a absorção pelas plantas, como foi aqui observado para as bases catiônicas.

Por outro lado, a aplicação do biochar pode reter nutrientes como o Ca, P e N no solo, melhorando posteriormente sua disponibilidade para as plantas (Ventura et al., 2013; Oram et al., 2014), o que poderia justificar o menor conteúdo de N nas plantas que receberam biochar na maior dose de K aplicada.

A eficiência de utilização (EU) do K (Figura 18), nos tratamentos sem a adição do biochar, foi maior na dose 107,3 mg dm⁻³ de K. Nos tratamentos com a adição de biochar a dose intermediária (53,65) apresentou maior eficiência de utilização de K, ocorrendo o mesmo para a eficiência de utilização de P com a aplicação do biochar.

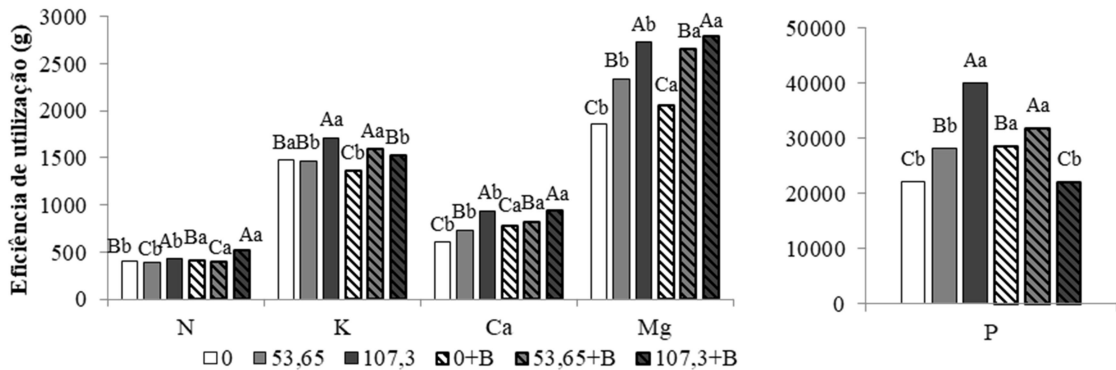


Figura 18. Eficiência de utilização de N, K, Ca, Mg e P das plantas de mucuna cultivada por 40 dias, em função da aplicação ou não de biochar (B) associada a três doses de potássio. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre as doses de potássio dentro dos tratamentos com e sem biochar. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a aplicação ou não do biochar dentro de cada dose de K (média de 6 repetições).

A eficiência de utilização de um determinado nutriente é definida como a biomassa produzida por unidade de nutriente aplicado ao solo (Baillan et al., 1991). De acordo com Israel e Rufty Júnior (1988), a eficiência nutricional é a relação entre a biomassa total e a quantidade de nutriente absorvido.

A diminuição da eficiência de utilização para o K e P na maior dose, provavelmente ocorreu pelo fato desses elementos se encontrarem em altas concentrações na solução do solo. O K, além de ser fornecido pela adubação com KCl, também encontra-se bastante presente no biochar, como destacado anteriormente, assim como o P, que foi fornecido via adubação mineral antes da incubação do solo e que também está presente em uma concentração significativa no biochar (Quadro 2). Quando estes elementos encontram-se

bastante disponíveis para a planta, ela não consegue transformar tudo o que absorve em produção de matéria seca, tornando-se menos eficiente.

As doses crescentes de KCl resultaram em aumento na eficiência de utilização de Ca e Mg, tanto para os tratamentos com adição de biochar, como para os sem a aplicação deste material. Já para o P a eficiência de utilização aumentou com as doses de KCl somente para os tratamentos sem a adição de biochar. O N apresentou maior eficiência de utilização na dose 107,3 mg dm⁻³ de K com e sem a aplicação do biochar.

Em cada dose avaliada, o biochar aumentou a eficiência de utilização de N, Ca e Mg comparativamente à sua não aplicação, enquanto para o K esse comportamento ocorreu somente na dose 53,65 mg dm⁻³ de K e para o P no controle e na dose 53,65 mg dm⁻³ de K.

A aplicação de doses crescentes de KCl aumentou a produção da biomassa da mucuna. Por outro lado, a aplicação do biochar incrementou a produção de biomassa dentro de cada dose de KCl aplicada (Figura 16), justificando a utilização do biochar no cultivo do adubo verde, para incremento da matéria orgânica do solo com alto conteúdo de nutrientes.

A alta produção de biomassa é uma característica importante quando se trata de adubo verde. Além disso, é importante que as plantas consigam acumular alta quantidade de nutrientes na biomassa. Quanto ao conteúdo de K na parte aérea das plantas (Figura 17), a aplicação do biochar proporcionou maior valor mesmo sem a aplicação do KCl no solo (ou seja, na dose zero), indicando que pode substituir a adubação potássica para manter a nutrição da mucuna em relação a esse elemento.

Para os demais nutrientes foi observado efeito positivo na aquisição de N e Mg, principalmente sem a aplicação do KCl (dose zero). Para o Ca e o P, ou não houve efeito da aplicação do biochar ou o efeito foi positivo, não sendo verificado efeito negativo sobre a nutrição da mucuna. Para todos os cátions avaliados (exceto o K), a maior eficiência de utilização foi observada com a aplicação do biochar, independente da dose de KCl, indicando que esse material auxilia na conversão de biomassa, o que é desejável quando se trabalha com adubo verde.

De maneira geral, sem a aplicação do biochar no solo, as doses crescentes de KCl proporcionaram maior conteúdo de K no solo, mas, por outro

lado, aumentaram também proporcionalmente o conteúdo de K na água lixiviada (Figura 17). A aplicação do biochar, além de incrementar os valores de K no solo da superfície e principalmente da subsuperfície comparativamente à sua não aplicação, também não alterou os valores de conteúdo de K na água da primeira e da segunda lixiviação com a aplicação das doses crescentes de KCl, indicando menores perdas do elemento na água de lixiviação apesar do maior conteúdo no solo.

4.4. Análise química do solo após a decomposição do adubo verde e cultivo das plantas de moringa

Após o cultivo da moringa foram observadas interações significativas entre as doses de K aplicadas e a aplicação do biochar e do composto orgânico (CO) para os atributos químicos do solo.

No solo da superfície para a média dos valores com e sem KCl, na ausência do CO, a aplicação do biochar proporcionou incrementos nos teores de P, K, Ca, Mg, valores de pH e CTC efetiva, comparativamente à sua não aplicação, sendo estes, em média, de 117, 195, 34, 90, 9 e 8%, respectivamente (Quadro 4). Já os valores de acidez e CTC potenciais não sofreram influência significativa da aplicação do biochar na ausência do CO. Quando o CO foi adicionado ao solo, o biochar aumentou os teores de P, K, Mg (62, 265 e 31%) e os valores de pH (5%), porém reduziu os teores de Ca, a acidez potencial e as CTCs potencial e efetiva (em 12, 70, 54 e 10% respectivamente), comparado à sua não aplicação.

Ainda para a média dos vasos com e sem KCl, na ausência do biochar a aplicação do CO não influenciou os teores de K do solo da superfície, reduziu a acidez (28%) e a CTC potenciais (18%) em relação à sua não aplicação e aumentou os teores de P, Ca, Mg e os valores de pH e CTC efetiva, em média, em 42, 52, 60, 5 e 23%, respectivamente. Já na presença do biochar, a aplicação do CO não influenciou os teores de Ca, Mg e a CTC efetiva, reduziu a acidez (76%) e a CTC potenciais (61%) comparado à sua não aplicação e aumentou os teores de P, K e os valores de pH, em média, em 6, 18 e 1%, respectivamente.

Quadro 4. Teores de P, K, Ca, Mg, Na, Al, valores de pH em água, acidez potencial (H+Al), CTC potencial e CTC efetiva do solo da superfície dos vasos após o cultivo da moringa em função da aplicação ou não de biochar (B) associada ou não ao composto orgânico (CO) ou ao KCl. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a aplicação ou não do biochar dentro dos tratamentos com e sem composto orgânico. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a adição ou não do composto orgânico dentro dos tratamentos com e sem biochar (média de 3 repetições).

| | SCO | | CCO | | | SKCI | | CKCI | | | SCO | | CCO | |
|-----------|---|----|--------|----|-----------|---|----|--------|----|-------------|---|----|--------|----|
| | P (mg dm⁻³) | | | | | P (mg dm⁻³) | | | | | K (mg dm⁻³) | | | |
| SB | 61 | Bb | 86,61 | Ba | SB | 61,17 | Bb | 86,44 | Ba | SKCI | 19,83 | Ba | 19,33 | Ba |
| CB | 132,57 | Ab | 140,34 | Aa | CB | 127,96 | Ab | 144,95 | Aa | CKCI | 33,50 | Ab | 40,33 | Aa |
| | K (mg dm⁻³) | | | | | K (mg dm⁻³) | | | | | P (mg dm⁻³) | | | |
| SB | 13,5 | Ba | 12,83 | Ba | SB | 6,50 | Bb | 19,83 | Ba | SKCI | 88,70 | Bb | 100,43 | Ba |
| CB | 39,83 | Ab | 46,83 | Aa | CB | 32,67 | Ab | 54,00 | Aa | CKCI | 104,88 | Ab | 126,52 | Aa |
| | Ca (cmol_c dm⁻³) | | | | | pH | | | | | Na (mg dm⁻³) | | | |
| SB | 1,17 | Bb | 1,78 | Aa | SB | 5,40 | Ba | 5,28 | Bb | SKCI | 15,00 | Ba | 16,33 | Aa |
| CB | 1,57 | Aa | 1,57 | Ba | CB | 5,62 | Ab | 5,81 | Aa | CKCI | 17,00 | Aa | 14,50 | Bb |
| | Mg (cmol_c dm⁻³) | | | | | Al (cmol_c dm⁻³) | | | | | pH | | | |
| SB | 0,20 | Bb | 0,32 | Ba | SB | 2,44 | Aa | 1,47 | Ab | SKCI | 5,40 | Bb | 5,49 | Ba |
| CB | 0,38 | Aa | 0,42 | Aa | CB | 1,80 | Ba | 1,32 | Bb | CKCI | 5,62 | Aa | 5,60 | Aa |
| | pH | | | | | CTC efetiva (cmol_c dm⁻³) | | | | | Al (cmol_c dm⁻³) | | | |
| SB | 5,21 | Bb | 5,47 | Ba | SB | 4,34 | Aa | 3,23 | Ab | SKCI | 1,94 | Ab | 2,31 | Aa |
| CB | 5,68 | Ab | 5,75 | Aa | CB | 4,09 | Ba | 3,32 | Ab | CKCI | 1,55 | Ba | 1,23 | Bb |
| | H+Al (cmol_c dm⁻³) | | | | | CTC efetiva (cmol_c dm⁻³) | | | | | CTC efetiva (cmol_c dm⁻³) | | | |
| SB | 9,98 | Aa | 7,23 | Ab | SB | 11,45 | Aa | 9,43 | Ab | SKCI | 3,88 | Ab | 4,55 | Aa |
| CB | 9,05 | Aa | 2,20 | Bb | CB | 11,17 | Aa | 4,37 | Bb | CKCI | 3,19 | Ba | 3,36 | Ba |
| | CTC potencial (cmol_c dm⁻³) | | | | | CTC efetiva (cmol_c dm⁻³) | | | | | | | | |
| SB | 11,45 | Aa | 9,43 | Ab | SB | 3,40 | Bb | 4,17 | Aa | | | | | |
| CB | 11,17 | Aa | 4,37 | Bb | CB | 3,67 | Aa | 3,74 | Ba | | | | | |

Na média dos vasos com e sem composto orgânico, a aplicação do biochar, na ausência do KCl, reduziu os teores de Al e a CTC efetiva do solo da superfície dos vasos, comparado à sua não aplicação, em 26 e 6%, respectivamente, e aumentou os teores de P, K e os valores de pH, em média, em 109, 403 e 4%, respectivamente (Quadro 4). Na presença do KCl a aplicação do biochar não influenciou os valores da CTC efetiva, reduziu os teores de Al em 10% e aumentou os teores de P, K e os valores de pH, em média, em 68, 172 e 10%, respectivamente, comparado à sua não aplicação.

Ainda na média dos vasos com e sem composto orgânico, a aplicação do KCl, na ausência do biochar reduziu os teores de Al, valores de pH e CTC efetiva em 40, 2 e 26%, respectivamente, comparativamente à sua não aplicação, e aumentou os teores de P em 41,31% e de K em 205,08%. Quando o biochar foi adicionado ao solo, a aplicação do KCl reduziu os teores de Al (27%) e a CTC efetiva (19%) comparado à sua não aplicação, e aumentou os teores de P, K e os valores de pH, em média, em 13, 65 e 3%, respectivamente.

Para a média dos vasos com e sem biochar, no solo da superfície, na ausência do CO, a aplicação do KCl reduziu os teores de Al em 20% e a CTC efetiva em 18%, em relação à sua não aplicação, e aumentou os teores de K, P, Na e valores de pH em média em 69, 18, 13 e 4%, respectivamente (Quadro 4). Quando o CO foi adicionado ao solo, a aplicação do biochar reduziu os teores de Na, Al e a CTC efetiva em 11, 47 e 26%, respectivamente, comparado à sua não aplicação, e aumentou os teores de K, P e os valores de pH, em média, em 109, 26 e 2%, respectivamente.

Ainda para a média dos vasos com e sem biochar, a aplicação do CO, na ausência do KCl, não influenciou os teores de K e Na e aumentou os teores de P, Al e os valores de pH e CTC efetiva em relação à sua não aplicação, em média, em 13, 19, 2 e 17%, respectivamente, no solo da superfície. Quando o KCl foi adicionado ao solo, a aplicação do CO não influenciou os valores de pH e a CTC efetiva, reduziu os teores de Na (15%) e Al (21%), comparado à sua não aplicação, e aumentou os teores de K e P, em média, em 20 e 21%, respectivamente.

Considerando a média dos vasos com e sem KCl, no solo da subsuperfície, na ausência do CO, a aplicação do biochar reduziu a acidez e a CTC potenciais em 31 e 25%, respectivamente, e aumentou os teores de P, K, Ca

e Na comparativamente à sua não aplicação, sendo estes, em média, de 76, 133, 8 e 204%, respectivamente (Quadro 5). Quando o CO foi adicionado ao solo, o biochar não influenciou significativamente a acidez e a CTC potenciais e proporcionou incrementos nos teores de P, K, Ca e Na, comparado à sua não aplicação, de aproximadamente 23, 186, 15 e 12%, respectivamente.

Ainda para a média dos vasos com e sem KCl, na ausência do biochar a aplicação do CO não influenciou os teores de K da subsuperfície, reduziu a acidez e a CTC potenciais em 74 e 64%, respectivamente, em relação à sua não aplicação, e aumentou os teores de P, Ca e Na, em média, em 76, 31 e 174%, respectivamente. Já na presença do biochar, a aplicação do CO não influenciou significativamente os teores de Na, reduziu a acidez e a CTC potenciais (59 e 45%, respectivamente), comparado à sua não aplicação e aumentou os teores de P, K e Ca, em média, em 22, 21 e 39%, respectivamente.

Na média dos vasos com e sem composto orgânico, a aplicação do biochar, na ausência do KCl, não influenciou os teores de P da subsuperfície dos vasos, reduziu os teores de Al em 27% e a CTC efetiva em 9%, comparado à sua não aplicação, e aumentou os teores de K e os valores de pH, em média, em 342 e 6%, respectivamente (Quadro 5). Na presença do KCl, a aplicação do biochar reduziu os teores de Al (11%) em relação à sua não aplicação, e aumentou os teores de P, K e os valores de pH e CTC efetiva, em média, em 120, 120, 9 e 9%, respectivamente.

Ainda para a média dos vasos com e sem composto orgânico, a aplicação do KCl, na ausência do biochar, não influenciou significativamente os valores de pH, reduziu os teores de P, Al e a CTC efetiva em 37, 42 e 23% respectivamente, comparado à sua não aplicação, e aumentou os teores de K em 361,2% no solo da subsuperfície. Quando o biochar foi adicionado ao solo, a aplicação do KCl reduziu os teores de Al e a CTC efetiva (29 e 8%, respectivamente) em relação à sua não aplicação, e aumentou os teores de P, K e os valores de pH, em média, em 50, 129 e 3%, respectivamente.

No solo da subsuperfície, para a média dos vasos com e sem biochar, na ausência do CO, a aplicação do KCl não influenciou significativamente os teores de Ca, reduziu os teores de P, Al e a CTC efetiva em 13, 21 e 10%, respectivamente, comparado à sua não aplicação, e aumentou os teores de K e Na, em média, em 171 e 10%, respectivamente (Quadro 5).

Quadro 5. Teores de P, K, Ca, Mg, Na, Al, valores de pH em água, acidez potencial (H+Al), CTC potencial e CTC efetiva do solo da subsuperfície dos vasos após o cultivo da moringa em função da aplicação ou não de biochar (B) associada ou não ao composto orgânico (CO) ou ao KCl. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a aplicação ou não do biochar dentro dos tratamentos com e sem composto orgânico. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a adição ou não do composto orgânico dentro dos tratamentos com e sem biochar (média de 3 repetições).

| | | SCO | | CCO | | | | SKCI | | CKCI | | | | SCO | | CCO | |
|-----------|--|---|----|-------|----|---|--|-------|----|---|----|-------------|--|-------|----|-------|----|
| | | P (mg dm⁻³) | | | | P (mg dm⁻³) | | | | K (mg dm⁻³) | | | | | | | |
| SB | | 19,68 | Bb | 34,59 | Ba | SB | | 33,22 | Aa | 21,05 | Bb | SKCI | | 17,33 | Bb | 19,67 | Ba |
| CB | | 34,64 | Ab | 42,38 | Aa | CB | | 30,79 | Ab | 46,23 | Aa | CKCI | | 47,00 | Ab | 53,67 | Aa |
| | | K (mg dm⁻³) | | | | K (mg dm⁻³) | | | | P (mg dm⁻³) | | | | | | | |
| SB | | 19,33 | Ba | 19,00 | Ba | SB | | 6,83 | Bb | 31,50 | Ba | SKCI | | 29,08 | Ab | 34,93 | Ba |
| CB | | 45,00 | Ab | 54,33 | Aa | CB | | 30,17 | Ab | 69,17 | Aa | CKCI | | 25,24 | Bb | 42,04 | Aa |
| | | Ca (cmol_c dm⁻³) | | | | pH | | | | Ca (cmol_c dm⁻³) | | | | | | | |
| SB | | 1,00 | Bb | 1,31 | Ba | SB | | 5,28 | Ba | 5,30 | Ba | SKCI | | 1,06 | Ab | 1,31 | Ba |
| CB | | 1,08 | Ab | 1,50 | Aa | CB | | 5,62 | Ab | 5,79 | Aa | CKCI | | 1,02 | Ab | 1,50 | Aa |
| | | Mg (cmol_c dm⁻³) | | | | Al (cmol_c dm⁻³) | | | | Na (mg dm⁻³) | | | | | | | |
| SB | | 0,32 | Aa | 0,37 | Aa | SB | | 2,45 | Aa | 1,43 | Ab | SKCI | | 41,33 | Bb | 62,83 | Aa |
| CB | | 0,37 | Aa | 0,37 | Aa | CB | | 1,79 | Ba | 1,27 | Bb | CKCI | | 45,50 | Ab | 65,33 | Aa |
| | | Na (mg dm⁻³) | | | | CTC efetiva (cmol_c dm⁻³) | | | | Al (cmol_c dm⁻³) | | | | | | | |
| SB | | 21,50 | Bb | 59,00 | Ba | SB | | 4,13 | Aa | 3,17 | Bb | SKCI | | 1,94 | Ab | 2,29 | Aa |
| CB | | 65,33 | Aa | 66,17 | Aa | CB | | 3,74 | Ba | 3,45 | Ab | CKCI | | 1,53 | Bb | 1,75 | Ba |
| | | H+Al (cmol_c dm⁻³) | | | | CTC efetiva (cmol_c dm⁻³) | | | | CTC efetiva (cmol_c dm⁻³) | | | | | | | |
| SB | | 13,48 | Aa | 3,47 | Ab | SB | | 3,56 | Ab | 4,32 | Aa | SKCI | | 3,21 | Bb | 3,41 | Ba |
| CB | | 9,30 | Ba | 3,80 | Ab | CB | | 3,21 | Bb | 3,41 | Ba | CKCI | | | | | |
| | | CTC potencial (cmol_c dm⁻³) | | | | | | | | | | | | | | | |
| SB | | 14,93 | Aa | 5,44 | Ab | | | | | | | | | | | | |
| CB | | 11,14 | Ba | 6,08 | Ab | | | | | | | | | | | | |

Quando o CO foi adicionado ao solo da superfície, no solo da subsuperfície, para a média dos vasos com e sem biochar, a aplicação do KCl não influenciou significativamente os teores de Na, reduziu os teores de Al (24%) e a CTC efetiva (21%) comparativamente à sua não aplicação, e aumentou os teores de K, P e Ca, em média, em 173, 20 e 15%, respectivamente.

Ainda para a média dos vasos com e sem biochar, a aplicação do CO aumentou os teores de K, P, Ca, Na, Al e a CTC efetiva, comparativamente à sua não aplicação, tanto na presença (em média 14, 67, 47, 44, 14 e 6%, respectivamente), quanto na ausência do KCl (em média 14, 20, 24, 52, 18 e 21%, respectivamente). Os teores de Mg não foram influenciados significativamente por nenhum dos tratamentos aplicados ao solo (biochar, KCl e CO).

No solo da superfície a aplicação do biochar proporcionou um efeito aditivo à aplicação do CO (B+CO) para os teores de P, K e para o pH, melhorando consideravelmente esses atributos do solo, assim como a aplicação conjunta do biochar e do KCl. Já a aplicação do CO associada ao KCl proporcionou incrementos somente nos teores de K e P e reduziu o Al no solo, assim como a adição do biochar associado ao KCl. Para os atributos CTC potencial e CTC efetiva os menores valores foram verificados com a aplicação do biochar associada ao CO, isso porque tal combinação resultou em decréscimo na acidez potencial (H+Al) e não proporcionou aumento significativo nos teores de Ca e Mg, que são utilizados no cálculo da CTC efetiva e potencial.

No solo da subsuperfície a aplicação do biochar proporcionou um efeito aditivo à aplicação do CO para os teores de P, K e Ca e reduziu a CTC potencial em consequência na redução da acidez potencial (H+Al). O efeito da aplicação conjunta do biochar e do KCl foi importante para os teores de P, K, valores de pH e para reduzir o Al no solo. A aplicação juntamente do CO com o KCl proporcionou incrementos nos teores de K, P e Ca no solo.

Para os teores de K a aplicação do CO individualmente não proporcionou incremento em seus valores no solo, tanto na superfície, quanto na subsuperfície, indicando que para elevar os teores desse elemento no solo, são necessários outros manejos adicionais à aplicação do CO. Por outro lado, a aplicação do biochar proporcionou incremento de cerca de 402% no teor de K no solo, enquanto a aplicação do KCl aumentou em cerca de 205% o teor de K no solo

(Quadro 4). No solo da subsuperfície a aplicação do KCl em superfície proporcionou aumento no teor de K de 361%, enquanto para a aplicação do biochar o aumento foi de 342%, ou seja, tanto faz realizar a adubação potássica ou aplicar o biochar na proporção de 1% v/v no solo.

4.5. Crescimento e nutrição mineral das plantas de moringa

Na parte aérea das plantas de moringa, considerando as médias das parcelas com e sem KCl, na ausência do CO (SCO), a aplicação do biochar proporcionou maior acúmulo de MSPA, maior diâmetro do coleto, número de folhas e maior conteúdo de N, K, Ca e Mg, comparado à não aplicação do biochar, sendo estes incrementos em média de, 140% para a MSPA, 76% para DC, 81% para NF e de 145, 214, 200 e 219% para o conteúdo de N, K, Ca e Mg, respectivamente (Quadro 6). Na presença do CO, o biochar não alterou o DC e o conteúdo de Ca e ainda reduziu o conteúdo de Mg, porém a MSPA, NF e também o conteúdo de N e K aumentaram aproximadamente 19, 31, 37, 21 e 86%, respectivamente, comparativamente à não aplicação do biochar.

Ainda considerando a média das parcelas com e sem KCl, na ausência do biochar, a aplicação do CO proporcionou incrementos na MSPA, DC, NF e no conteúdo de N, K, Ca e Mg, sendo estes incrementos, em média, de 132, 73, 34, 148, 106, 409 e 342%, respectivamente. Na presença do biochar, a aplicação do CO não proporcionou influência significativa sobre o DC, NF e o conteúdo de Mg, aumentou a MSPA em 132,19%, o conteúdo de N em 22,99%, o conteúdo de K em 21,66% e o conteúdo de Ca em 55,55%.

Considerando a média das parcelas com e sem composto orgânico, a aplicação do biochar aumentou a altura das plantas de moringa e o conteúdo de N e P em relação à sua não aplicação, tanto na presença (65, 74 e 88%, respectivamente), quanto na ausência do KCl (34, 41 e 150%, respectivamente) (Quadro 6). O conteúdo de Ca não foi influenciado pela aplicação do biochar na presença do KCl e aumentou 39,71% com a aplicação do biochar, na ausência do KCl, comparado à sua não aplicação.

Quadro 6. Matéria seca da parte aérea (MSPA), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF) e conteúdo de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea da moringa após 70 dias de cultivo em função da aplicação ou não de biochar (B) associada ou não ao composto orgânico (CO) ou ao KCl. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a aplicação ou não do biochar dentro dos tratamentos com e sem composto orgânico. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a adição ou não do composto orgânico dentro dos tratamentos com e sem biochar (média de 3 repetições).

| | | SCO | | CCO | | | | SKCI | | CKCI | | | | SCO | | CCO | |
|-----------|--|-----------------------------------|----|--------|----|-----------------|--|--------|----|-----------------------------------|----|-------------|--|--------|----|--------|----|
| | | MSPA (g vaso⁻¹) | | | | HPA (cm) | | | | MSPA (g vaso⁻¹) | | | | | | | |
| SB | | 2,33 | Bb | 5,41 | Ba | SB | | 33,35 | Bb | 40,38 | Ba | SKCI | | 3,04 | Bb | 5,90 | Aa |
| CB | | 5,60 | Ab | 6,43 | Aa | CB | | 55,02 | Aa | 54,07 | Aa | CKCI | | 4,89 | Ab | 5,95 | Aa |
| | | DC (mm) | | | | N (g) | | | | DC (mm) | | | | | | | |
| SB | | 5,55 | Bb | 9,62 | Aa | SB | | 110,98 | Ba | 121,17 | Ba | SKCI | | 6,18 | Bb | 9,27 | Ba |
| CB | | 9,78 | Aa | 9,94 | Aa | CB | | 193,04 | Aa | 170,57 | Ab | CKCI | | 9,15 | Ab | 10,30 | Aa |
| | | NF | | | | P (g) | | | | NF | | | | | | | |
| SB | | 10,67 | Bb | 14,33 | Ba | SB | | 14,51 | Ba | 13,48 | Ba | SKCI | | 12,83 | Bb | 16,50 | Aa |
| CB | | 19,33 | Aa | 19,67 | Aa | CB | | 27,21 | Ab | 33,73 | Aa | CKCI | | 17,17 | Aa | 17,50 | Aa |
| | | N (g) | | | | Ca (g) | | | | N (g) | | | | | | | |
| SB | | 66,67 | Bb | 165,48 | Ba | SB | | 86,27 | Ba | 91,02 | Aa | SKCI | | 95,63 | Bb | 208,4 | Aa |
| CB | | 163,06 | Ab | 200,55 | Aa | CB | | 120,53 | Aa | 102,74 | Ab | CKCI | | 134,10 | Ab | 157,63 | Ba |
| | | K (g) | | | | K (g) | | | | K (g) | | | | | | | |
| SB | | 107,51 | Bb | 221,01 | Ba | SKCI | | 146,72 | Bb | 264,87 | Ba | SKCI | | 146,72 | Bb | 264,87 | Ba |
| CB | | 337,61 | Ab | 410,72 | Aa | CKCI | | 338,40 | Ab | 366,87 | Aa | CKCI | | 338,40 | Ab | 366,87 | Aa |
| | | Ca (g) | | | | Ca (g) | | | | Ca (g) | | | | | | | |
| SB | | 29,10 | Bb | 148,19 | Aa | SKCI | | 46,14 | Bb | 160,65 | Aa | SKCI | | 46,14 | Bb | 160,65 | Aa |
| CB | | 87,37 | Ab | 135,90 | Aa | CKCI | | 70,32 | Ab | 123,44 | Ba | CKCI | | 70,32 | Ab | 123,44 | Ba |
| | | Mg (g) | | | | Mg (g) | | | | Mg (g) | | | | | | | |
| SB | | 12,29 | Bb | 54,32 | Aa | SKCI | | 20,87 | Bb | 58,23 | Aa | SKCI | | 20,87 | Bb | 58,23 | Aa |
| CB | | 39,19 | Aa | 42,77 | Ba | CKCI | | 30,61 | Ab | 38,87 | Ba | CKCI | | 30,61 | Ab | 38,87 | Ba |

Ainda considerando a média das parcelas com e sem composto orgânico, na ausência do biochar, a aplicação do KCl não influenciou significativamente o conteúdo de P e Ca e aumentou a altura da parte aérea da moringa e o conteúdo de N, comparativamente à sua não aplicação, em média, em 21 e 9%, respectivamente. Quando houve a adição do biochar, a aplicação do KCl não influenciou significativamente a altura da parte aérea, reduziu o conteúdo de N e Ca em 12 e 15%, respectivamente, e aumentou o conteúdo de P, em média, em 24%, comparado à sua não aplicação.

Para a média das parcelas com e sem biochar, na ausência do CO, a aplicação do KCl aumentou a MSPA da moringa, o DC, o NF e o conteúdo de N, K, Ca e Mg, em média, em 61, 48, 34, 40, 131, 52 e 47%, respectivamente (Quadro 6). Já na presença do CO, a aplicação do KCl não influenciou significativamente a MSPA, e o NF, reduziu o conteúdo de N, Ca e Mg em 24, 23 e 33%, respectivamente, e aumentou o DC em 11,11% e o conteúdo de K em 38,51%, comparado à sua não aplicação.

Ainda para a média das parcelas com e sem biochar, a aplicação do CO proporcionou incrementos na MSPA, no DC, no conteúdo de N, K, Ca e Mg, comparativamente à sua não aplicação, tanto na presença (em média 22, 13, 18, 8, 76 e 27%, respectivamente), quanto na presença do KCl (em média 94, 50, 118, 81, 248 e 179%, respectivamente). Para o número de folhas a aplicação do CO não influenciou significativamente seus valores na presença do KCl, já na sua ausência, a aplicação do CO aumentou o número de folhas em 28,60%.

Avaliando o Quadro 6, verifica-se que sem a aplicação do CO, tanto a aplicação do biochar, quanto a do KCl, individualmente, são importantes, demonstrados através dos incrementos proporcionados nos valores de MSPA, DC e NF, sendo importantes para o crescimento das plantas de moringa, fato que também pode ser observado na figura 18 e para a nutrição (demonstrados através dos incrementos proporcionados no conteúdo de N, K, Ca e Mg).



Figura 18. Imagem da parte aérea da moringa ao final do experimento, após 70 dias de cultivo para cada um dos tratamentos: controle (CONT), com aplicação do biochar (B), com composto orgânico (CO), biochar + composto orgânico (B + CO), adição do KCl, biochar + KCl (B + KCl), composto orgânico + KCl (CO + KCl) e biochar + composto orgânico + KCl (B + CO + KCl).

A melhoria ocasionada pela aplicação do biochar ao solo na nutrição das plantas da moringa deve-se às características químicas do biochar, que apresentam em sua composição teores elevados de nutrientes, principalmente o K. A presença de cargas negativas na superfície do biochar aumenta a CTC do solo e, conseqüentemente, a retenção de nutrientes (Gao et al., 2016) e a disponibilidade desses elementos na solução do solo para as plantas.

Para a MSPA, e o conteúdo de N e K a aplicação conjunta do biochar e do composto orgânico (B + CO) proporcionou um efeito aditivo à aplicação somente do biochar ou do CO. Para o Mg, por outro lado, a aplicação conjunta do biochar e do CO proporcionou um resultado inferior ao observado para a aplicação somente do CO.

A aplicação conjunta do CO + KCl proporcionou efeito aditivo somente para o DC e o conteúdo de K e efeito negativo no conteúdo de N, Ca e Mg, comparado à aplicação somente do CO.

Ernani et al. (2007) relataram que o K compete com vários cátions pelos sítios de absorção na membrana plasmática, principalmente com NH_4^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . A soma total dos cátions absorvidos por determinada espécie vegetal normalmente permanece relativamente pouco afetada pela variação na

composição do meio na qual ela se desenvolve (Mengel e Kirkby, 1987, apud Ernani et al., 2007). Sendo assim, o aumento na disponibilidade de determinado cátion resulta na diminuição da absorção dos demais.

O aumento no teor de K na solução do solo causa diminuição dos teores de Ca e Mg nas plantas. A absorção preferencial do íon K^+ ocorre por este ser monovalente e de menor grau de hidratação que os divalentes como o Mg^{2+} (Prado, 2008) e o Ca^{2+} . Uma planta bem nutrida em K cresce mais, e, mesmo com a diminuição dos teores de Ca e Mg na planta, pode não haver prejuízos no crescimento ou na produção.

Para a média das parcelas com e sem KCl, nas raízes da moringa, na ausência do CO, a aplicação do biochar proporcionou incrementos na MSR e no conteúdo de P, K, Ca e Mg comparado à sua não aplicação, sendo estes, em média, de 260, 224, 653, 106 e 265%, respectivamente (Quadro 7). Já na presença do CO, o biochar aumentou somente o conteúdo de P em 21,45% comparado à sua não aplicação. Na presença do CO, o conteúdo de Mg não foi influenciado significativamente pela aplicação de biochar e o conteúdo de K e Ca e a MSR diminuíram comparativamente à sua não aplicação.

Ainda para a média das parcelas com e sem KCl, na ausência do biochar, a aplicação do CO proporcionou incrementos na MSR e no conteúdo de P, K, Ca e Mg em relação à sua não aplicação, sendo estes, em média, de 304, 254, 219, 220 e 230%, respectivamente. Já na presença do biochar, a aplicação do CO não teve influência significativa sobre a MSR e o conteúdo de Mg, porém reduziu o conteúdo de K em 64% e aumentou o conteúdo de P em 38,92% e o conteúdo de Ca em 18,07%, comparativamente à sua não aplicação.

Para a média das parcelas com e sem composto orgânico, a aplicação do biochar aumentou a MSR, o conteúdo de P, K, Ca e Mg comparado à sua não aplicação, na ausência do KCl, em média, em 238, 294, 324, 259 e 263%, respectivamente (Quadro 7). Quando o KCl foi aplicado ao solo, a adição do biochar não influenciou significativamente o conteúdo de P e Mg e reduziu o conteúdo de Ca em 25% e a MSR em 7%, porém aumentou o conteúdo de K em 91,10%, comparativamente à sua não aplicação.

Quadro 7. Matéria seca das raízes (MSR) e conteúdo de P, K, Ca e Mg nas raízes da moringa após 70 dias de cultivo em função da aplicação ou não de biochar (B) associada ou não ao composto orgânico (CO) ou ao KCl. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey em 5% entre a aplicação ou não do biochar dentro dos tratamentos com e sem composto orgânico. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre a adição ou não do composto orgânico dentro dos tratamentos com e sem biochar (média de 3 repetições).

| | SCO | | CCO | | | SKCI | | CKCI | | | SCO | | CCO | |
|-----------|----------------------------------|----|--------|----|-----------|----------------------------------|----|--------|----|-------------|----------------------------------|----|--------|----|
| | MSR (g vaso⁻¹) | | | | | MSR (g vaso⁻¹) | | | | | MSR (g vaso⁻¹) | | | |
| SB | 2,74 | Bb | 11,06 | Aa | SB | 2,77 | Bb | 11,02 | Aa | SKCI | 4,78 | Bb | 7,35 | Ba |
| CB | 9,86 | Aa | 9,74 | Ba | CB | 9,36 | Ab | 10,25 | Ba | CKCI | 7,82 | Ab | 13,45 | Aa |
| | P (g) | | | | | P (g) | | | | | P (g) | | | |
| SB | 24,31 | Bb | 85,96 | Ba | SB | 24,48 | Bb | 85,79 | Aa | SKCI | 40,31 | Bb | 80,7 | Ba |
| CB | 78,78 | Ab | 109,44 | Aa | CB | 96,53 | Aa | 91,69 | Aa | CKCI | 62,78 | Ab | 114,7 | Aa |
| | K (g) | | | | | K (g) | | | | | K (g) | | | |
| SB | 87,05 | Bb | 277,25 | Aa | SB | 82,57 | Bb | 281,73 | Ba | SKCI | 265,42 | Ba | 166,94 | Bb |
| CB | 655,26 | Aa | 232,91 | Bb | CB | 349,79 | Ab | 538,38 | Aa | CKCI | 476,89 | Aa | 343,22 | Ab |
| | Ca (g) | | | | | Ca (g) | | | | | Ca (g) | | | |
| SB | 23,78 | Bb | 76,08 | Aa | SB | 11,25 | Bb | 88,62 | Aa | SKCI | 17,17 | Bb | 34,50 | Ba |
| CB | 49,09 | Ab | 57,96 | Ba | CB | 40,42 | Ab | 66,63 | Ba | CKCI | 55,70 | Ab | 99,55 | Aa |
| | Mg (g) | | | | | Mg (g) | | | | | Mg (g) | | | |
| SB | 12,43 | Bb | 41,02 | Aa | SB | 11,23 | Bb | 42,22 | Aa | | | | | |
| CB | 45,32 | Aa | 39,92 | Aa | CB | 40,79 | Aa | 44,45 | Aa | | | | | |

Ainda para a média das parcelas com e sem composto orgânico, a aplicação do KCl proporcionou incrementos na MSR, no conteúdo de P, K, Ca e Mg comparativamente à sua não aplicação, na ausência do biochar, sendo estas, em média, de 298, 250, 241, 688 e 276%, respectivamente. Quando o biochar foi adicionado ao solo, a aplicação do KCl não influenciou significativamente o conteúdo de P e Mg nas raízes da moringa e aumentou a MSR e o conteúdo de K e Ca, em média, em 10, 54 e 65%, respectivamente, relacionado à sua não aplicação.

Para a média das parcelas que receberam ou não biochar, nas raízes da moringa a aplicação do KCl aumentou a MSR e o conteúdo de P, K e Ca, tanto na ausência do CO (em média 64, 56, 80 e 224%, respectivamente), quanto na presença do CO (em média 83, 42, 106 e 189%, respectivamente), comparado à sua não aplicação (Quadro 7). A aplicação do CO proporcionou incrementos na MSR e no conteúdo de P e Ca relacionado à sua não aplicação, independente da aplicação (72, 83, 89%, respectivamente) ou não do KCl (54, 100 e 101%, respectivamente). Já o conteúdo de K apresentou comportamento inverso com a aplicação do CO, reduzindo os seus valores tanto na presença (37%), quanto na ausência do KCl (28%).

Avaliando o quadro 7, é possível observar que, sem a aplicação do CO ou do KCl, o biochar apresenta incrementos no conteúdo de nutrientes (P, K, Ca e Mg) e na produção de matéria seca das raízes. Mas, com a presença de um desses componentes a resposta não é positiva para todas as características avaliadas. Na presença do CO a aplicação do biochar reduziu a MSR e o conteúdo de Ca e Mg e na presença do KCl reduziu a MSR e o conteúdo de Ca.

A aplicação do biochar proporcionou um efeito aditivo à adição do CO somente para o conteúdo de P, enquanto para a MSR e os conteúdos de K, Ca e Mg, a aplicação do Biochar reduziu os efeitos positivos do CO. Os resultados indicam que a aplicação somente do CO foi mais eficiente que a aplicação conjunta deste material com o biochar. Por outro lado, sem a presença do CO, a aplicação do biochar é importante no crescimento e na nutrição das raízes da moringa.

A aplicação conjunta do biochar com o KCl somente apresenta um efeito aditivo para o conteúdo de K nas raízes da moringa, porém o efeito da aplicação

destes dois materiais foi negativo (comparado à aplicação somente do KCl) para a MSR e conteúdo de Ca.

A aplicação conjunta do CO com KCl apresentou efeito aditivo para a MSR e os conteúdos de P e Ca, indicando que essa é uma forma de manejo importante para a moringa.

A MSR das plantas de moringa, assim como os conteúdos dos nutrientes radiculares, avaliados nesse experimento advêm principalmente das raízes tuberosas e pouco das raízes de absorção, presentes em menor proporção, (Figura 19). A raiz pivotante da moringa é comparada, tanto pela aparência, quanto pelo sabor, à do rabanete (Jesus et al., 2013).



Figura 19. Imagem das raízes da moringa coletadas ao final do experimento, após 70 dias de cultivo para cada um dos tratamentos: controle, com aplicação do

biochar (B), com composto orgânico (CO), biochar + composto orgânico (B + CO), adição do KCl, biochar + KCl (B + KCl), composto orgânico + KCl (CO + KCl) e biochar + composto orgânico + KCl (B + CO + KCl).

A função das raízes tuberosas é armazenar grande quantidade de reservas nutritivas, principalmente na forma de grãos de amido. Podem apresentar maior diâmetro, de acordo com a quantidade de reservas acumuladas. São exemplos de raízes tuberosas a mandioca, a cenoura, o nabo, o rabanete e a beterraba (Martho e Amabis, 2009).

Assim, elementos que se encontram em maior quantidade nessas raízes tuberosas podem dotar a planta de maior possibilidade de sobrevivência quando em situação de estresse nutricional e hídrico no campo. Isso é importante para todos os nutrientes, mas particularmente para elementos com baixa remobilização interna na planta, como o Ca, de modo que tratamentos que beneficiam o seu acúmulo devem ser priorizados, sendo nesse caso importante a aplicação do CO puro ou associado ao biochar ou ao KCl.

O P é um elemento requerido em grande quantidade pelas plantas nos primeiros meses. Por isso, as recomendações de adubação priorizam esse elemento na fase de plantio de espécies florestais. Tratamentos que aumentam o acúmulo deste elemento nas raízes tuberosas são importantes, pois em situação de deficiência hídrica o transporte deste nutriente no solo é drasticamente afetado. O P é transportado no solo pelo mecanismo de difusão, onde a água é o veículo e o conteúdo de água é importante (Ernani et al., 2007).

O K é um elemento muito móvel na planta, translocando-se dos tecidos mais velhos para os mais novos. Ele participa ou ativa processos em diversos compartimentos da planta, estando preferencialmente presente nas folhas novas, tecidos meristemáticos e frutos frescos, ou seja, estes órgãos apresentam alta concentração de K (Meurer, 2006). No presente experimento o acúmulo de K ocorreu tanto nas áreas de crescimento vegetativo (parte aérea), quanto nas raízes, sendo importante em situação de estresse e na adaptação ao local definitivo de plantio.

O acúmulo de K nas raízes foi maior principalmente quando se associou a aplicação do KCl e do biochar (KCl + B). Já a aplicação conjunta de CO e biochar

e de CO e KCl o acúmulo não foi satisfatório. No primeiro caso, a aplicação somente do CO foi mais eficiente do que quando o CO foi associado ao biochar, e no segundo caso, a aplicação do KCl foi mais eficaz que a aplicação conjunta deste material com o CO.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A aplicação de biochar tem grande potencial para promover alterações químicas no solo que podem incrementar o aproveitamento de nutrientes, pelas plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do biochar associado ao composto orgânico e ao KCl sobre as características químicas do solo, sobre a lixiviação de nutrientes e sobre o crescimento e a nutrição da mucuna preta e posteriormente da *Moringa oleifera*. Inicialmente foi conduzido um experimento em casa de vegetação, em blocos casualizados, em um fatorial 2 x 2 x 3: com e sem biochar (1% v/v) x com e sem composto orgânico (10 % v/v) x três doses de potássio: 0; 53,65 e 107,30 mg dm⁻³ (na forma de KCl), com 3 repetições. Amostras de solo (Espodossolo) receberam os tratamentos e foram incubadas por 20 dias em sacos plásticos em casa de vegetação sendo, em seguida coletadas amostras para análise química. Os vasos foram confeccionados com dois anéis de PVC sobrepostos, tendo instalada na base inferior, uma mangueira para coleta da água de lixiviação. Na subsuperfície foi acondicionado o solo sem tratamento e na superfície o solo recém-incubado. Os vasos receberam água até atingir a saturação e mais 50% do volume total de poros. A drenagem foi mantida por 24 horas e foram coletadas amostras de água para análise. Nestes vasos, plantas de mucuna foram cultivadas por 40 dias e então cortadas, sendo determinada a matéria seca da parte aérea (MSPA) e também os teores K, Ca, Mg, P e N. Após o corte da mucuna os vasos foram novamente submetidos à lixiviação e coleta da água percolada onde foram determinados os teores de Ca, Mg, K, pH e

condutividade elétrica. Foram também coletadas amostras de solo da superfície e da subsuperfície dos vasos para caracterização química. Após o corte da mucuna e realização da segunda lixiviação, metade da biomassa fresca da mucuna foi depositada sobre os vasos e após 4 meses de decomposição deste material foram plantados nesses vasos plântulas de moringa. Nessa fase do experimento foi retirada a dose intermediária de K mantendo-se o esquema fatorial 2 x 2 x 2: com e sem a aplicação de biochar x com e sem aplicação de composto orgânico x sem adubação potássica (dose zero) e 100 % da recomendação. Foi realizada a reaplicação do biochar (1% v/v) e a aplicação do K pela incorporação superficial destes materiais ao solo da superfície dos vasos. Em cada vaso foi realizado o plantio de uma muda de moringa, sendo estas monitoradas e irrigadas por 4 meses, quando foi realizada a coleta das plantas para quantificação da biomassa e teores de nutrientes na parte aérea e nas raízes. Foram coletadas amostras de solo para caracterização química no solo da superfície e da subsuperfície dos vasos. Os dados tanto do primeiro, quanto do segundo experimento foram submetidos à análise de variância e ao teste de médias. Na mucuna, o biochar proporcionou maior acúmulo de MSPA das plantas comparativamente à sua não aplicação. A maior retenção de K no solo foi verificada com a adição do biochar, enquanto sua não aplicação proporcionou maiores perdas desse elemento principalmente na água da primeira lixiviação. O biochar aumentou os teores de K comparativamente à sua não aplicação, independente da adição do KCl, no solo e na água de lixiviação. O biochar foi capaz de aumentar os teores de bases e de P no solo e reduzir a presença destes elementos na água de lixiviação. As doses crescentes de KCl alteram a dinâmica das bases no solo. O biochar foi capaz de nutrir tanto as plantas de mucuna, quanto as de moringa adequadamente e aumentou a eficiência de utilização de nutrientes na parte aérea sem a aplicação do KCl e também em todas as doses de KCl aplicadas na mucuna e a moringa. O efeito positivo do composto orgânico somente foi verificado após o cultivo da moringa aumentando o crescimento e a nutrição dessas plantas, bem como os teores dos nutrientes no solo. Tanto a aplicação conjunta do biochar e do composto orgânico, quanto a aplicação do biochar com o KCl proporcionaram efeitos positivos nos teores de nutrientes no solo e no crescimento e nutrição das plantas de moringa.

- O biochar aumentou o crescimento das plantas de mucuna preta e Moringa oleífera, melhorando as características químicas do solo e reduzindo a lixiviação de nutrientes no solo estudo;
- As doses crescentes de KCl influenciaram positivamente principalmente os teores de K no solo e a absorção deste elemento pelas plantas;
- Sobre o crescimento e a aquisição de nutrientes pelas plantas o biochar apresentou efeito aditivo quando associado ao composto orgânico, somente na moringa;
- O biochar influencia a nutrição da mucuna preta e também a recuperação de nutrientes pela cultura subsequente (Moringa oleífera);
- O adubo verde (mucuna preta) foi capaz de absorver nutrientes e liberá-los novamente na solução do solo em decorrência da decomposição do material vegetal para o aproveitamento da cultura subsequente (moringa);
- O composto orgânico aumentou a nutrição apenas da moringa;
- O biochar quando associado ao composto orgânico possui efeito aditivo sobre as características do solo somente após a decomposição dos resíduos do adubo verde (mucuna preta) e cultivo da moringa.

6. Anexos

Anexo 1. Quadro da análise de variância para os dados do solo recém-incubado, da primeira lixiviação, do solo da superfície, da subsuperfície dos vasos e da água da segunda lixiviação realizada após o cultivo da mucuna e também nutrição e eficiência de utilização de nutrientes na parte aérea da mucuna após 40 dias de cultivo. Com o fatorial triplo: 2 x 2 x 3: com e sem a adição do biochar, com e sem a aplicação do composto orgânico e três doses de KCl (3 repetições), demonstrando que a aplicação do composto orgânico não promoveu diferença significativa sobre os atributos avaliados.

*B = biochar, CO = composto orgânico, DK = doses de potássio, C.V. = coeficiente de variação e MS = matéria seca.

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Incubação | | Superfície | | Subsuperfície | | Primeira Lixiviação | | Segunda Lixiviação | | Parte aérea | | Eficiência Utilização | |
|----------------------|-------------------|-----------|----|------------|----|---------------|----|---------------------|---|--------------------|---|-------------|----|-----------------------|----|
| N | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 979,42 | ** | 15840,02 | ** |
| Composto Org. | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,00 | ns | 2,16 | ns |
| Dose K | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 32210,75 | ** | 25343,84 | ** |
| Bloco | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,64 | ns | 0,86 | ns |
| B x CO | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,85 | ns | 7,77 | ns |
| B x DK | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 18907,44 | ** | 5912,75 | ** |
| CO x DK | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,46 | ns | 12,30 | ns |
| B x CO x DK | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,25 | ns | 2,08 | ns |
| Resíduo | 22 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,37 | - | 7,09 | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,38 | - | 0,62 | - |
| P | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 1 | 77562,25 | ** | 4830,48 | ** | 7802,78 | ** | - | - | - | - | 19,64 | ** | 64629313,80 | ** |
| Composto Org. | 1 | 4,69 | ns | 5,78 | ns | 36,00 | ns | - | - | - | - | 0,02 | ns | 1987005,62 | ns |
| Dose K | 2 | 1272,58 | ** | 393,31 | ** | 278,53 | ** | - | - | - | - | 13,57 | ** | 112770295,68 | ** |
| Bloco | 2 | 8,58 | ns | 0,02 | ns | 6,78 | ns | - | - | - | - | 0,07 | ns | 2055273,69 | ns |
| B x CO | 1 | 2,25 | ns | 1,64 | ns | 11,11 | ns | - | - | - | - | 0,08 | ns | 1206982,82 | ns |
| B x DK | 2 | 412,58 | ** | 358,52 | ** | 490,53 | ** | - | - | - | - | 19,10 | ** | 534869546,25 | ** |
| CO x DK | 2 | 23,69 | ns | 0,57 | ns | 83,08 | ns | - | - | - | - | 0,02 | ns | 758002,66 | ns |
| B x CO x DK | 2 | 2,58 | ns | 1,76 | ns | 70,19 | ns | - | - | - | - | 0,14 | ns | 4781575,45 | ns |
| Resíduo | 22 | 8,52 | - | 2,25 | - | 27,20 | - | - | - | - | - | 0,10 | - | 2720203,40 | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 1,50 | - | 2,65 | - | 13,59 | - | - | - | - | - | 5,05 | - | 5,71 | - |

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Incubação | | Superfície | | Subsuperfície | | Primeira Lixiviação | | Segunda Lixiviação | | Parte aérea | | Eficiência Utilização | |
|----------------------|-------------------|-----------|----|------------|----|---------------|----|---------------------|----|--------------------|----|-------------|----|-----------------------|----|
| pH | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 1 | 1,34 | ns | 0,75 | ** | 0,65 | ** | 0,13 | ns | 1,43 | ** | - | - | - | - |
| Composto Org. | 1 | 0,63 | ns | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,05 | ns | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| Dose K | 2 | 0,89 | ns | 0,07 | ** | 0,40 | ** | 0,08 | ns | 0,04 | ** | - | - | - | - |
| Bloco | 2 | 0,65 | ns | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,03 | ns | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| B x CO | 1 | 0,69 | ns | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,03 | ns | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| B x DK | 2 | 0,55 | ns | 0,03 | ** | 0,19 | ** | 0,09 | ns | 0,03 | ** | - | - | - | - |
| CO x DK | 2 | 0,68 | ns | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,03 | ns | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| B x CO x DK | 2 | 0,74 | ns | 0,00 | * | 0,00 | ns | 0,03 | ns | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| Resíduo | 22 | 0,70 | - | 0,00 | - | 0,01 | - | 0,03 | - | 0,00 | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 15,21 | - | 0,50 | - | 0,60 | - | 3,95 | - | 1,00 | - | - | - | - | - |
| K | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 1 | 233772,25 | ** | 14121,36 | ** | 42333,06 | ** | 11990,25 | ** | 272,25 | ** | 2889,28 | ** | 23067,01 | ** |
| Composto Org. | 1 | 2,25 | ns | 1,36 | ns | 5,84 | ns | 3,36 | ns | 12,25 | ns | 1,52 | ns | 77,81 | ns |
| Dose K | 2 | 148181,58 | ** | 7401,33 | ** | 2979,81 | ** | 4543,86 | ** | 1018,86 | ** | 2918,22 | ** | 118544,28 | ** |
| Bloco | 2 | 0,25 | ns | 4,75 | ns | 4,08 | ns | 2,53 | ns | 0,09 | ns | 3,74 | ns | 525,89 | ns |
| B x CO | 1 | 30,25 | ns | 132,24 | ns | 29,34 | ns | 4,69 | ns | 6,25 | ns | 2,63 | ns | 520,60 | ns |
| B x DK | 2 | 18646,08 | ** | 436,11 | ** | 1432,65 | ** | 1604,08 | ** | 64,58 | ** | 720,05 | ** | 89390,66 | ** |
| CO x DK | 2 | 3,08 | ns | 1,44 | ns | 5,34 | ns | 3,86 | ns | 22,75 | ns | 2,95 | ns | 323,66 | ns |
| B x CO x DK | 2 | 20,58 | ns | 2,33 | ns | 2,51 | ns | 31,86 | ** | 1,58 | ns | 2,64 | ns | 400,54 | ns |
| Resíduo | 22 | 4,04 | - | 2,81 | - | 6,69 | - | 4,49 | - | 4,71 | - | 1,27 | - | 301,42 | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 0,77 | - | 3,23 | - | 3,80 | - | 1,93 | - | 5,82 | - | 0,99 | - | 1,14 | - |

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Incubação | | Superfície | | Subsuperfície | | Primeira Lixiviação | | Segunda Lixiviação | | Parte aérea | | Eficiência Utilização | |
|----------------------|-------------------|-----------|----|------------|----|---------------|----|---------------------|----|--------------------|----|-------------|----|-----------------------|----|
| Na | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 1 | 625,00 | ** | 124,69 | ** | 230,03 | ** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Composto Org. | 1 | 11,11 | ns | 4,69 | ns | 20,25 | ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Dose K | 2 | 2096,08 | ** | 75,36 | ** | 20,19 | ** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Bloco | 2 | 9,00 | ns | 1,69 | ns | 2,11 | ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B x CO | 1 | 49,00 | * | 0,03 | ns | 4,69 | ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B x DK | 2 | 95,25 | ** | 2,86 | ns | 44,53 | ** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| CO x DK | 2 | 1,69 | ns | 0,86 | ns | 1,08 | ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B x CO x DK | 2 | 1,08 | ns | 6,36 | ns | 5,86 | ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Resíduo | 22 | 11,03 | - | 1,39 | - | 2,96 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 4,53 | - | 8,21 | - | 7,89 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ca | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 1 | 0,10 | ** | 2,82 | ** | 0,01 | ns | 119,72 | ** | 55,54 | ** | 9,14 | ns | 76793,66 | ** |
| Composto Org. | 1 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,02 | ns | 8,08 | ns | 2,91 | ns | 0,16 | ns | 1,16 | ns |
| Dose K | 2 | 0,13 | ** | 0,28 | ** | 0,27 | * | 113,78 | ** | 20,04 | ** | 1524,07 | ** | 171598,63 | ** |
| Bloco | 2 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,80 | ns | 0,03 | ns | 1,91 | ns | 23,00 | ns |
| B x CO | 1 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 31,87 | ns | 1,31 | ** | 3,06 | ns | 9,70 | ns |
| B x DK | 2 | 0,00 | ** | 0,39 | ** | 0,69 | ** | 71,73 | ** | 19,76 | ** | 1,04 | ns | 20351,25 | ** |
| CO x DK | 2 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 16,38 | ns | 2,48 | ** | 2,94 | ns | 115,67 | ns |
| B x CO x DK | 2 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,01 | ns | 6,53 | ns | 1,99 | ** | 0,33 | ns | 13,88 | ns |
| Resíduo | 22 | 0,00 | - | 0,00 | - | 0,02 | - | 3,62 | - | 0,10 | - | 3,19 | - | 69,74 | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 0,60 | - | 2,19 | - | 6,52 | - | 4,33 | - | 3,74 | - | 0,83 | - | 1,04 | - |

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Incubação | | Superfície | | Subsuperfície | | Primeira Lixiviação | | Segunda Lixiviação | | Parte aérea | | Eficiência Utilização | |
|-------------------------------|-------------------|-----------|----|------------|----|---------------|----|---------------------|----|--------------------|----|-------------|---|-----------------------|---|
| CTC efetiva | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 1 | 5,79 | ** | 7,78 | ** | 0,01 | ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Composto Org. | 1 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,01 | ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Dose K | 2 | 1,77 | ** | 0,87 | ** | 0,13 | * | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Bloco | 2 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,00 | ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B x CO | 1 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,03 | ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B x DK | 2 | 0,11 | ** | 0,66 | ns | 4,23 | ** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| CO x DK | 2 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,02 | ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B x CO x DK | 2 | 0,00 | ns | 0,01 | ** | 0,05 | ns | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Resíduo | 22 | 0,00 | - | 0,00 | - | 0,03 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 0,87 | - | 1,44 | - | 3,30 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Condutividade Elétrica | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 1 | - | - | - | - | - | - | 801323,36 | ** | 4117,36 | ** | - | - | - | - |
| Composto Org. | 1 | - | - | - | - | - | - | 34,03 | ns | 1,36 | ns | - | - | - | - |
| Dose K | 2 | - | - | - | - | - | - | 320191,75 | ** | 37180,36 | ** | - | - | - | - |
| Bloco | 2 | - | - | - | - | - | - | 2,33 | ns | 8,69 | ns | - | - | - | - |
| B x CO | 1 | - | - | - | - | - | - | 8,03 | ns | 30,25 | ns | - | - | - | - |
| B x DK | 2 | - | - | - | - | - | - | 42058,53 | ** | 5166,36 | ** | - | - | - | - |
| CO x DK | 2 | - | - | - | - | - | - | 0,19 | ns | 13,36 | ns | - | - | - | - |
| B x CO x DK | 2 | - | - | - | - | - | - | 3,52 | ns | 0,58 | ns | - | - | - | - |
| Resíduo | 22 | - | - | - | - | - | - | 10,21 | - | 6,72 | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | - | - | - | - | - | - | 0,30 | - | 0,93 | - | - | - | - | - |

Anexo 2. Quadro da análise de variância para os dados do solo recém-incubado, da primeira lixiviação, do solo da superfície, da subsuperfície dos vasos e da água da segunda lixiviação realizada após o cultivo da mucuna e também nutrição e eficiência de utilização de nutrientes na parte aérea da mucuna após 40 dias de cultivo. Com o fatorial duplo: 2 x 3: com e sem a adição do biochar, e três doses de KCl (utilizando os dados com e sem a aplicação de composto orgânico como repetições), totalizando 6 repetições.

*B = biochar, CO = composto orgânico, DK = doses de potássio, C.V. = coeficiente de variação e MS = matéria seca.

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Incubação | | Superfície | | Subsuperfície | | Primeira Lixiviação | | Segunda Lixiviação | | Parte aérea | | Eficiência Utilização | | |
|-------------------|-------------------|-----------|----|------------|----|---------------|----|---------------------|---|--------------------|---|-------------|----------|-----------------------|--------------|----|
| N | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 979,42 | ** | 15840,02 | ** |
| Dose K | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 32210,75 | ** | 25343,84 | ** |
| Bloco | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,64 | ns | 0,86 | ns |
| B x DK | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 18907,44 | ** | 5912,75 | ** |
| Resíduo | 25 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,89 | - | 6,94 | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,34 | - | 0,62 | - |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 1 | 103138,02 | ** | 4970,48 | ** | 7802,78 | ** | - | - | - | - | - | 19,64 | ** | 64629313,80 | ** |
| Dose K | 2 | 1590,65 | ** | 440,77 | ** | 278,53 | ** | - | - | - | - | - | 13,57 | ** | 112770295,68 | ** |
| Bloco | 5 | 4,47 | ns | 8,31 | ns | 24,31 | ns | - | - | - | - | - | 0,07 | ns | 2055273,69 | ** |
| B x DK | 2 | 524,65 | ** | 380,78 | ** | 490,53 | ** | - | - | - | - | - | 19,10 | ** | 534869546,25 | ** |
| Resíduo | 25 | 9,02 | - | 5,04 | - | 33,76 | - | - | - | - | - | - | 0,09 | - | 2638280,37 | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 1,54 | - | 3,97 | - | 15,14 | - | - | - | - | - | - | 4,88 | - | 5,62 | - |

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Incubação | | Superfície | | Subsuperfície | | Primeira Lixiviação | | Segunda Lixiviação | | Parte aérea | | Eficiência Utilização | |
|-------------------------------|-------------------|------------|----|------------|----|---------------|----|---------------------|----|--------------------|----|-------------|----|-----------------------|---|
| Condutividade Elétrica | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 1 | - | - | - | - | - | - | 1064754,19 | ** | 4117,36 | ** | - | - | - | - |
| Dose K | 2 | - | - | - | - | - | - | 425407,94 | ** | 37180,36 | ** | - | - | - | - |
| Bloco | 5 | - | - | - | - | - | - | 6,38 | ns | 10,29 | ns | - | - | - | - |
| B x DK | 2 | - | - | - | - | - | - | 54977,69 | ** | 5166,36 | ** | - | - | - | - |
| Resíduo | 25 | - | - | - | - | - | - | 10,34 | - | 6,93 | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | - | - | - | - | - | - | 0,29 | - | 0,94 | - | - | - | - | - |
| Conteúdo K | | | | | | | | | | | | MS | | | |
| B | 1 | 2393827,84 | ** | 144602,74 | ** | 433490,56 | ** | 22845,98 | ** | 618,22 | ** | 9,37 | ** | - | - |
| Dose K | 2 | 1517379,41 | ** | 75789,65 | ** | 36650,45 | ** | 5747,5 | ** | 366,10 | ** | 15,20 | ** | - | - |
| Bloco | 5 | 10,07 | ns | 29,18 | ** | 46,55 | ns | 150,59 | ns | 38,28 | ns | 0,47 | ns | - | - |
| B x DK | 2 | 190935,89 | ** | 4465,78 | ** | 8533,12 | ** | 3115,26 | ** | 181,92 | * | 0,47 | ns | - | - |
| Resíduo | 25 | 67,28 | - | 81,20 | - | 75,15 | - | 224,91 | - | 37,60 | - | 0,44 | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 0,98 | - | 5,42 | - | 3,98 | - | 11,31 | - | 17,29 | - | 5,07 | - | - | - |

Anexo 3. Quadro da análise de variância para os dados do solo da superfície, da subsuperfície dos vasos após a decomposição do adubo verde e cultivo da moringa e atributos químicos e de crescimento das plantas de moringa após 70 dias de cultivo. Onde B = biochar, CO = composto orgânico, DK = doses de potássio, C.V. = coeficiente de variação e MS = matéria seca.

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Superfície | | Subsuperfície | | Parte aérea | | Raiz | |
|-------------------|-------------------|------------|----|---------------|----|-------------|----|----------|----|
| N | | | | | | | | | |
| B | 1 | - | - | - | - | 25924,45 | ** | - | - |
| Composto Org. | 1 | - | - | - | - | 27867,48 | ** | - | - |
| Dose K | 2 | - | - | - | - | 226,69 | ns | - | - |
| Bloco | 2 | - | - | - | - | 39,13 | ns | - | - |
| B x CO | 1 | - | - | - | - | 5640,51 | ** | - | - |
| B x DK | 1 | - | - | - | - | 1600,08 | * | - | - |
| CO x DK | 1 | - | - | - | - | 11949,04 | ** | - | - |
| B x CO x DK | 1 | - | - | - | - | 1308,18 | * | - | - |
| Resíduo | 14 | - | - | - | - | 215,65 | - | - | - |
| Total | 23 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | - | - | - | - | 9,86 | - | - | - |
| P | | | | | | | | | |
| B | 1 | 23548,67 | ** | 776,52 | ** | 1629,26 | ** | 9113,39 | ** |
| Composto Org. | 1 | 1670,98 | ** | 769,35 | ** | 884,21 | ** | 12780,50 | ** |
| Dose K | 2 | 2678,69 | ** | 16,04 | ns | 45,26 | ns | 4783,94 | ** |
| Bloco | 2 | 15,08 | ns | 2,22 | ns | 12,99 | ns | 7,73 | ns |
| B x CO | 1 | 477,42 | ** | 76,77 | ** | 4,33 | ns | 1439,63 | ** |
| B x DK | 1 | 102,89 | ** | 1143,76 | ** | 85,40 | * | 6563,80 | ** |
| CO x DK | 1 | 147,32 | ** | 180,28 | ** | 42,25 | ns | 199,55 | * |
| B x CO x DK | 1 | 412,29 | ** | 571,26 | ** | 0,00 | ns | 443,01 | ** |
| Resíduo | 26 | 10,05 | - | 6,56 | - | 13,73 | - | 29,29 | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 3,02 | - | 7,80 | - | 16,67 | - | 7,25 | - |

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Superfície | | Subsuperfície | | Parte aérea | | Raiz | |
|----------------------|-------------------|------------|----|---------------|----|-------------|----|------------|----|
| pH | | | | | | | | | |
| B | 1 | 0,83 | ** | 1,05 | ** | - | - | - | - |
| Composto Org. | 1 | 0,17 | ** | 0,07 | ** | - | - | - | - |
| Dose K | 2 | 0,01 | ns | 0,05 | ** | - | - | - | - |
| Bloco | 2 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| B x CO | 1 | 0,06 | ** | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| B x DK | 1 | 0,14 | ** | 0,03 | ** | - | - | - | - |
| CO x DK | 1 | 0,02 | * | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| B x CO x DK | 1 | 0,11 | ns | 0,19 | ** | - | - | - | - |
| Resíduo | 29 | 0,00 | - | 0,00 | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 0,94 | - | 0,81 | - | - | - | - | - |
| K | | | | | | | | | |
| B | 1 | 5460,17 | ** | 5571,50 | ** | 317142,90 | ** | 411660,84 | ** |
| Composto Org. | 1 | 60,17 | ** | 121,50 | ** | 32246,83 | ** | 80839,68 | ** |
| Dose K | 2 | 1802,67 | ** | 6080,17 | ** | 129367,22 | ** | 225533,53 | ** |
| Bloco | 2 | 1,13 | ns | 2,04 | ns | 12,85 | ns | 76,26 | ns |
| B x CO | 1 | 88,17 | ** | 140,17 | ** | 9693,85 | ** | 562832,23 | ** |
| B x DK | 1 | 96,00 | ** | 308,17 | ** | 1528,66 | ns | 167,81 | * |
| CO x DK | 1 | 80,67 | ** | 28,17 | ** | 12062,84 | ** | 1856,95 | ** |
| B x CO x DK | 1 | 170,67 | ** | 28,18 | ** | 3139,35 | * | 1434592,00 | ** |
| Resíduo | 29 | 3,55 | - | 2,85 | - | 494,67 | - | 33,98 | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 6,67 | - | 4,91 | - | 7,97 | - | 1,86 | - |

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Superfície | | Subsuperfície | | Parte aérea | | Raiz | |
|----------------------|-------------------|------------|----|---------------|----|-------------|----|----------|----|
| Na | | | | | | | | | |
| B | 1 | 7,04 | ns | 3901,50 | ** | - | - | - | - |
| Composto Org. | 1 | 2,04 | ns | 2204,17 | ** | - | - | - | - |
| Dose K | 2 | 0,04 | ns | 20,17 | ns | - | - | - | - |
| Bloco | 2 | 3,79 | ns | 20,67 | ns | - | - | - | - |
| B x CO | 1 | 0,04 | ns | 2016,67 | ** | - | - | - | - |
| B x DK | 1 | 2,04 | ns | 2,67 | ns | - | - | - | - |
| CO x DK | 1 | 22,04 | ** | 32,67 | * | - | - | - | - |
| B x CO x DK | 1 | 35,04 | ** | 73,50 | ** | - | - | - | - |
| Resíduo | 29 | 1,93 | - | 6,48 | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 8,85 | - | 4,80 | - | - | - | - | - |
| Ca | | | | | | | | | |
| B | 1 | 0,05 | ns | 0,12 | ** | 3170,97 | ** | 77,26 | ns |
| Composto Org. | 1 | 0,57 | ** | 0,80 | ** | 42146,62 | ** | 5613,17 | ** |
| Dose K | 2 | 0,35 | ** | 0,03 | ** | 254,87 | ns | 16093,04 | ** |
| Bloco | 2 | 0,01 | ns | 0,00 | ns | 0,90 | ns | 21,11 | ns |
| B x CO | 1 | 0,57 | ** | 0,02 | * | 7466,26 | ** | 2829,06 | ** |
| B x DK | 1 | 0,05 | ns | 0,01 | ns | 762,25 | * | 3925,30 | ** |
| CO x DK | 1 | 0,05 | ns | 0,09 | ** | 5654,81 | ** | 1054,95 | ** |
| B x CO x DK | 1 | 0,01 | ns | 0,01 | ns | 43,48 | ns | 2125,11 | ** |
| Resíduo | 29 | 0,03 | - | 0,00 | - | 137,75 | - | 25,48 | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 10,48 | - | 4,08 | - | 11,72 | - | 9,76 | - |

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Superfície | | Subsuperfície | | Parte aérea | | Raiz | |
|----------------------|-------------------|------------|----|---------------|----|-------------|----|---------|----|
| Mg | | | | | | | | | |
| B | 1 | 0,12 | ** | 0,00 | ns | 353,60 | ** | 1515,84 | ** |
| Composto Org. | 1 | 0,03 | ** | 0,00 | ns | 3120,16 | ** | 806,48 | ** |
| Dose K | 2 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 138,79 | ns | 1801,41 | ** |
| Bloco | 2 | 0,01 | ns | 0,00 | ns | 2,36 | ns | 65,92 | ns |
| B x CO | 1 | 0,01 | * | 0,00 | ns | 2218,32 | ** | 1732,17 | ** |
| B x DK | 1 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 5,21 | ns | 1119,99 | ** |
| CO x DK | 1 | 0,00 | ns | 0,01 | ns | 1270,39 | ** | 94,33 | ns |
| B x CO x DK | 1 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 109,10 | ns | 67,55 | ns |
| Resíduo | 29 | 0,00 | - | 0,01 | - | 34,84 | - | 34,49 | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 13,87 | - | 28,57 | - | 15,89 | - | 17,66 | - |
| Al | | | | | | | | | |
| B | 1 | 0,93 | ** | 0,99 | ** | - | - | - | - |
| Composto Org. | 1 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| Dose K | 2 | 3,20 | ** | 3,53 | ** | - | - | - | - |
| Bloco | 2 | 0,01 | ns | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| B x CO | 1 | 0,00 | ns | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| B x DK | 1 | 0,37 | ** | 0,39 | ** | - | - | - | - |
| CO x DK | 1 | 0,73 | ** | 0,74 | ** | - | - | - | - |
| B x CO x DK | 1 | 2,29 | ** | 2,45 | ** | - | - | - | - |
| Resíduo | 29 | 0,00 | - | 0,00 | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 2,66 | - | 1,09 | - | - | - | - | - |

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Superfície | | Subsuperfície | | Parte aérea | | Raiz | |
|----------------------|-------------------|------------|----|---------------|----|-------------|---|------|---|
| H+AI | | | | | | | | | |
| B | 1 | 53,42 | ** | 22,23 | ** | - | - | - | - |
| Composto Org. | 1 | 138,17 | ** | 360,84 | ** | - | - | - | - |
| Dose K | 2 | 1,09 | ns | 2,20 | ns | - | - | - | - |
| Bloco | 2 | 0,62 | ns | 1,12 | ns | - | - | - | - |
| B x CO | 1 | 25,18 | ** | 30,51 | ** | - | - | - | - |
| B x DK | 1 | 1,91 | ns | 0,45 | ns | - | - | - | - |
| CO x DK | 1 | 1,09 | ns | 3,56 | ns | - | - | - | - |
| B x CO x DK | 1 | 2,30 | ns | 0,07 | ns | - | - | - | - |
| Resíduo | 29 | 0,85 | - | 1,37 | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 12,93 | - | 15,57 | - | - | - | - | - |
| CTC potencial | | | | | | | | | |
| B | 1 | 42,78 | ** | 14,88 | ** | - | - | - | - |
| Composto Org. | 1 | 116,69 | ** | 317,31 | ** | - | - | - | - |
| Dose K | 2 | 2,40 | ns | 1,32 | ns | - | - | - | - |
| Bloco | 2 | 0,62 | ns | 1,25 | ns | - | - | - | - |
| B x CO | 1 | 34,24 | ** | 29,55 | ** | - | - | - | - |
| B x DK | 1 | 1,43 | ns | 0,22 | ns | - | - | - | - |
| CO x DK | 1 | 0,64 | ns | 4,28 | ns | - | - | - | - |
| B x CO x DK | 1 | 3,02 | ns | 0,03 | ns | - | - | - | - |
| Resíduo | 29 | 1,03 | - | 1,40 | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 11,15 | - | 12,59 | - | - | - | - | - |

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Superfície | | Subsuperfície | | Parte aérea | | Raiz | |
|----------------------|-------------------|------------|----|---------------|----|-------------|----|------|---|
| CTC efetiva | | | | | | | | | |
| B | 1 | 0,04 | ns | 0,02 | ns | - | - | - | - |
| Composto Org. | 1 | 1,04 | ** | 1,40 | ** | - | - | - | - |
| Dose K | 2 | 5,26 | ** | 2,38 | ** | - | - | - | - |
| Bloco | 2 | 0,01 | ns | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| B x CO | 1 | 0,72 | ** | 0,00 | ns | - | - | - | - |
| B x DK | 1 | 0,18 | * | 0,68 | ** | - | - | - | - |
| CO x DK | 1 | 0,37 | ** | 0,46 | ** | - | - | - | - |
| B x CO x DK | 1 | 3,01 | ** | 2,12 | ** | - | - | - | - |
| Resíduo | 29 | 0,03 | - | 0,01 | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | 4,70 | - | 3,25 | - | - | - | - | - |
| Altura | | | | | | | | | |
| B | 1 | - | - | - | - | 1874,43 | ** | - | - |
| Composto Org. | 1 | - | - | - | - | 1372,59 | ** | - | - |
| Dose K | 2 | - | - | - | - | 55,51 | * | - | - |
| Bloco | 2 | - | - | - | - | 8,61 | ns | - | - |
| B x CO | 1 | - | - | - | - | 9,25 | ns | - | - |
| B x DK | 1 | - | - | - | - | 95,60 | ** | - | - |
| CO x DK | 1 | - | - | - | - | 32,43 | ns | - | - |
| B x CO x DK | 1 | - | - | - | - | 389,62 | ** | - | - |
| Resíduo | 29 | - | - | - | - | 8,78 | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | - | - | - | - | 6,48 | - | - | - |

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Superfície | | Subsuperfície | | Parte aérea | | Raiz | |
|-------------------------|-------------------|------------|---|---------------|---|-------------|----|------|---|
| Diâmetro | | | | | | | | | |
| B | 1 | - | - | - | - | 31,14 | ** | - | - |
| Composto Org. | 1 | - | - | - | - | 26,92 | ** | - | - |
| Dose K | 2 | - | - | - | - | 23,92 | ** | - | - |
| Bloco | 2 | - | - | - | - | 0,48 | ns | - | - |
| B x CO | 1 | - | - | - | - | 23,05 | ** | - | - |
| B x DK | 1 | - | - | - | - | 1,39 | ns | - | - |
| CO x DK | 1 | - | - | - | - | 5,63 | ** | - | - |
| B x CO x DK | 1 | - | - | - | - | 1,44 | ns | - | - |
| Resíduo | 29 | - | - | - | - | 0,60 | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | - | - | - | - | 8,88 | - | - | - |
| Número de folhas | | | | | | | | | |
| B | 1 | - | - | - | - | 294,00 | ** | - | - |
| Composto Org. | 1 | - | - | - | - | 24,00 | ** | - | - |
| Dose K | 2 | - | - | - | - | 42,67 | ** | - | - |
| Bloco | 2 | - | - | - | - | 0,13 | ns | - | - |
| B x CO | 1 | - | - | - | - | 16,67 | * | - | - |
| B x DK | 1 | - | - | - | - | 6,00 | ns | - | - |
| CO x DK | 1 | - | - | - | - | 16,67 | * | - | - |
| B x CO x DK | 1 | - | - | - | - | 24,00 | ** | - | - |
| Resíduo | 29 | - | - | - | - | 1,98 | - | - | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | - | - | - | - | 8,80 | - | - | - |

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Superfície | | Subsuperfície | | Parte aérea | | Raiz | |
|----------------------|-------------------|------------|---|---------------|---|-------------|----|--------|----|
| MS | | | | | | | | | |
| B | 1 | - | - | - | - | 27,52 | ** | 50,61 | ** |
| Composto Org. | 1 | - | - | - | - | 22,94 | ** | 100,74 | ** |
| Dose K | 2 | - | - | - | - | 5,36 | ** | 125,39 | ** |
| Bloco | 2 | - | - | - | - | 0,00 | ns | 0,07 | ns |
| B x CO | 1 | - | - | - | - | 7,62 | ** | 106,66 | ** |
| B x DK | 1 | - | - | - | - | 0,09 | ns | 81,25 | ** |
| CO x DK | 1 | - | - | - | - | 4,81 | ** | 14,11 | ** |
| B x CO x DK | 1 | - | - | - | - | 0,01 | ns | 13,83 | ** |
| Resíduo | 29 | - | - | - | - | 0,13 | - | 0,04 | - |
| Total | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V.(%) | - | - | - | - | - | 7,25 | - | 15,1 | - |

REFERÊNCIAS

- Aguiar, F.L.N. (2010) Avaliação do potencial antifúngico de produtos de plantas em cepas de *Candida albicans* e *Microsporium canis* isolada de cães e gatos: Um destaque para *Moringa oleifera* e *Vernonia* sp. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias). Faculdade de Veterinária da Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, Ceará, 63p.
- Akinremi, O.O.; Cho C.M. (1991) Phosphate transport in calcium-saturated systems: II. Experimental results in a model system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1282-1287.
- Amabile, R.F.; Fancelli, A.L.; Carvalho, A.M. (2000) Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. 35:47-54.
- Anderson, C.R.; Condon, L.M.; Clough T.J.; Fiers, M.; Stewart, A.; Hill, R.A.; Sherlock R.R. (2011) Biochar induced soil microbial community change: implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia*. 54:309-320.
- Andrade, E.M. et al. (2009) Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. *Ciência Rural*. 39:88-95.
- Araújo, C.A.S.; Ruiz, H.A.; Silva, D.J.; Ferreira, P.A.; Alvarez, V.V.H.; Bahia Filho, A.F.C. (2003) Eluição de magnésio, cálcio e potássio de acordo com o tempo de difusão em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico Típico. *R. Bras. Ci. Sol.* 27:231-238.

- Anwar, F; Bhangar M.I. (2003) Analytical characterization of Moringa oleifera seed oil grown temperate regions of Pakistan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:6558-6563.
- Bailey, V.L.; Fansler, S.J; Smith J.L; Bolton, J.R.H. (2011) Reconciling apparent variability in effects of biochar amendment on soil enzyme activities by assay optimization. *Soil Biology & Biochemistry*. 43:296-301.
- Bailian, L; Mckeand, S.E.; Allen, H.L. (1991) Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science, Lawrence*. 37:(2)613- 626.
- Barros, A.C.; Folegatti, M.V.; Souza, C.F.; Santoro, B.L. (2010) Distribuição da solução no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. *Irriga*. 15:361-372.
- Benites, V.M.; et al. (2009) Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as Terras Pretas de Índio. In: Teixeira WG, et al. *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus, AM, Embrapa Amazônia Ocidental, 285-296p.
- Bharali, R.; Tabassum, J.; Azad, M.R.H. (2003) Chemomodulatory effect of moringa oleifera lam, on hepatic carcinogen metabolising enzymes, antioxidant parameters and skin papillomagenesis in mice. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. 4:(2)131–139.
- Bhatia S.; Othman Z.; Ahmad, A.L. (2007) Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using Moringa oleifera seeds as natural coagulant. *Journal of Hazardous Materials*. 145:120–126.
- Bridgwater, T.; Watkinson, I. (2011) *Biomass Pyrolysis – A guide to UK capabilities*, Aston University Bioenergy Research Group.[internet]; Disponível em: <http://www.aston-berg.co.uk/Resources/> [20 fev 2014].
- Bueno, J.R.; Sakai, R.H.; Negrini, A.C.; Ambrosano, E.J.; Rossi, F. (2007) Caracterização química e produtividade de biomassa de quatro espécies de mucuna. *Rev. Bras. de Agroecologia*. v.2.
- Bustos, A.; Roman, R.; Caballero, R.; Díez, J.A.; Cartagena, M.C.; Vallejo, A.; Caballero A. (1996) Water and solute movement under conventional corn in central Spain. II. Salt leaching. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1536-1540.

- Calmak, I. (2005) Protection of Plants from Detrimental Effects of Environmental Stress Factors. In: Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 10:261-279.
- Cavalcante, V.S.; Santos, V.R.; Dos Santos Neto A.L.; Dos Santos M.A.L.; Cícero G.; Dos Santos, C.G.; Costa, L.C. (2012) Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental. 16:521-528.
- Chaves, L.H.G.; Libardi; P.L. (1995) Lixiviação de potássio e cálcio mais magnésio influenciada pelo pH. R. Bras. Ci. Solo. 19:145-148.
- Coelho, F.C.; Ruiz, H.A.; Ferreira, P.A.; França, G.E.; Araujo, C.A.S.; Duarte, M.A. (2000) Transporte do amônio em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 4:362-367.
- Cordell, D.; Drangert, J.O.; White, S. (2009) The story of phosphorus: global foodsecurity and food for thought. Global Environ Change. 19:292-305.
- Correa, R.S.; et al. (2006) Risk of nitrate leaching from two soils amended with biosolids. Water Resources. 33:453- 462.
- CTA (Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation) (2008) Moringa on two wheels. Spore Magazine. Nº135, June.
- Curi, N.; Kämpf, N.; Marques, J.J. (2005) Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: YAMADA T, ROBERTS TL. (Eds.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato. 91-122p.
- Cysne, J.R.B. (2006) Propagação in vitro de Moringa oleifera L. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 81p.
- Dierolf, T.S.; Arya, L.M.; Yost, R.S. (1997) Water and cation movement in an Indonesian Ultisol. Agron. J. 89:572- 579.
- Duarte, I.N.; Pereira, H.S.; Korndorfer, G.H. (2013) Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. Pesq. Agropec. Trop. Goiânia. 43:(2)195-200.
- Duarte Júnior, J.B.; Coelho, F.C. (2008) A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. R. Bras. Eng. Agríc. Amb. 12:576-583.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 353p.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro- RJ). Manual de Métodos de Análise de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997; 212p. (Boletim técnico).
- Ernani, P.R.; Almeida, J.A.; Santos, F.C. (2007) "Potássio", In: Novais RF, Barros NF, Fontes LRF et al. (eds.). Fertilidade do Solo, Viçosa, Minas Gerais, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2134-198 p.
- Ernani, P.R.; Mantovani, A.; Scheidt, F.R.; Nesi C. (2003) Mobilidade de nutrientes em solos ácidos decorrentes da aplicação de cloreto de potássio e cálcio. In: Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, [CD-ROM] Ribeirão Preto.
- Ernani, P.R.; Sangoi, L.; Rampazzo, C. (2002) Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo em função da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. R. Bras. Ci. Solo.; 26:993-1000.
- Ernani, P.R.; Bayer, C.; Fontoura, S.M.V. (2001) Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde, em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo. 25:897-904.
- Fahey, J.W. "Moringa oleifera: (2005) A Review of the Medical Evidence for its Nutritional, Therapeutic and Prophylactic Properties". Part 1. Trees for Life Journal. 1:5.
- Fahl, J.I.; Camaergo, M.B.P.; Pizzinatto, M.A.; Betti, J.A.; Melo, A.M.T.; De Maria, I.C.; Furlani, A.M.C.; et al. (1998) Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Campinas, Instituto Agrônomo, 6.ed. 396p. (Boletim 200)
- Favero, C.; Jucksch, I.; Alvarenga, R.C.; Costa, L.M. (2001) Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. 36:1355-1362.
- Fearnside, P.M. (2005) Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. Conservation Biology. 19:680-688.
- Fernandes, A.R.; Morais, F.I.O.; Linhares, L.C.F.; Silva, G.R. (2007) Produção de matéria seca e eficiência nutricional para P, Ca e Mg em leguminosas herbáceas. Acta Amazonica. 37(2):169-176.
- Ferreira, D.F. (2008) SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. Revista Científica Symposium, Lavras. 6:36-41.
- Freire, J.C.; Ribeiro, M.A.V.; Bahia, V.G.; Lopes, A.S.; Aquino, L.H. (1980) Resposta do Milho Cultivado em Casa de Vegetação a Níveis de Água em Solos da Região de Lavras (MG). Rev. Bras. Ci. Solo. 4:5-8.

- Fischer, D.; Glaser, B. (2012) Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration In: Management of Organic Waste. Institute of Agricultural and Nutritional Sciences, Soil Biogeochemistry, Halle. Germany. 198p.
- Foidl, N.; Makkar, H.P.S.; Becker, K. (2001) "The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. In: The Miracle Tree/The Multiple attributes of *Moringa* (ed Lowell, J. Fuglie). New York, Publication of CTA.
- Fontes, H.R.; Ribeiro, F.E.; Fernandes, M.F. (2003) Coco, Produção, Aspectos Técnicos; Embrapa Tabuleiros Costeiros (Aracaju, SE). Brasília. 106p (Boletim técnico).
- Fox, A.; Kwapinski, W.; Griffiths, B.S.; Schmalenberger A. (2014) The role of sulfur- and phosphorus-mobilizing bacteria in biochar-induced growth promotion of *Lolium perenne*. Federation of European Microbiological Societies. 78-91p.
- Gao, S.; Hoffman-Krull, K.; Bidwell, A.L.; Deluca, T.H. (2016) Locally produced wood biochar increases nutrient retention and availability in agricultural soils of the San Juan Islands, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 233:43-54.
- Gassenschmidt, U.; Jany, K.D.; Tauscher, B.; Niebergall, H. (1995) Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. *biochimica et Biophysica Acta*. 1243:477-481.
- Glaser B. (2007) Prehistorically modified soils of Central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the 21st century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 362:187-196.
- Glaser, B.; Guggenberger G.; Zech, W.; Ruivo, M.L. (2003) Soil organic matter stability in Amazon Dark Earth. In *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management* (ed. Lehmann J. et al.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 141-158p.
- Glaser, B.; Lehmann, J.; Zech, W. (2002) Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biol. Fertil. Soils*. 35:219-230.
- Glaser, B.; Haumaier, L.; Guggenberger, G.; Zech W. (2001) The "terra preta" phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*. 88: 37-41.
- Graber, E.R.; et al. (2010) Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant Soil*. 337:481-496.

Gontijo Neto, G.F. (2013) Benefícios e características da adubação verde na produção sustentável de alimentos. Artigo técnico: Disponível em: <http://www.rehagro.com.br/plus/modulos/noticias/ler.php?cdnoticia=2616> Acesso em 27/03/2015.

Guareschi, R.F.; Pereira, M.G.; Perin, A. (2012) Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoque de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. R. Bras. de Ci. do Solo. 36:909-920.

Haas, D.; Defago, G. (2005) Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. Nat. Rev. Microbiol. 3:307-319.

Heckenberger, M.J.; Kuikuro, A.; Kuikuro, U.T.; Russell, C.J.; Schmidt, M.; Fausto, C.; Franchetto, B. (2003) Amazonia 1492: Pristine forest or cultural parkland. Science. 301:1710-1713.

Hille, M.; Den Ouden J. (2005) Charcoal and activated carbon as adsorbate of phyto-toxic compounds – a comparative study. Oikos. 108:202-207.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE. (2012) Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil: Disponível em: <http://www.biocharinternational.org/sites/default/files/Guidelines_for_Biochar_hat_Is_Used_in_Soil_Final.pdf> Acesso em: 12/11/2014.

Isaiah, M.A. (2013) Effects of Inorganic Fertilizer on the Growth and Nutrient Composition of Moringa (*Moringa oleifera*). Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS). 4(2): 341-343.

Ishiguro, M.; Song, K.C.; Yuita, K. (1992) Ion transport in an Allophanic Andisol under the influence of variable charge. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1789-1793.

Ishii, T.; Kadoya, K. (1994) Effects of charcoal as a soil conditioner on citrus growth and vesicular–arbuscular mycorrhizal development. J Jpn Soc Hortic Sci. 63:529-535.

Israel, D.W.; Ruffy Junior, T.W. (1988) Influence of phosphorus nutrition on phosphorus and nitrogen utilization efficiencies and associated physiological response in soybean. Crop Science, Madison. 28:954-960.

Iwai, C.K. (2005) Tratamento de chorume através de percolação em solos empregados como material de cobertura de aterros para resíduos sólidos urbanos. (Dissertação Mestrado) Bauru: UNESP. 205p.

- Jadoski, S.O.; Saito L.R.; Prado, C.; Lopes, E.C.; Sales, L.L.S. (2010) Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v.3.
- Jahn, S.A.A. (1998) Using Moringa seeds as coagulant in developing countries. *Journal of the American Water Works Association*. 6:43-50.
- Jeffery, S.; Verheijen, F.G.A.; Van Der Velde, M.; Bastos, A.C. (2011) A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 144:175-187.
- Jesus, A.R.; Marques N.S.; Salvi, E.J.N.R.; Tuyuty, P.L.M.; Pereira, S.A. (2013) Cultivo da Moringa Oleífera. [Dossiê Técnico]. Instituto Euvaldo Lodi, BA.
- Jien, S.; Wang, C. (2013) Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*. 110: 225-233.
- Jiménez Becker, S.; Ebrahimzadeh, A.; Plaza Herrada B.M.; Lao, M.T. (2010) Characterization of compost based on crop residues: changes in some chemical and physical properties of the soil after applying the compost as organic amendment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 41:696-708.
- Jones, P.D. (1999) Journal on the propagation and growing of multipurpose trees, vol. 19, 56: 60-78. In: *Vegetative and Reproductive tissue of the Multipurpose tree, Moringa oleifera*, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 51: 3546-3553.
- Keith, A.; Singh, B.; Singh, B.P. (2011) Interactive priming of biochar and labile organic matter mineralization in a smectite-rich soil. *Environ. Sci. Technol.* 45:9611-9618.
- Kerr, E. (2010) Moringa é fonte de vitamina A. *Globo Reporter*. [S.l.]. Disponível em: <http://g1.globo.com/globo-reporter/noticia/2010/10/moringa-e-fonte-de-vitamina.html>. Acesso em: 08 jan. 2018.
- Kinpara, D.I. (2003) A importância estratégica do potássio para o Brasil. Planaltina: Embrapa Cerrados, 27 p. (Documentos, 100).
- Kloepper, J.W.; Ryu, C.M.; Zhang, S.A. (2004) Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*. 94:1259-1266.
- Kolton, M.; Harel, Y.M.; Pasternak, Z.; Graber, E.R. (2011) Impact of Biochar Application to Soil on the Root-Associated Bacterial Community Structure of Fully Developed Greenhouse Pepper Plants.

- Kuzyakov, Y.; Subbotina, I.; Bogomolova, I.; Xu, X.L. (2009) Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ^{14}C labeling. *Soil Biology & Biochemistry*. 41:210-219.
- Laird, D.; Fleming, P.; Wang, B.; Horton, R.; Karlen, D. (2010) Biochar impact on nutri-ent leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 158:436-442.
- Lehmann, J.; Rillig, M.C.; Thies, J.; Masiello, C.A.; Hockaday, W.C.; Crowley, D. (2011) Biochar effects on soil biota-a review. *Soil Biol. Biochem.* 43: 1812-1836.
- Lehmann, J.; Joseph, S. (2009) *Biochar for Environmental Management-Science and Technology*, Earthscan, London.
- Lehmann, J.; Rondon, M. (2006) Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: Uphoff N. (Ed.). *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 517-530p.
- Lehmann, J.; Silva Jr. J.P.; Steiner, C.; Nehls, T.; Zech, W.; Claser, B. (2003) Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil*. 249:343-357.
- Lewis, S.L. (2006) Tropical forests and the changing earth system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 361:195-210.
- Lima S.L.; Marimon-Junior B.H.; Petter, F.A.; Tamiozzo, S.; Buck, G.B.; Marimon, B.S. (2013) Biochar as substitute for organic matter in the composition of substrates for seedlings. *Acta Scientia*. v. 35.
- LIMA R, MENEZES V. Utilização da Adubação Verde na Agricultura Sustentável. Faculdade católica do Tocantins, disciplina estágio supervisionado. 2010.
- Lima, L.M.Q. (2004) *Lixo: tratamento e biorremediação*. São Paulo: Editora Hemus, 265p.
- Lin. Y.; Munroe, P.; Joseph, S.; Henderson, R. (2012) Migration of dissolved organic carbon in biochars and biochar mineral complexes. *Pesq. agropec. bras. Brasília*. 47:677-686.
- Lone, A.H.; Najar, G.R.; Ganie, M.A.; Sofi, J.A.; Tahir, A.L.I.T. (2015) Biochar for sustainable soil health: a review of prospects and concerns. *Pedosphere*. 25:(5)639–653.

- Lopes, A.S.; Guilherme, L.R.G. (2004) Interpretação de análise de solo conceitos e aplicações interpretação de análise de solo Conceitos e Aplicações. (Boletim técnico nº2).
- Lorenzi, H.; Matos, F.J. (2002) Plantas medicinais no Brasil – nativas e exóticas cultivadas. Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, p. 346-347.
- Madari, B.E.; Costa, A.R.; Castro, L.M.; Santos, J.L.S.; Benites, V.M.; Rocha, A.O.; Machado, P.L.O.A. (2006) Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar primavera): Um estudo prospectivo. Embrapa Arroz e Feijão. n. 125, 2p.
- Maia, C.M.B.F. (2010) Biochar: uma nova ferramenta no manejo de solos. Anais do II Seminário de Atualização Florestal e XI Semana de Estudos Florestais.
- Major, J.; Rondon, M.; Molina, D.; Riha, S.J.; Lehmann, J. (2010) Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant Soil*. 333:117-128.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. (1997) Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: Princípios e Aplicações. Piracicaba: POTAFÒS, 319 p.
- Malavolta, E.A. (1980) Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 251p.
- Maracajá, P.B.; Leite, D.T.; Freire, M.S.; Silveira, D.C.; Cavalcanti, M.T.; Coelho, D.C. (2010) Efeito tóxico do extrato de flores de *Moringa oleifera* L. para abelhas (*Apis mellifera*) africanizadas. *ACSA - Agropecuária Científica no Semi árido*. 06:(03)33 – 37.
- Maroyi, A. (2005) "The utilization of *Moringa oleifera* in Zimbabwe". *Trees for LifeJournal*. 1: 5.
- Marschner, P. (2012) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3. Ed. Elsevier, 651p.
- Martho, G.R.; Amabis, J.M. (2009) *Biologia 2 – Biologia dos Organismos*. (4ª ed.) Parte I, Unidade C, Capítulo 7: Desenvolvimento e Morfologia das Plantas Angiospermas. 640p.
- Martins, CR.; De Jesus Júnior L.A. (2011) Evolução da Produção de Coco no Brasil e o Comércio Internacional. *Panorama 2010*. Aracajú,SE, Embrapa Tabuleiros Costeiros. (Boletim técnico)
- Matsubara, Y.I.; Hasegawa, N.; Fukui, H. (2002) Incidence of *Fusarium* root rot in asparagus seedlings infected with arbuscular mycorrhizal fungus as affected by several soil amendments. *J Jpn Soc Hortic Sci*. 71:370-374.

- Mcbeath, A.V.; Smernik, R.J. (2009) Variation in the degree of aromatic condensation of chars. *Org. Geochem.* 40:1161-1168.
- Méndez, A.; Terradillos, M.; Gascó G. (2013) Physicochemical and agronomic properties of biochar from sewage sludge pyrolysed at different temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* 102:124-130.
- Mengel, K.; Kirkby, E.A. (1987) Principles of plant nutrition. 4.ed. Bern, Potash International Institute. In: Ernani, P.R.; Almeida, J.A.; Santos, F.C. "Potássio", In: Novais, R.F.; Barros, N.F.; Fontes, L.R.F.; et al. (eds.). *Fertilidade do Solo, Viçosa, Minas Gerais, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.* 2134-198 p. 2007.
- Mesa, J.M.; Rocha, J.D.; Olivares, E.; Barboza, L.A.; Brossard, J.E.; Brossard Junior, L.E. (2009) Pirólise rápida em leito fluidizado: Uma opção para transformar biomassa em energia limpa. *Revista Analytica.* 32-36 p.
- Meurer, E.J. (2006) Potássio. In: Fernandes, M.S. *Nutrição Mineral de Plantas.* (eds.) Sociedade Bras. Ci. Solo. 432 p.
- Mielniczuk, J. (1982) Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração: experiências brasileiras. In: Yamada, T. et al. (Eds.). *Potássio na agricultura brasileira.* Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato.
- Miyasaka, S. (1984) Histórico do estudo de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. *Adubação Verde no Brasil.* Campinas: Fundação Cargill, 64-123p.
- Moreau, A.M.S.S. (2001) Gênese, mineralogia e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos do Tabuleiro Costeiro do Sul da Bahia. [Tese] UFV, Viçosa, MG. 139p.
- Mukherjee, A.; Zimmerman, A.R. (2013) Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. *Geoderma.* 193-194:122-130.
- Nachtigall, G.R.; Vahl, L.C. (1991) Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo.* 15:37-42.
- Nascimento, C.W.A.; Barros, D.A.S.; Melo, E.E.C.; Oliveira, A.B. (2004) Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* 28:385-392.
- Nóbrega, I.P.C. (2011) Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de carbono no solo. (Dissertação de mestrado) - Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 38p.

- Novais, R.F.; Mello, J.W.V. (2007) Relação solo-planta. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. Fertilidade do solo. 1ª ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2134-198 p.
- Novak, J.N.; Busscher, W.J.; Laird, D.L.; Ahmedna, M.; Watts, D.W.; Ninandou, M.A.S. (2009) Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*. 174(2):105-112.
- Oliveira, M.V.A.M.; Villas Boas R.L. (2008) Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. *R. Eng. Agrícola, Jaboticabal*, 28:(1)95-103.
- O'Neill, B.; Grossman, J.; Tsai M.; Gomes, J.; Lehmann, J.; Peterson, J.; Neves, E.; Thies, J. (2009) Bacterial community composition in Brazilian anthrosols and adjacentsoils characterized using culturing and molecular identification. *Microb. Ecol.* 58:23-35.
- Oram, N.L.; Van De Voorde T.F.J.; Ouwehand, G.J.; Bezemer, M.; Mommer, L.; Jeffery, S.; Van Groenigen, J.W. (2014) Soil amendment with biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 191:92–98.
- Okuda, T.; Baes, A.U.; Nishijima, W.; Okada, M. (2001) Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Research*. 35:(2)405-410.
- PARÁ. (2003) Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Programa Paraense de Tecnologias Apropriadas. Compostagem: produção de adubo a partir de resíduos orgânicos. Belém: SECTAM..
- Parra, S.; Aguilar, F.J.; Calatrava, J. (2008) Decision modelling for environmental protection: the contingent valuation method applied to greenhouse waste management. *Biosyst. Eng.* 99:469-477.
- Parra, S.; Pérez, J.; Calatrava, J. (2000) Vegetal waste from protected horticulture in southeastern Spain: characterisation of environmental externalities. In: *International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Current Trends for Sustainable Technologies*, Cartagena, Spain, 787-792p.
- Paz-Ferreiro, J.; Gascó, G.; Gutierrez, B.; Méndez, A. (2012) Soil activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. *Biol. Fertil. Soils*, 48:511–517.

- Pereira Neto, L.F.S. (2008) O uso de Moringa oleifera como purificador natural de alimentos. 4ª Semana do Servidor e 5ª Semana Acadêmica, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia.
- Perin, A.; Santos, R.H.S.; Caballero, S.S.U.; Guerra, J.G.M.; Gusmão, L.A. (2010) Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalaria e milheto solteiros e consorciados. R. Ceres. 57:274-281.
- Petter, F.A. (2010) Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado. (Tese Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, 130p.
- Phillips, I.; Burton, E. (2005) Nutrient leaching in undisturbed cores of an acidic sandy Podsol following simultaneous potassium chloride and di-ammonium phosphate application. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 73:1-14.
- Pirai Sementes. (2018) Semente mucuna preta: conteúdo exclusivo. [internet] Piracicaba, SP: Pirai Sementes; [acesso em 17 fev 2018]. Disponível em: http://www.pirai.com.br/semente_mucuna_preta-texto-b106.html.
- Prakongkep, N.; Gilkes, R.J.; Wiriyakitnatekul W. (2014) Agronomic benefits of durian shell biochar. Journal of Metals, Materials and Minerals. 24: 7-11.
- Prado, R.M. (2008) Nutrição de Plantas. São Paulo: Editora Unesp. 407p.
- Preston, C.M.; Schmidt M.W.I. (2006) Black (pyrogenic) carbon: a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions. Biogeosciences. 3:397-420.
- Raij, B. van. (1991) Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Agronômica Ceres: Potafos, 343p.
- Ramachandran, C.; Ter K.V.; Gopalakrishnan, P.K. (1980) Drumstick (Moringa oleifera): A multipurpose Indian vegetable. Economic Botany.; 34:276-283.
- Rangel, M.S. (2018) Um purificador natural de água e um complemento alimentar para o Nordeste do Brasil. EMBRAPA: Tabuleiros Costeiros. Aracajú- Sergipe. Disponível em: <http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/a10moringa.htm> Acesso em: 17 de Janeiro de 2018.
- Resende, E.I.P.; Angelo, L.C.; Santos, S.S.; Mangrich, A.S. (2011) Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. Rev. Virtual Quim. 3:426-433.
- Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez, V.H. (1999) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa, MG, 359p.

- Rocha, J.D.; Pérez, J.M.M.; Cortez, L.A.B. (2004) Aspectos teóricos e práticos do processo de pirólise de biomassa, curso internacional “Energia na Indústria de Açúcar e Álcool” UNIFEI, Itajubá.
- Rodrigues, J.O.; et al. (2007) Modelos da concentração iônica em águas subterrâneas no Distrito de Irrigação Baixo Acaraú. *Ciência Agronômica*. 38:360-365.
- Romer, W. (2009) Concepts for a more efficient use of phosphorus based on experimental observations. *Ber. Landwirtsch.* 87:5-30.
- Rondon, M.; Lehmann, J.; Ramírez, J.; Hurtado, M. (2007) Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions *Biol. Fert. Soils*. 43:699-708.
- Rosolem, C.A.; Santos, F.P.; Foloni, J.S.S.; Calonego, J.C. (2006) Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF. 41:(6)1033-1040.
- Rosolem, C.A. (2005) Interação do Potássio com outros íons. In: Yamada T, Roberts TL. (ed.) *Potássio na Agricultura Brasileira*. Piracicaba: Potafos. 239-260p.
- Rossetto, R.; Sironello, A.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. (2004) Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. *Bragantia*, 63:105-119.
- Roy, R.N.; Misra, R.V.; Montanez, A. (2002) Decreasing reliance on mineral nitrogen— yet more food. *Ambio*. 31:177-183.
- Sakai, R.H.; et al. (2007) Avaliação agrônômica de quatro espécies de mucuna utilizadas como adubos verdes em sistema agroecológico. *R. Bras. Agroecol.* 2:910-913.
- Sanzonowicz, C.; Mielniczuk, J. (1985) Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. *R. Bras. Ci. Solo*. 9:45-50.
- Schulz, H.; Glaser, B. (2012) Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 175:410-422.
- Shenbagavalli, S.; Mahimairaja, S. (2012) Characterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. *International Journal of Advanced Biological Research*. 2:249-255.

- Silber, A.; Levkovich, I.; Graber, E.R. (2010) pH-dependent mineral release and surface properties of cornstrow biochar: agronomic implications. *Environ. Sci. Technol.* 44:9318-9323.
- Silva, G. (2011) Fertilizer prices continue to increase. Michigan State University. Disponível em: <http://msue.anr.msu.edu/news/fertilizerpricescontinuetoin> Acesso em 24/12/14.
- Silva, J.; Da Silva P.S.L.E.; De Oliveira, M.; Silva, K.M.B.E. (2004) Efeito de esterco bovino sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. *Horticultura Brasileira.* 22:326-331.
- Silva, A.R.; Kerr, W.E. (1999) Moringa: uma nova hortaliça para o Brasil. Uberlândia, MG: UFU/DIRIU, 95 p.
- Singh, B.; Singh, B.P.; Cowie, A.L. (2010) Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Soil Research.* 48:516-525.
- Singh, B.P.; Hatton, B.J.; Singh, B.; Cowiw, A.L.; Kathuria, A. (2010) Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of Environmental Quality.* 39:1224–1235.
- Siqueira, L.A.; Aragão, W.M.; Tupinambá, E.A. A (2002) Introdução do Coqueiro no Brasil. Importância Histórica e Agronômica. Aracajú, SE, Embrapa Tabuleiros Costeiros. (Boletim técnico).
- Sizmur, T.; Quilliam, R.; Puga, A.P.; Moreno-Jiménez E.; Beesley, L.; Gomes-Eyles J.L. (2015) Application of biochar for soil remediation. *Agricultural and Environmental Applications of Biochar: Advances and Barriers.* 295-324 p.
- Smider, B.; Singh, B. (2014) Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 191:99-107.
- Sobral, L.F. (1998) Nutrição e adubação do coqueiro. In: Ferreira JMS, Warnick DRN, Siqueira LA. (eds.) *A cultura do coqueiro no Brasil.* 2ed. Aracajú: Embrapa-CPATC, 129-157 p.
- Sohi, S.P.; Krull, E.; Lopez-Capel, E.; Bol R. (2010) A review of biochar and its use and function in soil. *Adv Agron.* 105:47-82.
- Souza, A.A.T.C. (2015) Biochar de lodo de esgoto: efeitos no solo e na planta no cultivo de rabanete. [Dissertação] UnB, Brasília-DF, 63p.
- Sombroek, W.; Kern, D.; Rodrigues, T.; Cravo, M.D.S.; Cunha, T.J.; Woods, W.; Glaser, B. (2012) Terra preta and Terra mulata: pre-Columbian Amazon kitchen

middens and agricultural fields, their sustainability and their replication. In 17th World Congress of Soil Science.

Sposito, G. (1989) *The chemistry of soils*. 1.ed. Oxford: Oxford University Press, 277p.

Steenwerth, L.K.; Jackson, E.L.; Calderón, J.F.; Scow, M.K.; Rolston, E.D. (2005) Response of microbial community composition and activity in agricultural and grassland soils after a simulated rainfall. *Soil Biology & Biochemistry*. 37:2249-2262.

Steiner, C.; De Arruda M.R.; Teixeira, W.G.; Zech, W. (2008) Soil respiration curves as soil fertility indicators in perennial central Amazonian plantations treated with charcoal, and mineral or organic fertilisers. *Tropical Science*. 47:218–30.

Tammeorg, P.; Brandstaka, T.; Simojoki, A.; Helenius J. (2012) Nitrogen mineralization dynamics of meat bone meal and cattle manure as affected by the application of softwood chips biochar in soil. *Earth Environ. Sci. T.R.S.O.* 103:19-30.

Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S.J. (1995) *Análise de Solo, Plantas e Outros Materiais*. 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos. UFRGS. 174p. (Boletim Técnico, 5).

Teodoro, R.B.; Oliveira, F.L.; Silva, D.M.N.; Favero, C.; Quaresma, M.A.L. (2011) Aspectos Agronômicos de Leguminosas para Adubação Verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. *R. Bras. de Ci. do Solo*. 35:635 - 643.

Trumper, K.; Bertzky, M.; Dickson, B.; Van Der Heijden, G.; Jenkins, M.; Manning, P. (2009) *The Natural Fix The Role of Ecosystems in Climate Mitigation*. United Nations Environment Programme. UNEP-WCMC, Cambridge.

Tryon, E.H. (1948) Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. *Ecol Monogr*. 18:81-115.

USDA (2014) Economic Research Service. Average U.S. farm prices of selected fertilizers. Disponível em: <http://www.ers.usda.gov/data-products/fertilizer-use-and-price.aspx#.Url-ZLScE1c> Acessado em 24/12/14.

Vaccari, F.P.; Baronti, S.; Lugato, E.; Genesio, L.; Castaldi, S.; Fornasier, F.; Miglietta, F. (2011) Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*.

- Van Zwieten, L.; Kimber, S.; Morris, S.; Chan, Y.K.; Downie, A.; Joseph, S.; Cowie, A. (2010a) Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil*. 327:235-246.
- Van Zwieten, L.; Kimber, S.; Morris, S.; Downie, A.; Berger, E.; Rust, J.; Scheer, C. (2010b) Influence of biochars on flux of N₂O and CO₂ from Ferrosol. *Australian Journal of Soil Research*.; 48:555-568p.
- Ventura, M.; Sorrenti, G.; Panzacchi, P.; George, E.; Tonon, G. (2013) Biochar Reduces Short-Term Nitrate Leaching from A Horizon in an Apple Orchard. *J. Environ. Qual.* 42:76–82.
- Verheijen, F.G.A.; Jeffery, S.; Bastos, A.C.; Van Der Velde, M.; Dias, I. (2010) *Biochar Application to Soils – A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions*, European Commission, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Vieira, H.; Chaves, L.H.G.; Viégas, R.A. (2008) Acumulação de nutrientes em mudas de moringa (*Moringa oleifera* Lam) sob omissão de macronutrientes. *Rev. Ciên. Agron., Fortaleza*. 39 (01): 130-136.
- Vilela, V.A.A.; Soares, A.G.; Martins, R.C.; Pires, A.M.M.; Andrade, C.A. (2013) Estabilidade do Carbono Presente na Cama de Frango e em seu Respetivo Biocarvão Após Aplicação no Solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, Ciência do Solo: para quê e para quem: Anais. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 4p.
- Vilela H. (2015) Série Leguminosas Tropicais – Gênero *Mucuna* (*Mucuna pruriens* - *Mucuna Preta*). *Agronomia O porta da ciência e tecnologia*. Disponível em: http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_leguminosas_tropicais_mucuna.htm Acessado em 19/05/2015.
- Vilela, L.; Sousa, D.M.G.; Silva J.E. (2004) Adubação potássica. In: Sousa, D.M.G. Lobato, E. (Eds.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 169-183p.
- Wardle, D.A.; Zackrisson, O.; Nilsson, M.C. (1998) The charcoal effect in boreal forests: mechanisms and ecological consequences. *Ecologia*. 115:419-426.
- Warnock, D.D.; Lehmann, J.; Kuyper, T.W.; Rillig, M.C. (2007) Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant Soil*. 300:9-20.
- Wolt, J.D. (1994) *Soil solution chemistry: applications to environmental science and agriculture*. New York: John Wiley, 345p.

- Wutke, E.B. (1993) Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: Wutke, E.B.; Bulisani, E.A.; Mascarenhas, H.A.A. (Coords.) Curso sobre adubação verde no instituto agrônômico, Campinas: Instituto Agrônômico, 17-29 p. (Documentos IAC, 35)
- Woods, W.I.; Denevan, W.M. (2009) Amazonian Dark Earths: the first century of reports. In Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision (ed. W. I. Woods et al.). Springer, Berlin, 1-14p.
- Yao, F.X.; Arbestain, M.C.; Virgel, S.; Blanco, F.; Arostegui, J.; Macia-Agullo, J.A.; Macias F. (2009) Simulated geochemical weathering of a mineral ash-rich biochar in a modified soxhlet reactor. Chemosphere. 80:724-732.
- Zimmerman, A.R. (2010) Abiotic and microbial oxidation of laboratory produced black carbon (biochar). Environ. Sci. Technol. 44:1295-1301.