



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

RAÍ REBOUÇAS CAVALCANTE

**EFEITO DA ADIÇÃO DE DOSES DE BIOCARVÃO NO MOVIMENTO DE ÍONS EM COLUNAS DE
SOLO**

FORTALEZA

2017

RAI REBOUÇAS CAVALCANTE

EFEITO DA ADIÇÃO DE DOSES DE BIOCÁRVÃO NO MOVIMENTO DE ÍONS EM COLUNAS DE SOLO.

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C364e Cavalcante, Raí Rebouças.
Efeito da adição de doses de biocarvão no movimento de íons em colunas de solo / Raí Rebouças Cavalcante. – 2017.
47 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, , Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa.

1. Biocarvão. 2. Lodo de esgoto. 3. Fibra de coco. I. Título.

CDD

RAÍ REBOUÇAS CAVALCANTE

EFEITO DA ADIÇÃO DE DOSES DE BIOCÁRVÃO NO MOVIMENTO DE ÍONS EM COLUNAS DE SOLO

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como Trabalho de Conclusão de Curso.

Orientador: Prof. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa

Co-orientador: Dra. Marilena de Melo Braga.

Aprovada em: 07 de junho de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Marilena de Melo Braga (Co-orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Lindbergue Araujo Crisóstomo
Embrapa - Agroindústria Tropical

*Aos meus pais e minhas irmãs,
Ozanira (In memoriam), Raimundo
e Renata, Rejane,
pelo apoio, amor e carinho que sempre tiveram comigo,
desde pequeno até hoje, vocês foram fundamentais na minha formação.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, sem ele nada seria possível, agradeço por ter me guiado em bons caminhos, sempre que estive ao meu lado em todas as minhas vitórias e derrotas, sempre atendendo minhas orações, e me dando sabedoria para alcançar meus objetivos.

À minha Mãe (*In memoriam*), por ter abdicado de seus objetivos em prol dos filhos, por ter sempre acreditado em mim, desde pequeno, hoje tudo que sou é resultado do seu amor e carinho. Essa vitória é nossa, mesmo você não estando fisicamente ao meu lado.

Ao meu Pai, sempre apoio da sua maneira minhas decisões, deu os melhores conselhos e foi o principal parceiro do dia a dia nesses últimos 6 anos.

À minha Irmã Rejane e ao meu cunhado Daniel, meus segundos Mãe e Pai, por terem ajudado a construir meu caráter, são responsáveis pelo meu amadurecimento. O homem que me tornei é resultado da criação que vocês me deram, além de ter seguido a mesma profissão de Engº Agrônomo do meu segundo Pai.

À minha irmã Renata, por ter acreditado e incentivando o meu estudo, desde pequeno me lembro de você me ensinando tabuada e a ler, você foi a pessoa que estive ao meu lado na tão sonhada matrícula da UFC, você chorou ao meu lado e não poderia deixar de agradecer a todos os momentos bons que tivemos juntos.

Ao meu grande amigo Marley Alencar, sua amizade fiel e honesta eu vou levar para o resto da vida, somos amigos desde os 7 anos, mesmo, as vezes, distantes sinto que sempre poderei contar com sua amizade, agradeço por tudo, principalmente, por ter colaborado com as Xerox tiradas gratuitamente.

Ao meu querido Jefferson Cândido, Deus colocou você no meu caminho, em todos os momentos, bons ou ruins, você estive ao meu lado, ajudando-me nos experimentos na UFC, ou me levando ao cinema nos dias que estava mais estressado, você é um excelente companheiro, agradeço pelo amor e paciência que sempre dedicou a mim.

À Universidade Federal do Ceará e todos os professores que a compõe, por ser o instrumento que possibilitou a concretização de um sonho e pela oportunidade ímpar de conhecimento a mim disponibilizado.

Ao Pesquisador Dr. Lindbergue, por ser meu co-orientador, o qual possuo grande admiração. obrigado por me ajudar a construir mais uma etapa da minha vida e por me enriquecer com todos os seus conhecimentos.

A Dra. Marilena Braga, por ter aceitado me orientar, que além de ser orientadora, se tornou minha amiga pessoal, espero poder levar sua amizade para sempre.

Ao Prof. Dr. Márcio Cleber, por aceitar me orientar pedagogicamente, e ajudado a construir esse sonho.

Ao meu grande amigo de curso Francisco Neres por ter me acompanhado desde o início da universidade, você foi grande apoiador das minhas decisões, sempre me ajudando nas disciplinas mais difíceis, em noites de estudos e colocando meu nome nas listas de presença, você é um amigo que levarei pra vida.

As minhas amigas, Ligia, Dani, Karina, Beatriz.A, Aline, Beatriz L, por mesmo morando em estados diferentes, vocês não deixaram de mandar energia positiva, e de acreditar nos nossos sonhos, agradeço a amizade de vocês.

Aos meus amigos do Ciências Sem Fronteira, Roseana, Marina, Júnior, Iago, Pedro, Miriane, Robson, Mary-Poitie, Paula, vocês participaram da minha vida acadêmica e acrescentaram coisas boas na minha história. Saudades da França.

A todos os meus amigos de graduação, que me acompanharam nessa trajetória tão importante da minha vida, muito obrigada pelas risadas, trabalhos, viagens, debates, avaliações, comemorações e por sempre me incentivarem. Foram os melhores anos da minha vida!

Agradeço a todos que de alguma forma colaboraram com a realização desse trabalho!

RESUMO

O uso de resíduos pirolisados, conhecidos por biocarvão, é uma opção viável para melhoria das características químicas do solo, além de poder reduzir as emissões de gases de efeito estufa. O Biocarvão pode ser produzido através das mais variadas fontes de biomassa, no entanto, a sua qualidade muda conforme a natureza da biomassa. A produção de resíduos urbanos e industriais em grandes centros urbanos causam diversos problemas de poluição e são considerados passivos ambientais com potenciais de contaminação do solo e da água. A destinação final da Fibra de coco e do Lodo de Esgoto, atualmente, vem causando esses problemas supracitados em regiões metropolitanas como Fortaleza, diante disso, esse trabalho teve como objetivo avaliar a movimentação de íons ao longo de colunas de solo, após a aplicação de doses de biocarvão, submetidas à percolação com água, além de verificar o efeito sobre os valores de pH e condutividade elétrica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na EMBRAPA - Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de biocarvão (0; 5; 10; 20 e 40 Mg ha⁻¹) e dois ciclos de percolação (30 e 60 dias), totalizando 40 parcelas experimentais.

Palavras-chave: Biocarvão, Lodo de Esgoto, Fibra de Coco.

ABSTRACT

The use of pyrolyzed residues, known as biochar, is a viable option for improving the chemical characteristics of the soil, as well as being able to reduce the emissions of gases from the effect of agricultural soils. Biochar can be produced through the most varied sources of biomass, however, its quality changes according to the nature of the biomass. The production of urban and industrial waste in large urban centers causes several pollution problems and are considered environmental liabilities with potential for contamination of soil and water. The final destination of Coconut Fiber and the Sewage Sludge has been causing these problems in metropolitan areas such as Fortaleza, in order to evaluate the movement of ions along soil columns, after the application of Doses of biochar, submitted to percolation with water, besides verifying the effect on the values of pH and electrical conductivity. The experiment was conducted in a greenhouse at EMBRAPA - Tropical Agroindustry, in Fortaleza / CE. The experimental design was the completely randomized, in a 5 x 2 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of five doses of biochar (0, 5, 10, 20 and 40 Mg ha⁻¹) and two percolation cycles (30 and 60 days), totaling 40 experimental plots.

Keywords: Biochar, Sewage Sludge, Coconut Fiber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Design da fornalha duplo tambor caseira.....	24
Figura 2 Tubo de PVC revestido com areia grossa.....	26
Figura 3 CAP de PVC com dreno metálico.....	26
Figura 4 Solo acondicionado na coluna.....	27
Figura 5 – Solo incubado com saco plástico.....	28
Figura 6 Coleta de água percolada	28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Variação da condutividade elétrica dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão fibra de coco.....	31
Gráfico 2	– Variação do pH em função das doses de biocarvão fibra de coco.....	32
Gráfico 3	– Variação dos níveis de Na dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão fibra de coco	33
Gráfico 4	– Variação dos níveis de K dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão fibra de coco	34
Gráfico 5	– Variação dos níveis de P dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão fibra de coco	35
Gráfico 6	– Variação da condutividade elétrica em função das doses de biocarvão de lodo de esgoto	37
Gráfico 7	– Variação do pH em função das doses de biocarvão de lodo de esgoto.....	38
Gráfico 8	– Variação dos níveis de Na em função das doses de biocarvão de lodo de esgoto.....	39
Gráfico 9	– Variação dos níveis de Na em função dos dois ciclos de percolação.....	39
Gráfico 10	– Variação dos níveis de K dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão lodo de esgoto.....	40
Gráfico 11	– Variação dos níveis de P dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão lodo de esgoto.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos químicos do solo	23
Tabela 2 – Caracterização Física, Fisioquímica e Química dos biocarvões de fibra de coco e de lodo de esgoto.....	25
Tabela 3 – Resumo da análise de variância dos efeitos das doses de biocarvão de fibra de coco, dos dois ciclos de percolação e das interações entre dois fatores.....	30
Tabela 4 – Médias das variáveis C.E, pH, Na, K e P dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão de lodo de esgoto.....	30
Tabela 5 – Resumo da análise de variância dos efeitos das doses de biocarvão de lodo de esgoto, dos dois ciclos de percolação e das interações entre dois fatores	36
.....	
Tabela 6 – Médias das variáveis C.E, pH, Na, K e P dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão de lodo de esgoto.....	36

–

–

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Origem do estudo sobre Biocarvão.....	16
2.1.1 Importância do Biocarvão.....	16
2.2 Fontes de biomassa.....	17
2.2.1 Fibra de Coco como fonte de biomassa.....	18
2.2.2 Lodo de esgoto como fonte de biomassa.....	19
2.3 Uso de biocarvão na agricultura.....	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 Localização e características da área experimental.....	22
3.2 Solo.....	22
3.3 Biocarvões.....	22
3.4 Delineamento experimental	25
3.5 Instalação e condução do experimento.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
3.1 Biocarvão de Fibra de Coco.....	30
3.2 Biocarvão de Lodo de Esgoto.....	35
CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Os estudos da Terra Preta de Índio (TPI) foram às propulsoras para o início das pesquisas do biocarvão no mundo, pois essa terra apresentava elevado conteúdo de carbono pirogênico, além de apresentar alta fertilidade do solo. Os benefícios da adição do biocarvão à qualidade do solo incluem maior retenção de água no mesmo, menor lixiviação de nutrientes, aumento da atividade micorrízica, conseqüentemente, o aumento na produtividade das culturas (WARNOCK, 2007),

O biocarvão (biochar) é obtido por meio do processo de pirólise de biomassas. Devido à facilidade e ao baixo custo de produção, esse produto se tornou uma poderosa ferramenta mitigadora no destino final dos resíduos orgânicos, uma vez que esse produto tem a capacidade de sequestrar carbono, e promover melhorias nas propriedades químicas, físicas e microbiológicas do solo. As fontes de biomassas do biocarvão são variadas, segundo Baldock&Smernik, (2002), diversas matérias primas podem ser utilizadas para a produção de biocarvão, porém, a qualidade do biocarvão produzido será de acordo com a natureza da biomassa. Grandes centros urbanos possuem a capacidade de produzir elevado volume de resíduos, que não tem destinação final adequada, esses resíduos são fontes interessantes de biomassa, normalmente, depositadas em grandes aterros sanitários ou incinerados. Uma alternativa para uso desses resíduos urbanos é a aplicação na agricultura na forma de biocarvão, uma vez que o processo de pirólise proporciona uma massa final menor que inicial e o produto formado pode ser utilizado como condicionador de solo.

Dentre os resíduos gerados nos grandes centros urbanos, destacam-se nesse estudo: lodo de esgoto e a fibra de coco verde; devido ao potencial de uso agrícola.

Atualmente, no Brasil, a produção de coco verde é de 1.751.964 Mg ao ano (IBGE, 2017), gerando aproximadamente 1.401.571 Mg de fibra do coco. Esse resíduo produzido pela agroindústria do coco é aproveitado parcialmente pela indústria automobilística, porém, ainda é considerada causadora de problemas ambientais, pois a maior parte de sua produção tem como destino final aterros sanitários. A fibra de coco é uma fonte de biomassa com excelente potencialidade de ser convertida em biocarvão (ANDRADE et al 2004). O aproveitamento da fibra de coco é viável por ser fibra quase inerte e ter alta porosidade, facilidade de produção, baixo custo e alta disponibilidade (SAMPAIO et al., 2008).

Como todo resíduo urbano, o lodo de esgoto é causador de problemas ambientais quando não é destinado corretamente, em razão da grande quantidade geradas desse material

nas estações de tratamento de esgoto. A busca de alternativas que viabilizem sua melhor destinação é incessante, atualmente as principais opções de disposição de lodo no ambiente são disposição no solo (em uso agrícola, áreas de recuperação e sistemas florestais), disposição em aterro, disposição no mar ou incineração. A pirólise é uma prática que pode ser empregada para o aproveitamento do lodo de esgoto como biomassa. (PEDROZA et al., 2010), visto que, tal material é uma importante fonte de matéria orgânica

Considerando a pertinência desta problemática, objetivou-se avaliar a movimentação de íons ao longo de colunas de solo, após a aplicação de doses crescentes de biocarvão, submetidas à percolação com água, além de verificar o efeito sobre os valores de pH e condutividade elétrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Origem do estudo sobre Biocarvão.

O biocarvão surgiu através de estudos da matéria orgânica da Terra Preta de Índio (TPI), nos solos amazônicos antropogênicos, com excelentes características agronômicas e ambientais, com elevada fertilidade e o alto conteúdo de carbono de origem pirogênica. As TPI apresentam grande volume de carvão resultante das práticas agrícolas executadas pelos índios da região amazônica. (MAIA, 2010).

A fertilidade desses solos era mantida através da adição de lixo doméstico, carcaças dos animais, carvão, cinzas, compostos orgânicos e outros materiais que eram depositados ao solo (TEIXEIRA, 2009). Acredita-se que o carvão se originou de queimas periódicas de lavouras e resíduos da atividade diária previamente carbonizada, incorporado ao solo pelos índios e pela atividade biológica (PETTER, 2010). O entusiasmo em torno do tema TPI, levou à criação da associação mundial intitulada Iniciativa Internacional do Biocarvão (IBI), que movimenta pesquisas mundiais acerca do tema (REZENDE, 2011).

2.1.1 Importância do Biocarvão.

As fontes de energia renováveis são a forma mais ambientalmente viável para produção e estudo do Biocarvão (Biochar) no mundo, sendo ele subproduto da indústria de bioóleo, o biocarvão é resultado da pirólise rápida de biomassas (LABEGALIN, 2013).

O biocarvão é qualquer material rico em carbono obtido de biomassa carbonizada sob baixa atmosfera de oxigênio, constituído por materiais ligno-celulósicos carbonizados por meio de processo de decomposição térmica na ausência total ou parcial de oxigênio, podendo ser aplicado ao solo (LEHMANN; JOSEPH, 2009).

Segundo Labegalin (2013), a pirólise é um processo de oxirredução da biomassa, que produz o carvão através da sua redução. Outros produtos também são formados através da oxidação e hidrólise como fenóis, acetonas, ácido carboxílico, entre outros. (ISAHAK, et al., 2012). A pirolise tem por objetivo a produção de bioóleo, um produto líquido de coloração escura, seu subproduto sólido é composto de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarbonetos leves. O Biocarvão produzido representa certa de 25% da massa total da biomassa utilizada no processo (LABEGALIN, 2013).

Rezende et al. (2011), afirmam que para se obter um bom biocarvão deve apresentar

estrutura interna inerte e estrutura periférica reativa, desta maneira sua estrutura inerte tem a capacidade de armazenar Carbono (C) no solo, e sua estrutura reativa pode atuar como a matéria orgânica natural do ambiente. Essa característica confere ao Biocarvão a promoção da estruturação do solo, retendo água da chuva e de irrigação, controle do pH do solo e a retenção de íons metálicos, nutrientes de plantas ou tóxicos a ela.

2.2 Fontes de Biomassa.

Diversas matérias primas podem ser utilizadas para a produção de biocarvão, no entanto, a natureza da biomassa é um fator que interfere na condição final do produtor (BALDOCK & SMERNIK, 2002). A quantidade de carvão produzido pela queima depende da biomassa, da temperatura e tempo de queima. Durante a conversão térmica, os minerais e esqueletos de carbono ajudam a manter a estrutura rudimentar e porosidade do material original (WILDMAN ET AL., 1991).

Segundo Maia (2010) nem todo carvão produz os mesmos efeitos no solo, se considerarmos a grande diversidade das características da biomassa e das condições de pirólise. Diversos autores encontraram resultados satisfatórios utilizando diferentes fontes de biomassa na conversão térmica do biocarvão, como biomassa de café (*Coffeasp.*), arroz (*Oryza sativa*), cana-de-açúcar (*Saccharumofficinarum*), soja (*Glycinemax*), feijão(*Phaseolusvulgaris*), e milho (*Zeamays*). Esses resíduos vegetais apresentam alta umidade, baixa densidade e grande volume, deste modo, demandando grandes espaços para estocagem e tratamento dos mesmos, excelentes resultados foram encontrados no processo de combustão desses resíduos como fonte de biomassa na produção de biocarvão, reduzindo assim o volume final. (PAULA, 2010).

Labegalini (2016) testou a torta de pião manso (*Jatropha curcas*) como fonte de biomassa na produção de biocarvão através do processo de pirólise rápida, e comparou a absorção de contaminantes em relação a carvões ativados, obtendo excelentes resultados. Restos culturais do dendezeiro (*Elaeisguineensis*) usados na produção de biocavão por pirólise lenta em diferentes temperaturas apresentou resultados satisfatórios quanto ao poder calorífico do material. (SUKIRAN, 2011)

2.2.1 Fibra de Coco como fonte de biomassa.

Segundo Fontes & Wanderley (2010), 80% da produção mundial de coco se concentra no continente asiático, o restante encontra-se nos continentes africanos, latino-americanos, Oceania e Caribe. O Brasil produziu 1.751.964 Mg de coco verde no ano de 2016, sendo o Nordeste responsável por 76,2% dessa produção. Salienta-se que o estado do Ceará ficou na segunda colocação, com quase 14% da produção nacional (IBGE 2017).

Segundo Rosa et al (2002), 80% a 85% do peso bruto do coco verde é representado pela casca, ou seja, fibra do coco, deste modo, percebe-se que a produção de resíduo sólido de coco no Brasil foi de 1.401.471 Mg. Esse valor é elevado, visto que não há uma adequada destinação para esse resíduo. Vale et al. (2004) informam que, no Brasil até aquele ano, apenas 10% das cascas de coco são reaproveitadas. No processo de desfibramento um coco fornece cerca de 70 gramas de fibra, no entanto somente 25% da casca é revertida em fibras aproveitáveis, o restante é formado principalmente por fibras de comprimento reduzido e pó de coco que têm sido utilizados experimentalmente como adubo (DUARTE; IMAI; NII, 2009).

Segundo Figueira (1995), o reaproveitamento dos resíduos do coco garantem uma contribuição a preservação do meio ambiente, já que a decomposição do mesmo leva mais de oito anos para acontecer na natureza. O consumo dessa fruta em grandes centros urbanos, como Fortaleza, se encontra relacionado a uma situação de alta geração de rejeitos, provocando acúmulo de resíduo sólido que acarreta problemas na gestão urbana ou rural, gerando mais despesas a serem financiadas pela própria sociedade (SENHORAS, 2004). Outro problema são as cascas do coco servirem de abrigo e alimento para ratos, baratas, mosquitos e moscas, que são vetores de doenças (SILVEIRA, 2008).

Percebe-se que a produção de resíduos oriundos do coco de agroindústrias é extremamente expressiva, com potencialidade de gerar grandes problemas ambientais e de saúde pública, tendo em vista está problemática, diversos estudiosos buscam possíveis formas de reuso desse resíduo. A crise energética, ocorrida nos últimos anos, impulsionou a revalorização das fibras naturais como alternativa às fibras sintéticas. A razão da revalorização da fibra do coco está relacionada com sua abundância na natureza, a origem renovável, o fácil processamento e o baixo custo, que caracterizam vantagens em relação aos problemas ambientais consequentes do uso de fibras sintéticas (SANTOS, 2006).

Segundo Van DanJEG.(1999), a fibra do coco possui altas propriedades mecânicas específicas, biodegradabilidade, reciclabilidade, baixa densidade, não-abrasividade, baixo consumo de energia, facilidade de modificação perante agentes químicos, baixo custo, apresenta uma elasticidade superior a outras fibras vegetais, além de uma elevada capacidade de resistir à umidade e a altas variações nas condições climáticas (PANNIRSELVAM et al., 2005), sua constituição é basicamente a base de materiais lignocelulósicos, formada de celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. (PASSOS, 2005),

Utilizada na fabricação de diversos artigos como vestuário, tapetes, sacaria, almofadas, outro setor que se beneficia desse resíduo, é o automobilístico com a confecção de estofamento para assentos de carros e caminhões, com qualidade superior à das fibras sintéticas, DO VALE, et al.(2004), no entanto a fibra de coco perdeu espaço para poliuretano nos anos de 1990. Atualmente, o setor de maior representatividade é o de paisagismos e jardinagem graças a sua adaptabilidade. Outras possíveis aplicabilidades da fibra de coco-verde encontram nos setores moveleiro, calçadista, design de objetos para o lar, combustíveis, papelreira, embalagens, construção civil e filtros industriais (SANTOS, 2006).

Outra forma de reutilização da fibra do coco é a produção de sacos feitos de fibra usados para o armazenamento de substrato e germinação de mudas, substituindo sacos de plástico. (ENGEPLAS, 2016). A fibra da casca de coco verde também é utilizada na preparação de substratos para cultivo de mudas. A fibra de coco deve ser adicionada de adubos de acordo com as necessidades da espécie cultivada, já que a fibra não possui os nutrientes suficientes. (CARRIJO et al., 2002).

Outro aproveitamento é a produção de carvão ativado a partir do endocarpo lenhoso seco do coco, conforme descrito por (SATYA SAI, 1997) e (SANTIAGO E SELVAM (2007). O endocarpo também pode ser aproveitado na produção de carvão vegetal, com o advento da técnica de pirólise, como foi demonstrado no trabalho de (ANDRADE ET AL., 2004). Do Vale et al. (2014) testou a qualidade do biocarvão produzido de fibra de coco verde e fibra de coco maduro e constataram que o biocarvão apresenta características positivas quanto sua aplicação na agricultura.

2.2.2 Lodo de Esgoto como fonte de Biomassa.

Com o desenvolvimento de grandes centros urbanos como Fortaleza, concomitantemente ocorre à geração e acúmulo de resíduos, que muitas vezes não possui tratamento correto e acabam poluindo o meio ambiente. Entre esses resíduos, o Lodo de Esgoto (LE) é originado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) destinadas à realização do tratamento de esgotos, sejam eles domésticos ou industriais (SILVA et al.,2004). Os tratamentos realizados na ETE resultam na geração, entre outros produtos, de um resíduo sólido, representado pelo acúmulo de sólidos suspensos, chamado de Lodo de Esgoto (LE) ou biossólido. Quando é realizado o tratamento das águas do esgoto corretamente, o processo se origina o biossólido (SILVA, et al., 2001) que é um produto higienizado, estabilizado e desidratado (MELO, et al., 2000).

Conforme Ceolato (2007), no LE geralmente são encontrados microrganismos que são responsáveis pela degradação de matéria orgânica presente no esgoto, e dado ao elevado potencial poluidor dever ser disposto de forma correta. Deste modo, a aplicação direta no solo de lodo “fresco” não é a melhor forma, pois a atividade microbiana pode retirar todo o oxigênio do solo, tornando-o impróprio para cultivo (CALDEIA, 2012). Segundo Vanzetto (2012), o lodo de esgoto antes de ser tratado é composto por todos os poluentes provenientes dos esgotos da comunidade, estando normalmente presentes, além da matéria orgânica, agentes patogênicos, metais tóxicos e contaminantes orgânicos variados. A Resolução Nº 375 de 29 de agosto de 2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodo de esgoto abrangendo aspectos relacionados aos parâmetros de qualidade do resíduo e às características dos locais de aplicação).

Tendo em vista essas informações, a aplicação do lodo de esgoto na agricultura deve ser planejada, para que não ocorram problemas de contaminação por agentes patogênicos, alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e metais pesados (BOWER; IDELOVITCH, 1987). Caballero et al. (1997) relataram que uma maneira de eliminar a presença de microrganismos patogênicos é o tratamento por pirólise do lodo de esgoto, que promove a eliminação de contaminantes orgânicos perigosos. Deste modo, devemos dar prioridade ao uso de resíduos industriais e urbanos como fonte de biomassa, pois, além de diminuir o problema ambiental, geralmente são uma garantia de fornecimento de matéria-prima a longo prazo e baixo custo. (CALDEIA, et. al., 2012).

Quando ambientalmente aplicado ao solo o LE promove a melhora na fertilidade do solo. Os efeitos desse resíduo incluem o aumento do teor de carbono orgânico, Ca, Mg, K, P, S, CTC, além da redução do pH do solo (BEZERRA et al., 2006; SILVA et al., 2001). Segundo Caldeia (2012), o LE possui uma boa quantidade de matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Além disso a matéria orgânica favorece/aumenta a quantidade de húmus contida no solo, melhorando a infiltração de água e a capacidade de armazenamento, também aumentando a resistência dos agregados do solo e reduzindo a erosão (BETTIOL; CAMARGO, 2000).

2.3 Uso do Biocarvão na agricultura.

A aplicação do biocarvão no solo confere diversos benefícios à agricultura como elevação da produtividade devido, principalmente, as alterações nas características físicas e químicas do solo. O biocarvão pode influenciar na textura, estrutura, porosidade, diâmetro dos poros, distribuição granulométrica e densidade do solo (MAIA, 2010). Devido à sua porosidade e superfície específica, pode aumentar a capacidade de retenção de água, porém sua estrutura aromática, que tem características hidrofóbicas, pode reduzir a penetração de água nos espaços porosos dos agregados do solo, que pode conferir melhor estabilidade dos agregados (PETTER, 2010). Segundo Zanetti et al. (2003) quando misturamos ao solo, o fino de carvão ou biocarvão contribui para o aumento da porosidade, aeração e capacidade de retenção de água do solo. Lehmann e Josep (2009) relataram que as melhorias físicas promovidas pelo biocarvão através da sua capacidade de elevar a área superficial do solo, intensificam os processos de retenção e acúmulo de água por capilaridade e aumento a aeração do solo. Outra propriedade encontrada no biocarvão é a sua capacidade de reduzir a necessidade de fertilizantes, redução das lixiviações de nutrientes e, principalmente, o aumento da eficiência agrônômica dos fertilizantes (NOVOTNY ET AL., 2012). Lehmann et al., (2003) apontaram a eficiência do carvão vegetal em aumentar o potencial produtivo do solo, pelo meio do aumento da disponibilidade de nutrientes no solo.

A aplicação do biocarvão, pode elevar o pH do solos, diminuir os teores de Al, elevar a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) (LIANG ET AL., 2006; KARHU ET AL., 2011). Van Zwieten et al. (2010) demonstraram que a aplicação de 10 Mg ha⁻¹ de biocarvão em solo elevou, em três meses, o pH e diminuiu o Al trocável no solo, devido a área superficial com cargas negativas. A elevação da CTC pode ser explicada pela presença de grupos funcionais reativos, dependentes do pH. (CHENG et al., 2008).

Alguns autores apontam a influência do biocarvão na a atividade microbiana: BENITES et al.,(2005) afirmaram que o carvão vegetal apresenta atividade química na sua superfície do solo, proporcionando absorção de compostos orgânicos solúveis, retenção de água e servindo como abrigo para microorganismos do solo. O biocarvão também causa alterações nas comunidades microbianas do solo, aumentando sua biodiversidade e aumento da produtividade agrícola. (NOVOTNY, et al.,2012). O processo de degradação do biocarvão no solo tende a aumentar a atividade microbiana, através do aumento de habitat favoráveis e protegidos (HAMMES&SCHIMDT, 2009).

Outra propriedade importante do biocarvão segundo Maia et al., (2010) é sua capacidade de reduzir diretamente as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE's), com potencial global de sequestro de CO₂ atmosférico. A conversão térmica da biomassa em biocarvão, bem como sua aplicação no solo, aumenta a permanência do C no meio. Comparando-se a aplicação da mesma biomassa não carbonizada ao solo, observa-se que o resultado é uma maior retirada líquida de CO₂ atmosférico (LEHMANN, 2007). O biocarvão aplicado ao solo pode reduzir diretamente as emissões de outros gases do efeito estufa do solo, tais como o óxido nitroso ou metano (YANAI et al., 2007). Biomassas carbonizadas apresentam grupos aromáticos condensados que garantem sua recalcitrância no solo, sendo assim um eficiente material para o sequestro de carbono. (NOVOTNY, 2012)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área experimental

O experimento foi realizado em casa de vegetação da EMBRAPA – Agroindústria Tropical, Fortaleza - CE, coordenadas 3°75'35" de latitude sul e 38°57'35" de longitude oeste de Greenwich, a uma altitude de 19,5 m. O clima da região é do tipo Aw' pela classificação de Köppen, considerado tropical chuvoso com precipitação de verão-outono. A média anual de precipitação é de 1.523 mm, a evapotranspiração potencial é de 1.747,2 mm, a temperatura média anual igual a 26,9°C e a umidade relativa média de 69% (SOUSA et al., 2010). O estudo foi conduzido no período de 17 de março até 15 de junho.

3.2 Solo

Utilizou-se amostras de um Argissolo Vermelho-Amarelo textura arenosa da região de Maracanaú-CE, coletadas da camada superficial (0-20 cm de profundidade). Após a coleta as amostras foram secas ao ar, passadas em peneira com 2 mm de abertura de malha e armazenadas. Antecedendo a implantação do experimento foram realizadas análises para fins de fertilidade de acordo com métodos descritos por EMBRAPA (2009), tais resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo.

Profundidade	pH(CaCl ₂)	MO	P	K	Ca	Mg	Na	H+Al	CTC	V
Cm		g kg ⁻¹	mg kg ^{-1*}				cmol _c kg ⁻¹			%
0 – 20	4,6	-	3,57	0,07	0,08	0,16	0,02	2,56	2,91	12

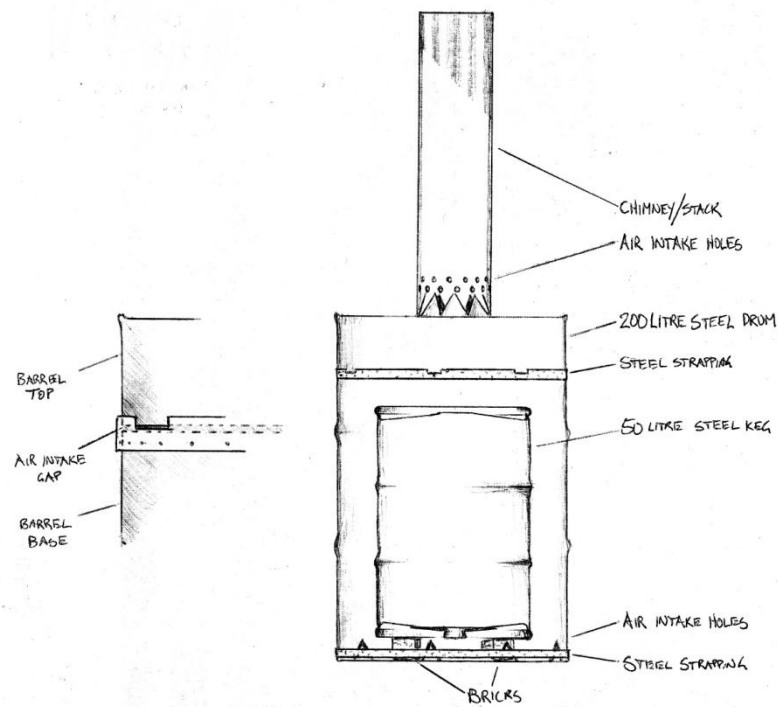
*Fósforo assimilável

3.3 Biocarvões.

Foram utilizados nesse experimento dois biocarvões, um derivado de fibra de coco verde e outro de lodo de esgoto. A matéria prima lodo de esgoto utilizado foi proveniente das estações de tratamento de esgoto da cidade de Fortaleza-CE, fornecido pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) e a fibra de coco utilizada foi doada pela Agroindústria Paraipaba.

O processo de conversão térmica utilizado foi a pirólise lenta, que utiliza baixas temperaturas de aquecimento (2°C/s), baixas temperaturas e tempo de carbonização elevado, foi utilizada uma fornalha caseira do tipo duplo tambor (FIGURA1) no processo de produção do carvão. O armazenamento do biocarvão utilizado foi saco plástico comum para evitar a absorção de umidade. Após o processo de pirólise os carvões foram moídos em moinho manual com objetivo de reduzir o tamanho dos torrões formados, posteriormente foram passados em peneiras de 0,5mm de diâmetro para melhorar a padronização.

Figura 1 – Design da fornalha duplo tambor caseira.



Fonte: <http://shaunsbackyard.com/875/biochar-retort/>

Tabela 2 - Caracterização Física, Físioquímica e Química dos biocarvões de fibra de coco e de lodo de esgoto.

Biocarvão	T°	Temp	CE	pH	Na	K	P	U	Densidade
	°C	Horas	dSm ⁻¹			---- g.kg ⁻¹ ---		%	gcm ⁻³
F.COCCO	400	8	2,79	6,89	2,3	2,90	24,90	0,50	0,39
LODO	400	4	0,84	8,29	1,6	1,9	129,50	0,79	0,85

3.4 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de biocarvão (0; 5; 10; 20 e 40 Mg ha⁻¹) e dois ciclos de percolação (30 e 60 dias), totalizando 40 parcelas experimentais, as quais foram constituídas por colunas de solo com capacidade de 1177,5 cm³.

3.5 Instalação e condução do experimento

Foram instalados dois experimentos com dois biocarvões, um proveniente da fibra de coco e outro do lodo de esgoto, ambos esquematizados no delineamento supracitado e em colunas PVC de 10cm de diâmetro e 15cm de altura, os tubos de PVC foram revestidos internamente com areia grossa e cola (FIGURA 2) e na base inferior foram colocadas Caps de PVC, funcionam como tampa das colunas, que foram perfurados com único furo para a passagem do líquido lixiviado, nesse furo foi instalado um dreno metálico com tela plástica de 1mm para evitar a passagem de solo e instaladas mangueiras de silicone nos bicos de saída de cada coluna para facilitar a coleta do lixiviado (FIGURA 3). As colunas de solo foram fixadas em bancadas e separadas por tratamento. Os lixiviados foram coletados em garrafas plásticas de 300ml separados por ciclo de percolação.

Figura 2. Tubo PVC revestido internamente com areia grossa fixada com cola.



Fonte: Raí Rebouças

Figura 3: Cap de PVC com dreno metálico.



Fonte: Raí Rebouças.

Inicialmente foi planejada a aplicação de 0, 5, 10, 20 40 Mg ha⁻¹ de biocarvão no solo, Foram pesados 1185g do solo, densidade 785,4g cm⁻³, para 10cm de altura, logo foram pesados, proporcionalmente, 3,92; 7,84; 15,68; 31,36 g de biocarvão de fibra de coco e

biocarvão de lodo de esgoto, por tratamento. Para cada experimento foram misturadas as quatro repetições de cada tratamento em quatro amostras de solo, de modo que fossem bem homogeneizadas, após foram adicionadas lentamente, os pesos referentes à soma do peso solo + carvão de cada tratamento, exceto a Testemunha que não recebeu nenhuma dose de biocarvão, cada repetição foi compactada de tal forma que o volume de solo + carvão ocupasse 10 cm da coluna de solo (FIGURA 4).

Figura 4: Solo acondicionado na coluna.



Fonte: Raí Rebouças

O solo foi acondicionado nas colunas de tal forma que o volume de solo ficasse compactado para manter a densidade de $785,4\text{g cm}^{-3}$, realizou-se uma irrigação com 150 mL de água desionizada a fim de que o solo atingisse capacidade de campo. Portanto, deixou-se o excesso de água drenar por ação gravitacional durante dois dias, de modo a se atingir a capacidade de campo (BOEIRA et. al., 2003). Após 30 dias de incubação, iniciou-se o primeiro ciclo de percolação, para isso aplicaram-se 200 mL de água (25,47 mm de chuva) desionizada no solo saturado em cada tratamento, e durante 30 dias. Durante tal período as colunas foram cobertas com sacos plásticos para evitar a evaporação da água (FIGURA 5), após 24 h realizou-se a 1ª coleta de água lixiviados (FIGURA 6).

O solo saturado passou mais 30 dias incubado e coberto com saco plástico, e posteriormente aplicaram-se 50 mL de uma solução de KCl, incubou-se por mais 15 dias e novamente foram aplicados 200 mL de água desionizada (25,47 mm de chuva), após 24 h foi realizada a 2ª coleta de água percolada.

Figura 5 - Solos incubados com saco plástico



Fonte: Raí Rebouças

Figura 6 – Coleta de água percolada.



Fonte: Raí Rebouças

Nos percolados, foram analisados os valores de pH, condutividade elétrica (C.E.), potássio (K), fósforo (P) e sódio (Na) pelo método descrito em EMBRAPA (2009).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Os dados das variáveis qualitativas que apresentaram diferença significativa foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Já nos dados quantitativos foram realizadas análises de regressão. As análises foram realizadas empregando-se o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Biocarvão de fibra de coco

Os resultados referentes ao experimento realizado com biocarvão de fibra de coco indicaram que houve interação significativa entre os fatores dose de biocarvão e ciclos de percolação para as variáveis C.E.; pH; Na; K e P, além disso, ocorreu efeito do fator isolado doses de biocarvão, para a variável pH (Tabela 3).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância dos efeitos das doses de biocarvão de fibra de coco, nos dois ciclos de percolação e das interações entre fatores.

Causas de variação	C.E.	pH	Na	K	P
Doses	180.84**	23.03**	220.141**	308.85**	183,09**
Ciclos	13.14**	2.75 ns	23.913**	11.252**	432,65**
(D x C)	23.78**	2.63 ns	3.269*	7.741**	103,21**
CV (%)	13.40	8,28	16,35	13,38	19,61
Média	1872.04	5.87	79.24	287.18	2,267

** Significativo a 1% de probabilidade, * Significativo a 5% de probabilidade
ns Não significativo pelo teste F.

Tabela 4 – Médias das variáveis C.E, pH, Na, K e P dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão de fibra de coco.

Biocarvão Mg.ha ⁻¹	C.E dSm ⁻¹		pH		Na		K mg.L ⁻¹		P	
	C.1	C.2	C.1	C.2	C.1	C.2	C.1	C.2	C.1	C.2
0	0,82	0,97	4,50	5,60	22,90	12,00	29,50	107,70	0,27	1,91
5	0,89	1,24	5,20	5,10	37,30	33,10	83,80	188,40	0,47	3,24
10	1,35	1,59	5,90	5,50	61,80	49,80	167,10	257,40	0,71	1,00
20	2,30	1,85	6,40	6,60	114,20	86,40	343,40	350,60	0,73	2,26
40	4,71	2,90	6,80	7,10	210,10	164,90	710,30	633,70	1,79	10,21

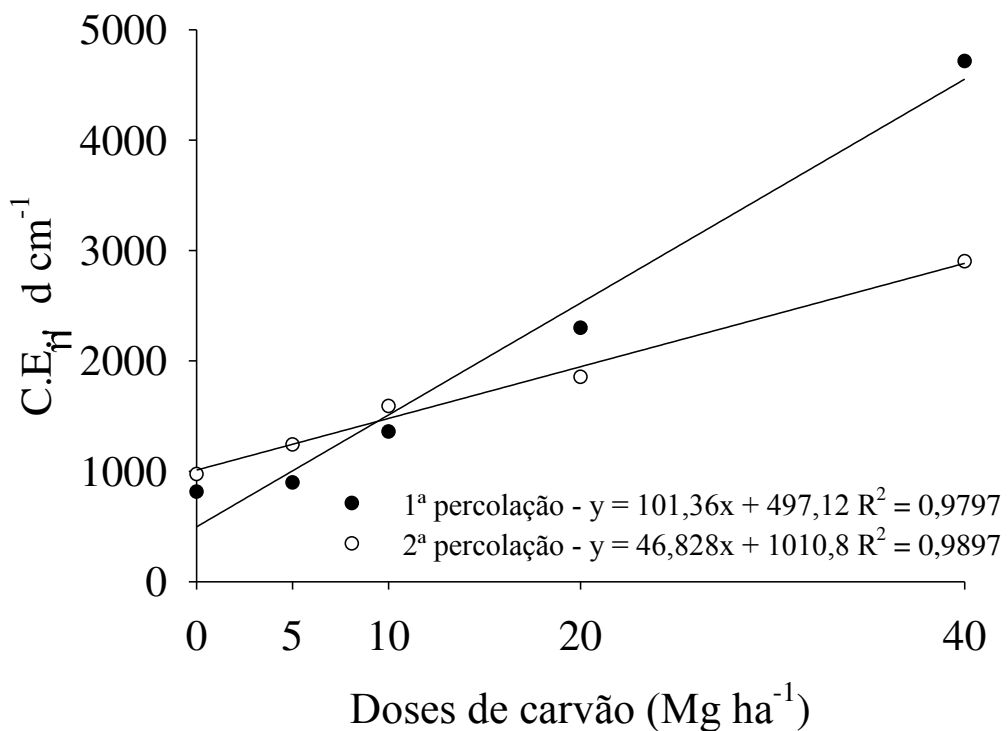
C.1 = 1º ciclo de percolação C.2 = 2º ciclo de percolação

Os valores da condutividade elétrica sofreram aumentos significativos em função dos tratamentos aplicados nos dois ciclos de percolação, no primeiro ciclo de percolação a CE variou de 0,82 a 4,715 dScm⁻¹, em função do aumento das doses de biocarvão, no segundo ciclo de percolação, após a aplicação do KCl, os tratamentos variaram de 0,97 a 2,90 dScm⁻¹ (GRÁFICO 1).

O aumento da condutividade elétrica era esperado quando se aplica biocarvão ao solo, visto que esse material é rico em K e Na, acredita-se que esses são os elementos que mais contribuíram para o aumento nos valores condutividade elétrica. Quando há aumento da quantidade de sais solúveis a disponibilidade de água para a planta tende a diminuir, dado ao aumento da pressão osmótica na solução do solo e inibe o crescimento do vegetal. Tendo em

vista essa informação deve-se monitorar a condutividade elétrica em função das doses de biocarvão. Em um experimento com biocarvão de casca de coco onde foram aplicadas 30 Mg ha⁻¹ de biocarvão condutividade do extrato saturado do solo foi elevada para 4,000 dS/cm, no entrada, esse valor é aceitável, pois o solo não é considerado salino (LIMA, 2016), valores semelhantes foram observados nesse experimento.

Gráfico 1 – Variação da condutividade elétrica dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão fibra de coco.

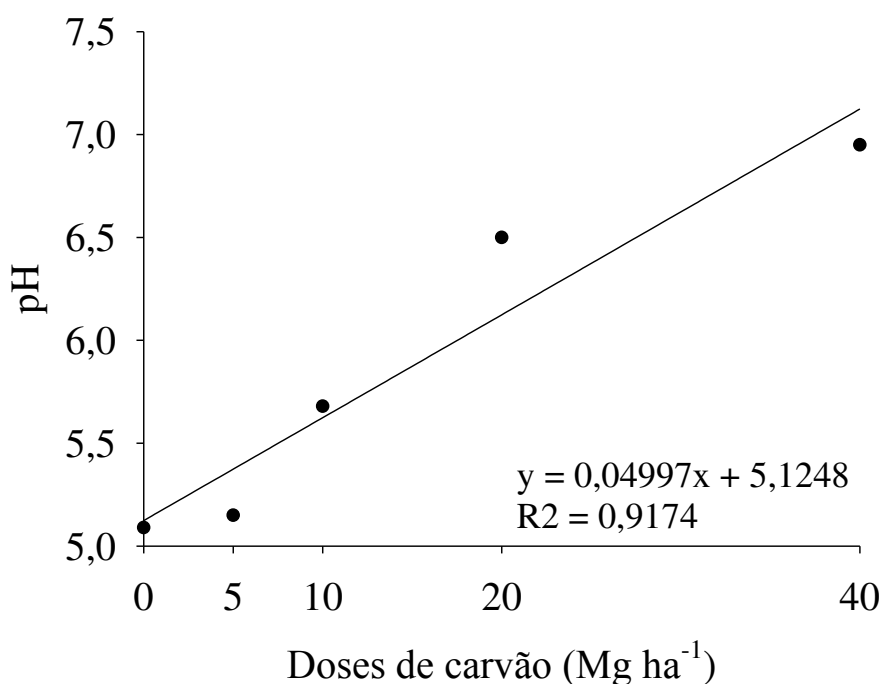


Fonte: Dados da pesquisa.

As doses de biocarvão alteraram o pH do percolado, o tratamento 40 Mg ha⁻¹ apresentou maior valor para essa variável, chegando a 49,31% no pH em relação a testemunha, os valores de pH variaram 4,5 a 6,38 (GRÁFICO 2). Segundo Rezende et al. (2011) o biocarvão possui estrutura periférica (externa) reativa que pode atuar como a matéria orgânica natural do ambiente, promovendo a estruturação do solo com ligações químicas entre o biocarvão e estruturas macromoleculares inorgânicas, retendo e liberando os íons H⁺ e OH⁻ na ação de controle do pH do solo. Com a adição de biocarvão, a capacidade de troca catiônica (CTC) aumentou até 40% e o pH em uma unidade (MIKAN&ABRAMS, 1995). Esse aumento também é explicado pela maior concentração de elementos alcalinos, como

sódio, cálcio e magnésio, favorecida pela crescente volatilização dos elementos hidrogênio, oxigênio e nitrogênio através da pirólise (HOSSAIN et al., 2011). Em experimento com aplicação de 10 Mg ha⁻¹ de biocarvão foi observado efeito do aumento do pH em até 3 meses após sua aplicação em solo arenoso (VAN ZWIETEN et al., 2010).

Gráfico 2– Variação do pH em função das doses de biocarvão fibra de coco.



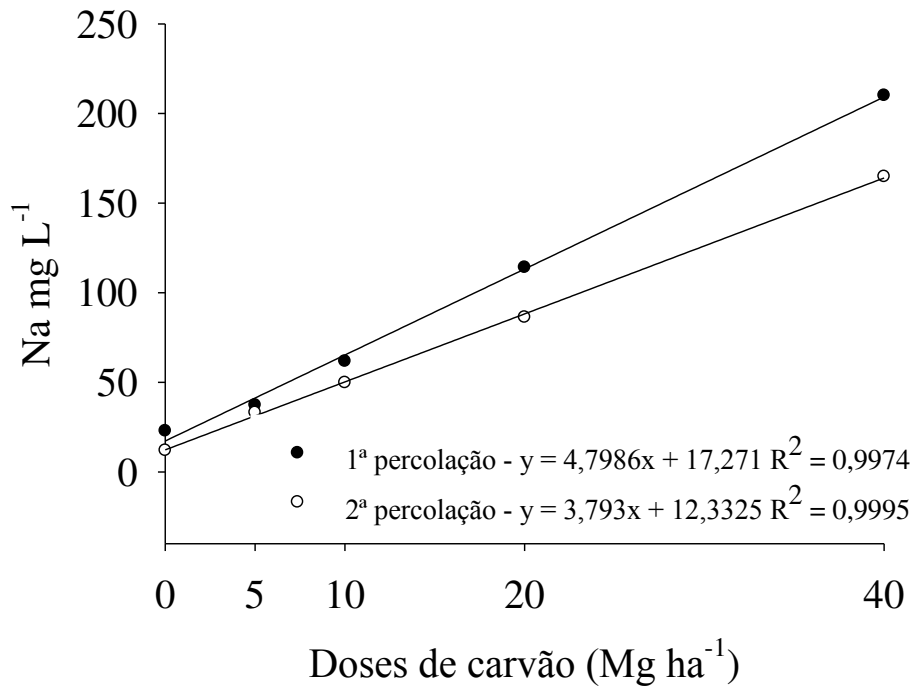
Fonte: Dados da pesquisa.

O conteúdo de sódio no lixiviado foi incrementado em função do aumento das doses de biocarvão de fibra de coco aplicadas, foram obtidas médias de 37,27; 61,8; 114,2; 210,1 mg L⁻¹, respectivamente, nas doses de 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹ do biocarvão, o mesmo aumento do incremento de Na continuou sendo observado no segundo ciclo de percolação em relação as doses de biocarvão, que variaram de 12 a 164,8 mg/L. (Gráfico 3) Ocorreu uma redução da concentração de Na em relação a interação das doses com os ciclos, o segundo ciclo de percolação apresentou teores de Na menores, após a aplicação do KCl, que pode ser explicada pelo efeito da adsorção de alguns íons pelo biocarvão.

O aumento da concentração de sódio é justificável, visto que a matéria prima (fibra de coco) possui elevadas concentrações de sódio, potássio e fósforo, fato esse interessante no que diz respeito a CTC do solo. O incremento de biocarvão de casca de coco no solo aumenta a concentração de Na, no entanto, deve-se controlar esse aumento no solo, pois o mesmo é

responsável em aumentar a condutividade elétrica e tornar o solo salino, como foi discutido anteriormente. (LIMA, 2016),

Gráfico 3– Variação dos níveis de Na dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão fibra de coco.



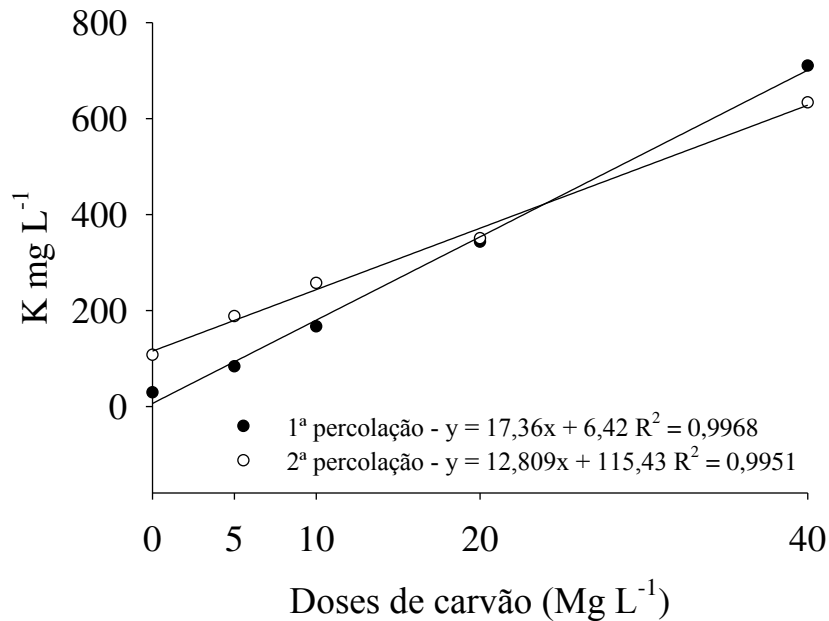
Fonte: Dados da pesquisa.

As análises das águas lixiviadas apresentaram aumento nos níveis de K, no primeiro ciclo de percolação, esse aumento variou de 29,45 a 710,3 mg L⁻¹, no segundo ciclo de percolação, essa variação foi menor, mesmo com a aplicação de KCl no solo, variando de 107,7 a 633,67mg/L (Gráfico 4), conforme foi aumentando as doses de biocarvão essa diferença caiu, os tratamentos 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹ obtiveram apenas 124, 54 e 2% de aumento, enquanto o 40 Mg ha⁻¹ apresentou diminuição da concentração de K após a aplicação de KCl, como podemos ver no Gráfico 4.

As concentrações de K em biocarvão são elevadas, esse fato é observado com o aumento linear nas concentrações de K com aumento das doses de biocarvão de fibra de coco. A redução da concentração de K no segundo ciclo de percolação é justificada pela capacidade de adsorção de certa quantidade de cátions como o K, essa redução nas concentrações de K é observada a longo prazo. (LIMA, 2016). El-Naggar et al. (2015), em experimento de incubação durante 90 dias utilizando diferentes misturas de resíduo de Mangue Botão

(*Conocarpus erectus* L), biocarvão de Mangue Botão e esterco de aves, também verificaram aumento da disponibilidade K em um solo arenoso.

Gráfico 4– Variação dos níveis de K nos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão de fibra de coco.

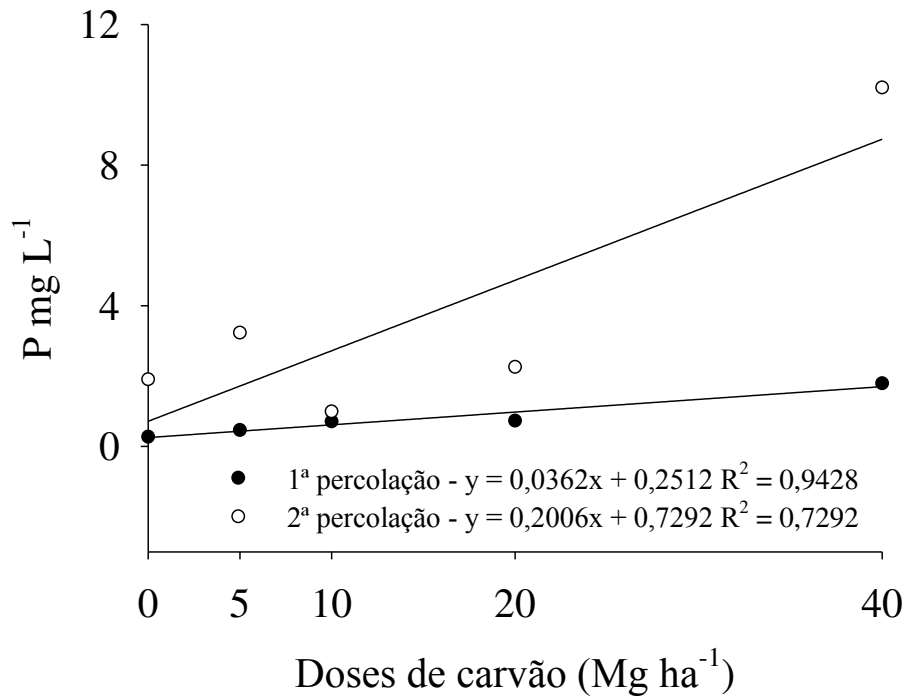


Fonte: Dados da pesquisa.

As concentrações de P também demonstraram respostas ao aumento das doses de biocarvão, em ambos os ciclos de percolação ocorreram aumentos das concentrações de P paralelamente ao aumento das doses de biocarvão, variando de 0,75 a 1,79, e 1,90 a 10,20 mg.L-1, respectivamente. Esse resultado pode estar relacionado com a concentração de P no biocarvão (GRÁFICO 5).

Com a adição do carvão ao solo, dentro de 28 dias, foi identificado aumento do pH e aumento no teor de fósforo e potássio no lixiviado (PETTER, 2010), sendo assim o pH pode interferir diretamente na disponibilidade do P, visto que em determinada faixa de pH determinada faixa ocorre uma maior formação de compostos de baixa solubilidade entre o P (MALAVOLTA, 1979). Aumento do P disponível no solo em resposta a aplicação de biocarvão foi observado por (OLMO ET AL. 2015), em que foi utilizado biocarvão de palha de trigo e poda de oliveira, no entanto, com o aumento das doses de biocarvão ocorreu um aumento do P lixiviado, mostrando ineficiência quando a retenção desse nutriente no solo.

Gráfico 5– Variação dos níveis de P dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão fibra de coco.



Fonte: Dados da pesquisa

3.5 Biocarvão de lodo de esgoto.

As variáveis do experimento de biocarvão de lodo de esgoto K e P apresentaram interação significativa entre esses fatores, além disso, ocorreu efeito dos fatores isolado para a variável Na; já os valores de pH e C.E apresentaram efeito isolado para o fator doses (Tabela 4).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância dos efeitos das doses de biocarvão de lodo de esgoto, dos ciclos de percolação e das interações entre dois fatores. Fortaleza/CE, 2017

Causa de variação	Ce	pH	Na	K	P
	Teste F				
Doses	51,009**	29,539**	123,95**	6,74**	11.50**
Ciclos	0,249 ns	0,012 ns	37,22**	225,72**	203.03**
(D x C)	1,459 ns	1,430 ns	1,00 ns	2,88*	17,51**
CV (%)	24,09	6,65	16,72	24,51	28,11
Média	1481,21	5,0497500	34,85	61,55	1,12

** Significativo a 1% de probabilidade, * Significativo a 5% de probabilidade
ns Não significativo pelo teste F.

Tabela 6 – Médias das variáveis C.E, pH, Na, K e P dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão de lodo de esgoto.

Biocarvão Mg.ha ⁻¹	C.E dSm ⁻¹		pH		Na		K mg.L ⁻¹		P	
	C.1	C.2	C.1	C.2	C.1	C.2	C.1	C.2	C.1	C.2
L.ESGOTO										
0	0,61	0,85	4,58	4,27	18,37	10,95	29,50	107,70	0,25	2,87
5	1,07	0,97	4,30	4,58	27,10	15,37	83,80	188,40	0,38	2,28
10	1,13	1,09	5,12	4,91	28,75	19,5	167,10	257,40	0,46	1,96
20	1,98	1,60	5,33	5,62	51,92	33,82	343,40	350,60	0,44	1,20
40	3,28	2,73	5,96	5,84	76,22	66,5	710,3	633,70	0,51	0,78

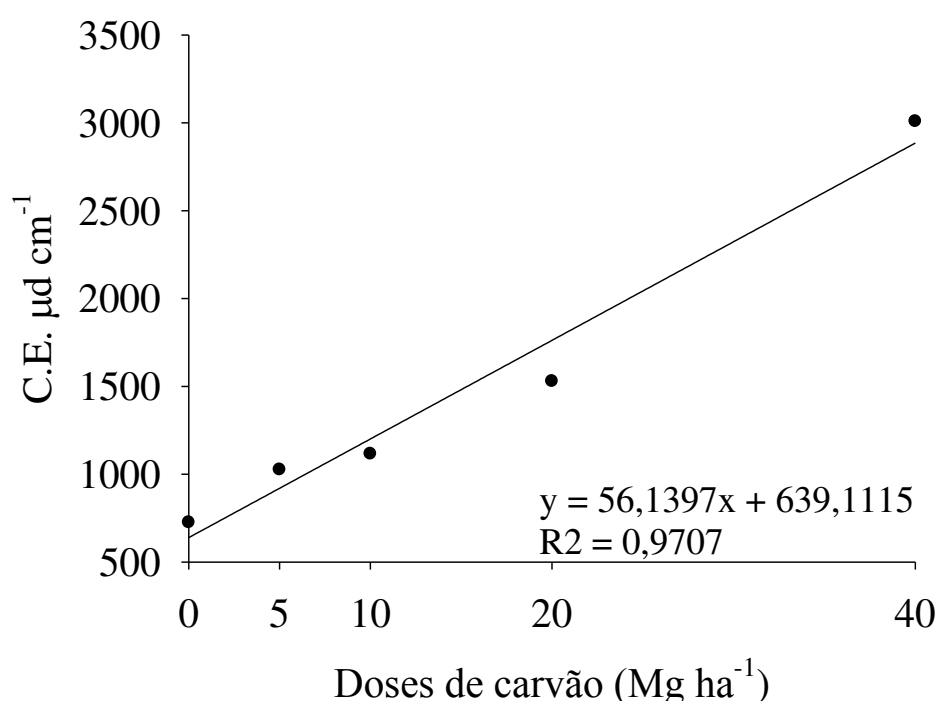
C.1 = 1º ciclo de percolação C.2 = 2º ciclo de percolação

A variável condutividade elétrica no primeiro ciclo de percolação variou de 0,61 a 3,28 dS/cm (GRÁFICO 6), ocorreu aumento linear em função da aplicação biocarvão de lodo de esgoto, não houve diferença estatística significativa entre os valores da condutividade elétrica entre os ciclos de percolação, e também não houve interação entre as doses e os ciclos.

O uso do biocarvão de forma geral tende a aumentar a condutividade elétrica do solo, a intensidade desse aumento depende de inúmeros fatores como: fonte de matéria prima, temperatura de combustão, tempo de residência no processo de queima (YUAN ET AL.,

2011; NOBREGA, 2011). O biocarvão de lodo de esgoto produzido em temperatura mais baixas (~300°C) apresenta uma condutividade elétrica mais elevada que um produzido a temperatura mais elevada (~700°C). A condutividade elétrica diminui conforme aumenta a temperatura de pirólise em biocarvão de lodo de esgoto (Bagreevet al., 2001) Esse fato explica o aumento da condutividade elétrica em função das doses de biocarvão de lodo de esgoto, visto que a temperatura usada na produção do biocarvão de lodo de esgoto foi de 400°C (Tabela 2).

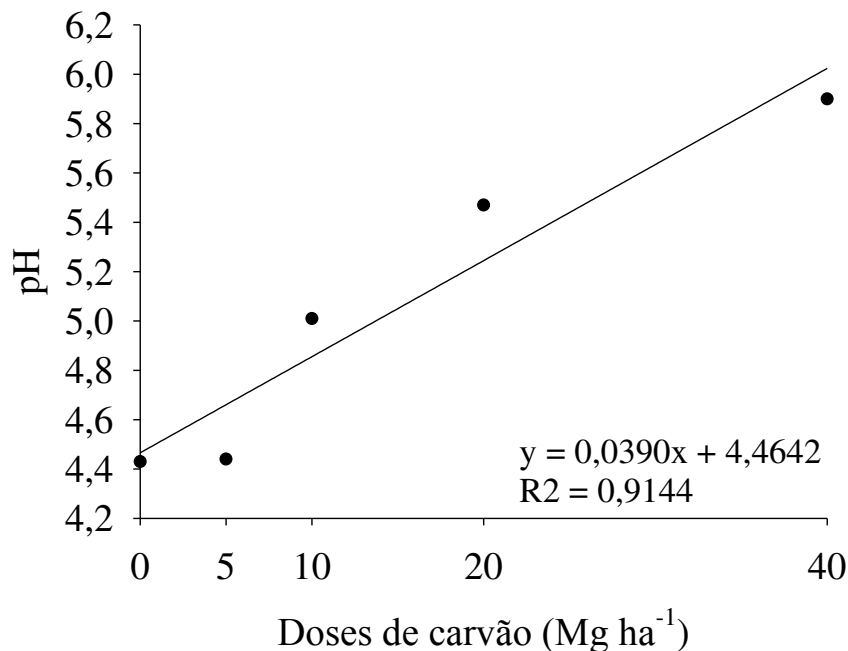
Figura 12– Variação da condutividade elétrica em função das doses de biocarvão de lodo de esgoto



Fonte: Dados da pesquisa.

Foi observado aumento linear do pH da água lixiviada em ambos os ciclos de percolação, esse aumento foi proporcional ao aumento das doses de biocarvão de lodo de esgoto, porém não houve diferença significativa entre os ciclos e entre as doses e os ciclos, ou seja, não houve interação estatística dos valores encontrados. A variação do pH foi de 4,57 a 5,96 (Gráfico 7). Segundo Gaskin et al (2008), é comum verificar um aumento no pH após a transformação do lodo de esgoto em biocarvão, demonstrando efeito alcalinizante desse produto. Esse aumento também é explicado pela maior concentração de elementos alcalinos, como sódio, cálcio e magnésio, favorecida pela crescente volatilização dos elementos hidrogênio, oxigênio e nitrogênio por meio da pirólise (HOSSAINet al., 2011).

Gráfico 7– Variação do pH em função das doses de biocarvão de logo de esgoto.

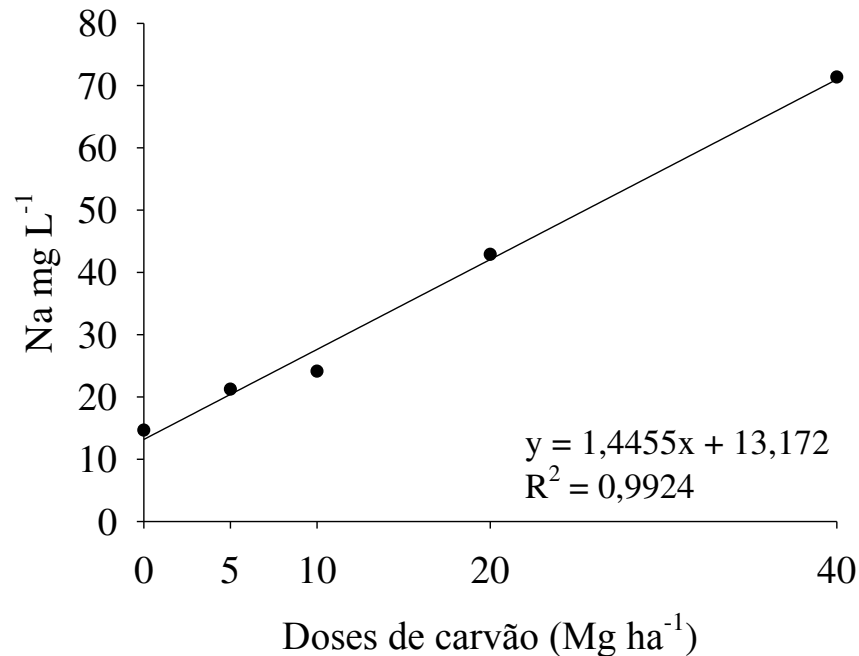


Fonte: Dados da pesquisa.

A concentração de Na aumentou proporcionalmente ao aumento das doses de biocarvão, foram obtidas médias de 18,37; 27,1; 28,75; 51,92; 76,25mg L⁻¹, respectivamente, as doses de 0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹ do biocarvão (Gráfico 8). Houve uma redução da concentração de Na entre os ciclos de percolação (Gráfico 9). A interação das doses com os ciclos demonstraram queda nas concentrações de Na, segundo ciclo de percolação após a aplicação do KCl, os níveis de Na caíram até 40% na testemunha, e essa redução foi diminuído de acordo com o aumento das doses de biocarvão, a dose 40 Mg ha⁻¹ obteve a menor redução de 12,7%, enquanto os outros tratamentos obtiveram média de redução de 36% em comparação ao primeiro ciclo.

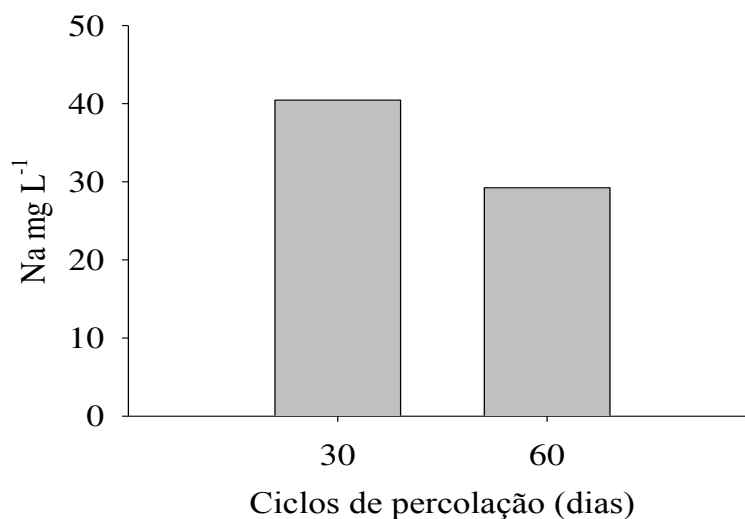
O aumento da concentração de Na é justificado pela presença desse elemento na matéria prima, lodo de esgoto, visto que houve aumento linear da condutividade elétrica em função das doses de biocarvão, o aumento da condutividade elétrica é esperado quando se aplica biocarvão ricos em K e Na, acredita-se que esses são os elementos que mais contribuíram para o aumento nos valores condutividade elétrica (LIMA, 2016)

Gráfico 8– Variação dos níveis de Na em função das doses de biocarvão de logo de esgoto.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 14 – Variação dos níveis de Na em função dos ciclos de percolação.

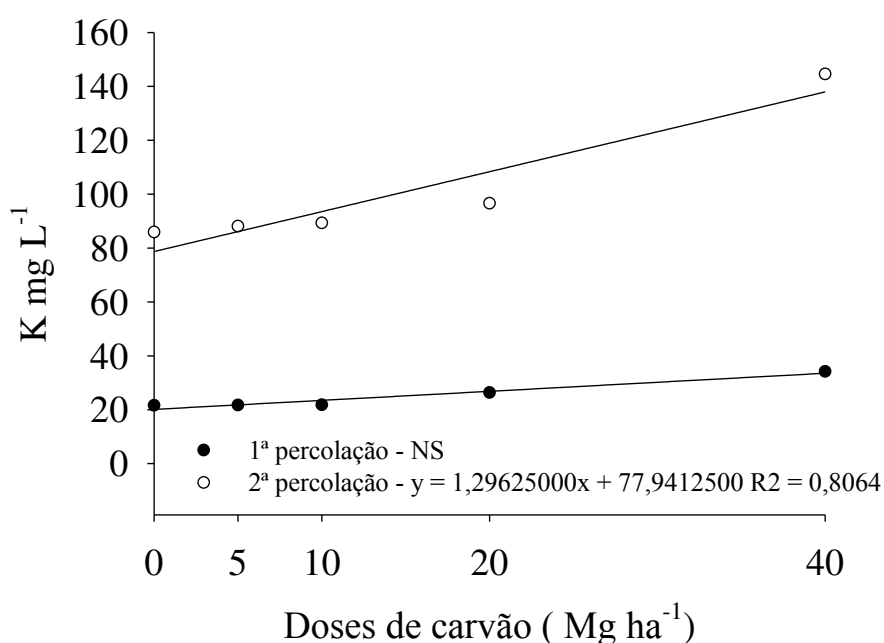


Fonte: Dados da pesquisa.

Os níveis de K demonstraram respostas ao aumento das doses de biocarvão no segundo ciclo, esse aumento variou de 21,6 a 34,2 mg/L e 90,9 a 137,1 mg/L respectivamente (Gráfico 10), já o primeiro ciclo foi não significativo ($p > 0,005$). O aumento no teor de K é

encontrado em diversos trabalhos com biocarvão. Yao et al.(2009)verificaram incremento significativo no teor de K no solo com a dose de 32 Mg ha⁻¹ de biocarvão, provavelmente devido ao teor desse elemento já presente no biocarvão, Oguntunde et al. (2004) também observaram incrementos no teor de K no solo com a aplicação de biocarvão, que é capaz de aumentar os teores disponíveis de P, K, Ca, Mg e C, como também a eficiência no uso dos nutrientes (PETTER, 2010). com base nessas observações é possível constatar que o material de origem é determinante no incremento de K no solo.

Gráfico 10– Variação dos níveis de K dos dois ciclos de percolação em função das doses de biocarvão lodo de esgoto.



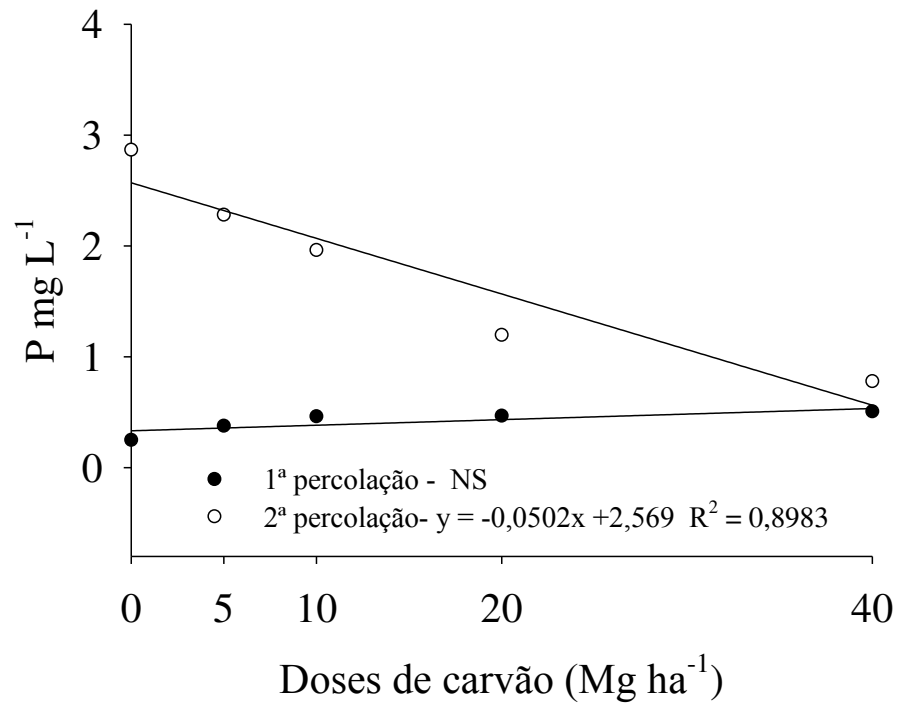
Fonte: Dados da pesquisa.

Os níveis de P também aumentaram de acordo com o aumento das doses de biocarvão no entanto não foi significativo no primeiro ciclo de percolação, no segundo ciclo, foi observada redução nos níveis de P real na água lixiviada, em função do aumento das doses de biocarvão de lodo de esgoto, variando de 2,8 a 0,7 mg/L (Gráfico 11).

O aumento nos teores de P é decorrente da elevada concentração desse nutriente no biocarvão, com o processo de pirólise há perdas de C, H, O e N por volatilização e com isso a concentração de P é favorecida no biocarvão (GASKIN ET AL., 2008). Outra justificativa é influencia do pH na disponibilidade de fósforo, pois em solos ácidos ou alcalinos há precipitação do P com óxidos de ferro e alumínio, e com cálcio. Madariet al. (2006) também observaram elevação dos teores de P e melhoria nas características químicas do solo com uso de

biocarvão no cultivo de arroz de terras altas em solo argiloso.

Gráfico 11– Variação dos níveis de P dos ciclos de percolação em função das doses de biocarvão de esgoto.



Fonte: Dados da pesquisa.

CONCLUSÃO

A adição do biocarvão de fibra de coco ao solo proporcionou alterações nas propriedades analisadas do solo, o qual mostrou potencial para uso como corretivo da acidez e como fonte de nutrientes como P e K. Sua aplicação deve ser controlada, pois usa elevada condutividade elétrica e elevadas concentrações de K e Na podem proporcionar problemas no campo.

O uso de biocarvão de lodo de esgoto também proporcionou alterações nas propriedades do solo. Apresentou elevação da C.E do lixiviado, além de aumentar a lixiviação de Na e K. Ocorreu adsorção de P no solo e aumento do pH do lixiviado com o aumento das doses.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, Azarias Machado de et al . **Pirólise de resíduos do coco-da-baía (Cocos nuciferaLinn) e análise do carvão vegetal**. Rev. Árvore, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 707-714, Out. 2004.
- BAGREEV, A.; BANDOZ, T. J.; LOCKE, D. C. Pore structure and surface chemistry of adsorbents obtained by pyrolysis of sewage derived fertilizer. **Carbon**, 39: 1971-1979, 2001.
- BALDOCK, J. A.; SMERNIK, R. J. Chemical composition and bioavailability of thermally altered Pinusresinosa (Red pine) wood.**OrganicGeochemistry**, Oxford, v. 33, n. 9, p. 1093-1109, 2002.
- BETTIOL, W., CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna, SP. Embrapa Meio Ambiente, Cap. 2, p. 25-35, 2006.
- BEZERRA, F.B., OLIVEIRA, A.C.L., PEREZ, D.V., ANDRADE, A.G.,MENEGUELLI, N.A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,v.41, n.3, p.469-476, 2006.
- BOEIRA, R. C.; DE SOUZA, M. Dornelas; FERRACINI, V. L. Utilização de colunas de solo para avaliação de lixiviação de agrotóxicos. In: **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. Separata de: CONGRESO VIRTUAL IBEROAMERICANO SOBRE GESTIÓN DE CALIDAD EN LABORATORIOS, 2., 2003, Valladolid. Resúmenes. Valladolid: ITACYL, 2003., 2003.
- CABALLERO, J.A.; FRONT, R.; MARCILLA, A.; CONESA, J.A. Characterization of sewage sludges by primary and secondary pyrolysis.**Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 4041, p. 433–450, 1997.
- CALDEIRA, M. V. Winckler et al.**Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de Tectonagrandis**. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012.
- CARRIJO, O.A.; LIZ, R.S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535,
- CEOLATO, Luiz Carlos. **Lodo de esgoto líquido na diponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um argissolo** / Luiz Carlos Ceolato. Campinas: InstitutoAgrônômico, 2007.
- DANJEG. **Wet Processing of Coir: drying,bleaching, dyeing, softening and printing**. FAO. TechnicalPaper N° 6. December, 1999.
- DUARTE, Denise; IMAI, Estela Mari; NII, PatriciaMegumi. **Fibras naturais e sua aplicação na arquitetura**. São Paulo: USP, 2009. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0221/Trabalhos_Finais_2009/Fibras_Naturais.pdf>.

DO VALE, A. T.; BARROSO, R. A.; QUIRINO, W. F. **Caracterização da biomassa e do carvão vegetal do coco-da-baía (Cocos nucifera L.) para uso energético.** 2004.

EL-NAGGAR, A.H.; USMAN, A.R.A.; AL-OMRAN, A.; OK, Y. S.; AHMAD, M.; ALWABEL, M.I. Carbon mineralization and nutrient availability in calcareous sandy soils amended with woody waste biochar. **Chemosphere**, v. 138, p.67-73, 2015.

ENGEPLAS. **Fibra de coco.** Curitiba, 2016. Disponível em: <<http://www.engeplas.com.br/fibra.html>>.

FONTES, H. R.; WANDERLEY, M. **Novos cenários para a cultura do coqueiro gigante no Brasil.** 2010. Disponível em: <www.agrosoft.org.br/agropag/212960.htm>. Acesso em: 14 nov. 2013.

FIGUEIRA, J. L. G. Casca do coco: aproveitamento industrial. In: **Coco da Bahia: Uma alternativa agroindustrial e de reflorestamento para o noroeste do Paraná.** Curitiba, Caniatti Rodrigues 1995. p. 73-77.

GASKIN, J. W.; STEINER, C.; HARRIS, K.; DAS, K. C.; BIBENS, B. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. **Transaction of the Asabe**, 51: 2061-2069, 2008.

HERZOG, Howard J. Scaling up carbon dioxide capture and storage: From megatons to gigatons. **Energy Economics**, v. 33, n. 4, p. 597-604, 2011.

HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; CHAN, K. Y.; ZIOLKOWSKI, A.; NELSON, P. F. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. **Journal of Environmental Management**, 92: 233-228, 2011.

IBGE. **Levantamento Sistemas Produção Agrícola.** Rio de Janeiro v.30 n.4 p.1-84 abril, 2017.

ISAHAK, Wan Nor Roslam Wan et al. A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 16, n. 8, p. 5910-5923, 2012.

LABEGALINI, André. **Obtenção de biochar a partir da pirólise rápida da torta de pinhão manso: uso como adsorvente e suporte.** 2013. 116 f. 2016. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Instituto de Química Ambiental, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. Amazonian dark earths: origin, properties, management. **Amsterdam: Kluwer Academic Publ.**, 2003a.523 p.

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

LEHMANN, J.; CZIMCZIK, C.; LAIRD, D.; SOHI, S. P. Stability of biochar in soil. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environment management.** London: **Sterling: Earthscan Publ.**, 2009. p. 183-198.

LEHMANN, J.; SILVA JUNIOR, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B.

Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosoland a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, **Plant and Soil**, v. 249, p. 343-557, 2003b.

LIMA, I. S. **Parâmetros físico-hídricos, lixiviação de nutrientes e desenvolvimento do girassol (*Helianthus annuus* L) em argissolo amarelo tratado com biocarvão.** São Cristóvão, 2016. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, 2016

MAIA, C. M. B. F. Finos de carvão : fontes de carvão estável e condicionador de solos [recurso eletrônico] / Claudia Maria Branco de Freitas Maia. - Dados eletrônicos. - **Colombo : Embrapa Florestas**, 2010.

MALAVOLTA, E. ABC da Adubação. 4a edição. São Paulo **SP: Editora Agronomia Ceres**, 1979. 255 p.

MIKAN, C. J.; ABRAMS, M. D. Altered forest composition and soil properties of historic charcoal hearths in southeastern Pennsylvania. **Canadian Journal of Forest Research**, 25: 687–696, 1995.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312p.

NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo.** 2011. Tese de Doutorado. ISA/UTL.

NOVOTNY, E.H; MADARI B.E.; MAIA C.M.B.; Mangrich AS. O Potencial do Biocarvão (Carvão Pirogênico) no Sequestro de Carbono; na Ciclagem de Nutrientes; no Crescimento das Plantas e no Estímulo de Processos Microbiológicos. **In: Fertbio 2012. Alagoas, Brasil.** Alagoas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo; 2012. p. 31-38.

PAULA, L. E. Ramos. **Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos.** Lavras: UFLA, 2010. 72 p.: il. Dissertação (mestrado) – Orientador: Paulo Fernando Trugilho. Universidade Federal de Lavras, 2010.

PANNIRSELVAM, P. V. *et al.* Desenvolvimento de projeto para produção de fibra de coco com inovação de tecnologia limpa e geração de energia. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 15, p. 56-61, mar. 2005. Disponível em: <http://www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/15/art04.pdf>.

PASSOS, P. R. de A. **Destinação sustentável de cascas de coco (*Cocos nucifera*) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas.** 2005. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F.; PICKLER, A. C.; LEAL, E. R. M.; MILHOMEN, C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato, Novo Hamburgo**, v. 11, p. 147 - 157, jul./dez.2010.

OGUNTUNDE, P. G., FOSU, M., AJAYI, a. E.; GIESEN, N. v. Effects of charcoal production

on maize yield, chemical properties and texture of soil. **BiolFertil Soils**, n.39, p.295-299, 2004. doi: 10.1007/s00374- 003-0707-1

OLMO, M.; VILLAR, R.; SALAZAR, P.; ALBURQUERQUE, J.A. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. **PlantandSoil**, v. 399, p.333-343, 2015.

PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. 2010. 130p. 2010. Tese de Doutorado. Tese Doutorado (Doutorado em Produção Vegetal), Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia

ROSA, M.F; SANTOS, F.J.S.; MONTENEGRO, A.A.T.; ABREU,F.A.P.; CORREIA, D; ARAUJO, SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador – BA**. Dissertação de mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – Universidade Federal da Bahia, 2008.

REZENDE, E. I.P. et al. Biocarvão (biochar) e sequestro de carbono. **Revista virtual de química**, v. 3, n. 5, p. 426-433, 2011.

SANTIAGO, B. H.; SELVAM, P. V. P. Tratamento superficial da fibra de coco: estudo de caso baseado numa alternativa econômica para fabricação de materiais compostos. **Revista Analytica**, n. 26, p. 42-45, 2006/2007.

SANTOS, A. M. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia**. 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em:<http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertações/dissertacao_078_alexandresantos.pdf>.

SENHORAS, E. M. Oportunidade na cadeia agroindustrial do coco verde: Do coco nada se perde, tudo se desfruta. **Revista Urutágua, Maringá: nº 05**, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SUKIRAN, Mohamad A. et al. Production and characterization of bio-char from the pyrolysis of empty fruit bunches. **American JournalofAppliedSciences**, v. 8, n. 10, p. 984, 2011.

SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em salvador – BA**. 2008. 164 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SILVA, F.C., BOARETTO, A.E., BERTON, R.S., ZOTELLI, H.B., PEXE, C.A.,BERNARDES, E.M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p.831-840, 2001.

SILVA, J.A.A., VITTI, G.C., STUCHI, E.S., SEMPIONATO, O.R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes empomar de laranja-‘pêra’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 225-230, 2002.

SAMPAIO, A. R.et al. Produção de mudas de tomateiro em substratos contendo fibra de coco

e pó de rocha. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 499-503, 2008.

SILVA, E.P.; MOTA, S.; AQUINO, B.F. **Potencial do lodo de esgoto de indústria têxtil como fertilizante agrícola**. Vol. 8 - n° 2 -abr/jun. p.69-76, 2003.

SILVA, J. D.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. **R. Bras. Ci. Solos**, v.26, n. 2, p. 497-503, 2001.

TEIXEIRA, W.G.;KERN, D. C.;MADARI, B. E.;LIMA, H. N.;WOODS, W. As terras pretas de índio da Amazônia : sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

VALE, A. I.; BARROSO, R. A.; QUIRINO, W. F. Caracterização da biomassa e do carvão vegetal de coco-da-baía (*Cocos nucifera* L.) para uso energético. **Revista Biomassa & Energia**, v. 1, n. 4, 365-370, 2004.

VANZETTO, A. S. **Análise das Alternativas Tecnológicas de Desaguamento de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Esgoto**. 185p. (Dissertação de Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, Brasília, 2012.

YAO, F. X., ARBESTAIN, M. C., Simulated geochemical weathering of a mineral ash-rich biochar in a modified soxhlet reactor. **Chemosphere**, v.80, p.724-732, 2009.doi: 10.1016/j.chemosphere.2010.05.026

WARNOCK, D. D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T. W.; RILLING, M. Mycorrhizal responses to biochar in soil: concepts and mechanisms. **PlantandSoil**, v. 300, p. 9-20, 2007.