



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



## Impacto do biochar de resíduos da indústria de biodiesel sobre os atributos de um solo arenoso

Julyana Braga de Oliveira<sup>1</sup>, Erika Valente de Medeiros<sup>2</sup>, Jenifer Stephanie Araújo da Silva<sup>3</sup>, Gustavo Pereira Duda<sup>4</sup>, Diogo Paes da Costa<sup>5</sup>, Rafaela França Félix<sup>6</sup>, José Romualdo de Souza Lima<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Agronomia, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor Av. s/n, CEP 55292-270, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5626. [jully\\_bragaa@live.com](mailto:jully_bragaa@live.com) <https://orcid.org/0000-0002-8935-7246> <sup>2</sup>Dra. em Fitotecnia, Professora Associada II, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor Av. s/n, CEP 55292-270, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5626. [evmbio@gmail.com](mailto:evmbio@gmail.com). (autor correspondente) <https://orcid.org/0000-0001-5543-9414>. <sup>3</sup>Doutoranda em Biotecnologia –RENORBIO Centro de Biociências – UFRN, CEP: 59078-900, Natal/RN. (87) 3764-5626. [jeniferstephanie12@hotmail.com](mailto:jeniferstephanie12@hotmail.com) <https://orcid.org/0000-0002-5064-669X> <sup>4</sup>Dr. em Ciência do Solo, Professor titular, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor Av. s/n, CEP 55292-270, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5626. [gpdua@gmail.com](mailto:gpdua@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-0998-4945>, <sup>5</sup> Dr. em Ciência do Solo, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor Av. s/n, CEP 55292-270, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5626. [diogocosta1@yahoo.com.br](mailto:diogocosta1@yahoo.com.br). <https://orcid.org/0000-0002-8551-7345> <sup>6</sup>Doutoranda, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rodovia BR 465, Km 07, s/n, CEP 23890-000, Zona Rural, Seropédica, Rio de Janeiro. (21) 2682-1080. [rafaelaf-f@hotmail.com](mailto:rafaelaf-f@hotmail.com) <https://orcid.org/0000-0002-7640-3602> <sup>7</sup>Dr. em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Professor Associado II, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor Av. s/n, CEP 55292-270, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5626. [romualdo\\_solo@yahoo.com.br](mailto:romualdo_solo@yahoo.com.br) <https://orcid.org/0000-0001-9535-9208>

Artigo recebido em 21/05 /2020 e aceito em 13/07/2020

### RESUMO

O atual apelo ao uso de energia renovável gera uma quantidade de resíduos que, se não gerenciado corretamente, pode gerar danos ambientais. Por isso, pesquisas que objetivam o reuso desses resíduos para serem aplicados na agricultura vem sendo realizadas, como as que transformam tais resíduos em biochar. O biochar é produto de pirólise e sua adição aos solos tem influência na química, física e comunidades microbianas. O objetivo do presente estudo foi avaliar o impacto de torta de sementes (pura e transformada em biochar) nas atividades enzimáticas, atributos químicos e microbiológicos do solo arenoso. O experimento foi distribuído em esquema fatorial 5 x 5, sendo o primeiro fator constituído por: apenas o solo (controle); resíduo de Graviola (RG), resíduo de Pinha (RP) biochar do resíduo de graviola (BG) e biochar do resíduo de pinha (BP) e o segundo fator, cinco tempos de incubação 0, 30, 60, 90 e 120 dias após incubação (DAI). Foram avaliados, atributos químicos do solo, carbono da biomassa microbiana (CBM) e atividades enzimáticas (uréase, fosfatase ácida e alcalina). Solos tratados com RG apresentaram um incremento na urease aos 120 DAI (3,8 vezes maior que o controle). A aplicação de BG ao solo no tempo 0 incrementou os teores de fosfatase ácida, fosfatase alcalina, uréase e CBM (1,1; 1,2; 1,4 e 1,1 vezes) e o pH (1,2 vezes). Solos que receberam BP apresentaram incrementos no pH, CBM aos 120 DAI, fosfatase alcalina aos 120 DAI e uréase aos 60 DAI. Biochar de graviola contribuiu para a qualidade bioquímica e microbiológica do solo, demonstrando o seu maior potencial para uso agrícola em relação aos demais.

Palavras-chave: biochar, química do solo, atividade enzimática, incubação

## Impact of biochar Residues from the biodiesel industry on the attributes of a sandy soil

### ABSTRACT

The current call for the use of renewable energy generates a quantity of waste that, if not handled correctly, can cause environmental damage. For this reason, research that aims to reuse these residues to be applied in agriculture has been carried out, such as those that transform such wastes into biochar. Biochar is a product of pyrolysis and its addition to soils has an influence on chemistry, physics and microbial communities. The objective of the present study was to evaluate the impact of seed cake (pure and transformed into biochar) on the enzymatic activities, chemical and microbiological attributes of the sandy soil. The experiment was distributed in a 5 x 5 factorial scheme, the first factor being: only the soil (control); Graviola residue (RG), Pine cone residue (RP) Biochar of graviola residue (BG) and Biochar of pine cone residue (BP) and the second factor, five incubation times 0, 30, 60, 90 and 120 days after incubation (DAI). Soil chemical attributes, microbial biomass carbon (CBM) and enzymatic activities (urea, acid and alkaline phosphatase) were evaluated. RG treated soils showed an increase in urease at 120 DAI (3.8 times greater than the control). The application of BG to the soil at time 0 increased the levels of acid phosphatase, alkaline phosphatase, urea and CBM (1.1; 1.2; 1.4

and 1.1 times) and pH (1.2 times). Soils that received BP showed increases in pH, CBM at 120 DAI, alkaline phosphatase at 120 DAI and urea at 60 DAI. Soursop biochar contributed to the biochemical and microbiological quality of the soil, demonstrating its greater potential for agricultural use compared to the others.

Keywords: biochar, soil chemistry, enzyme activity, incubation

## Introdução

Parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, do carvão e do gás natural. Entretanto, algumas fontes de energia não renováveis, como no caso de combustíveis fósseis, geram poluição do ambiental e do ar (Rani et al., 2020), emissão de gases de efeito estufa (Rathnam et al., 2020).

Essas fontes são limitadas e com previsão de um futuro esgotamento, por isso, a busca por alternativas de energia é incessável. Diante disto, a produção de biodiesel tem se mostrado uma forte alternativa para substituição do óleo diesel, pelo fato do seu desenvolvimento ser através de óleos vegetais e permitir a redução da dependência de petróleo (Shi; Liang, 2019).

O biodiesel pode ser definido como sendo um mono-alquil éster de ácidos graxos derivado de fontes renováveis, como óleos vegetais (Rathnam et al., 2020). Dentre as matérias-primas incluem-se os óleos vegetais de soja, milho e palma (Şanlı et al., 2019), cuja matéria prima é abundante no Brasil e vem sendo utilizadas outras fontes de óleos vegetais como a graviola e pinha no estado de Pernambuco.

O Brasil ainda não é totalmente independente de combustíveis fósseis. Porém, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) estabeleceu a adição de 10% de biodiesel ao óleo vendido no país, desde 2010 (Resolução n.4/2010) (Cavalheiro, et al., 2020)

Este crescimento contribuiu para a elevada formação de resíduos sólidos orgânicos poluentes, que são chamados de tortas, que quando não conduzidos adequadamente podem ocasionar riscos à saúde e poluição ambiental, podendo comprometer o solo, a água e o ar (Araújo et al., 2019).

Deste modo, as tortas quando submetidas a um processo de tratamento, podem ser utilizadas como adubo orgânico, contribuindo para a melhoria da qualidade do solo (Kirinus et al., 2018; Onorevoli et al., 2018).

Uma das formas de tratamento desses resíduos é pela produção de biochar que, por sua vez, é produto da degradação térmica de materiais orgânicos na presença limitada de oxigênio (pirólise), e sua adição aos solos tem influência em suas propriedades químicas e físicas, bem como na estrutura e função de comunidades microbianas (Nielsen et al., 2018), devido as suas notáveis

propriedades capazes de melhorar a fertilidade, corrigir e aumentar a umidade no solo e teores de nutrientes (Lima et al., 2018; Igalavithana et al., 2018; Martins Filho et al., 2020; Cooper et al., 2020).

Várias matérias-primas são usadas para produzir biochar e a testagem continua de novas matérias-primas, como restos de alimentos, tortas de sementes, resíduos agrícolas ganham espaços nas pesquisas (Gupta et al., 2018; Vincevica-gaile et al., 2019; Caban et al., 2020).

O pH do biochar pode variar de ácido a alcalino, mas geralmente é relatado como alcalino, os altos valores de pH do biocarvão aumentam o pH do solo e diminuem a mobilidade de nutrientes tóxicos (Igalavithana et al., 2017).

Tendo em vista o atual apelo ao uso de energia renovável, há uma possibilidade para que o resíduo gerado a partir da extração do óleo de sementes de graviola e pinha para a produção de biodiesel seja usado como fonte de biomassa no processo de pirólise, a fim de obter produtos para uso agrícola.

Potanto há uma necessidade de conduzir estudos utilizando estas biomassas, em suas formas puras ou transformadas em biochar quando aplicada em solos arenosos de baixa fertilidade, pois são escassos os conhecimentos sobre esta questão.

Onorevoli et al. (2018) relatam que o processo de pirólise de torta residual de semente de tabaco, leva o aumento do pH, da biomassa, aumento na porosidade e superfície específica e afirmam o potencial agrícola deste biochar.

Em vista disso este estudo torna-se extremamente importante para fornecer uma alternativa para agricultura a partir do reuso dos resíduos produzidos pela indústria de biodiesel, aplicando-o no solo visando melhoras em atributos essenciais.

Nossa hipótese, em parceria com outros projetos, é que o reuso destes resíduos após o processo de pirólise, quando aplicado em solo arenoso, possa contribuir para a mudança da comunidade e atividade microbiana dos solos, assim como atributos químicos visando indicação para uso na agricultura.

O objetivo desta pesquisa é realizar a pirólise do resíduo decorrente da extração de óleo energético de sementes de pinha e graviola e verificar, através de análises mais sensíveis, o seu

potencial uso na agricultura como condicionante de solo comparando-o com sua forma pura, com o propósito de descobrir quais os benefícios da sua aplicação em um Neossolo Regolítico Eutrófico, sobre os atributos químicos, microbianos e atividades enzimáticas do solo a longo prazo de incubação, visando contribuir com uma proposta acessível e sustentável que fomente o aproveitamento da biomassa vegetal descartadas no ambiente.

## Material e métodos

### *Área de Estudo e Amostragem de Solo*

A área de coleta do solo está localizada na mesorregião do Agreste Meridional do Estado de Pernambuco no município de São João, nas coordenadas geográficas Latitude 8° 52' 30" S e Longitude 36° 22' 00" O, com altitude de 705 m. O solo da área é classificado como Neossolo Regolítico eutrófico típico. Os atributos químicos e físicos do solo antes do experimento estão descritos na tabela 1.

### *Obtenção dos resíduos da agroindústria de biodiesel e produção dos Biochars*

O biochar utilizado foi produzido por meio da combustão incompleta pelo processo chamado de pirólise lenta, em um pequeno forno térmico caseiro com dois cilindros, o qual foi baseado num modelo amplamente utilizado pelos agricultores tailandeses. A matéria prima utilizada foi a torta de sementes de graviola (*Annona muricata*) e de pinha (*Annona squamosa*), adquirida no Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste – CETENE, localizada no município de Caetés, PE, um resíduo obtido da extração de óleo para a produção de biodiesel. O material foi queimado, colocando-se no cilindro “B” interno que tem 54cm de altura e diâmetro de 29,5cm, o qual depois foi fechado. Após isso, o segundo cilindro “A” externo que tem altura de 80 cm e diâmetro de 59 cm, foi preenchido com madeira, a qual tem por objetivo a geração de calor no forno térmico (Lima et al., 2018).

### *Experimento*

Foi instalado um experimento em casa de vegetação localizada na área experimental da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UAG/UFAPPE) no município de Garanhuns, PE Brasil. O clima predominante é o Mesotérmico Tropical de Altitude (Cs'a), de acordo com a classificação climática de Köppen.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, distribuídos em esquema

fatorial 5 x 5, sendo cinco tratamentos: apenas Solo (controle); resíduo de Graviola (RG), resíduo de Pinha (RP) biochar do resíduo de graviola (BG) e biochar do resíduo de pinha (BP), o segundo fator foi constituído por cinco tempos de incubação 0, 30, 60, 90 e 120 dias após incubação (DAI), com quatro repetições cada, totalizando 100 unidades experimentais. Tanto os biochars quanto os resíduos foram adicionados ao solo na quantidade de 20 t ha<sup>-1</sup>. A irrigação foi realizada a cada 48 horas, com água destilada estéril.

As amostras de solo foram coletadas e armazenadas para posterior avaliação do impacto dos resíduos da indústria de biodiesel, sobre a qualidade química, microbiana e bioquímica.

### *Análise química do solo*

As determinações químicas realizadas foram (pH em água 1:2,5, P extraível, K, Na, seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (1999). Na e K foram determinados por fotometria de chama. A quantificação do P inorgânico foi realizada por colorimetria conforme Braga e Defelipo (1974).

### *Análises microbianas*

A respiração basal do solo foi quantificada utilizando 30 g de solo colocados em recipientes hermeticamente fechados e o CO<sub>2</sub> produzido foi capturado usando 0,5 M NaOH. Após 72 h de incubação, a quantidade de CO<sub>2</sub> foi quantificada por titulação com HCl(0,25M), utilizando fenolftaleína diluído em álcool etílico como indicador.

O teor de CBM do solo foi extraído pelo método de irradiação (Mendonça e Matos, 2005) e determinado utilizando-se o método colorimétrico proposto por Bartlett e Ross (1988).

### *Atividades enzimáticas*

As amostras de solo foram refrigeradas a 4°C até análise das atividades enzimáticas: Urease (URE) (EC 3.5.1.5), fosfatase ácida e alcalina (Pac e Palk) (EC 3.1.3). As determinações das atividades enzimáticas foram baseadas em análise colorimétrica dos produtos liberados por cada enzima quando a amostra for submetida a condições normais de incubação com substrato adequado (Sigma Aldrich).

A atividade de Fosfatase (ciclo do P) e Urease (ciclo do N), foram determinadas segundo a metodologia proposta por Eivazi; Tabatabai (1988), Eivazi; Tabatabai (1977), Tabatabai; Bremmer (1972) e Kandeler; Gerber (1988) respectivamente. As atividades enzimáticas são expressas em microgramas de produto produzido por grama de solo e por tempo específico.

### Análise Estatística

Os dados foram submetidos a análises de variância (ANOVA) com as comparações entre as médias dos tratamentos feitas pelo teste Tukey ao nível de 5%. A comparação das médias dos tratamentos

com o controle foi feita através do teste de Dunnett também ao nível de 5% de probabilidade. Além disto, foram realizadas análises multivariadas de coordenadas principais para identificar quais variáveis mais respondem à diferenças entre os tratamentos. Análises realizadas no Software R (3.4.3).

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo antes do experimento

pH	P mg Kg <sup>-1</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup>	Mg	K	Al	Na	CEC	C %
5.1	16.6	0.8	0.8	0.15	0.15	0.28	3.98	1.6
Granulometria (%)								
Areia	Silte	Argila	Densidade Aparente	Porosidade total		Capacidade de campo		
88	8	4	1.5	0.433		0.135		

Fonte: Lima et al (2018)

## Resultados e discussão

### Atributos químicos do solo após o experimento

Ambas as fontes de biocarvão (BG e BP) aumentaram significativamente o pH dos solos tratados durante todos os tempos de incubação, sendo essa diferença mais expressiva a partir do 60 dias (BG 1,5; BP 1,2 vezes maior que o controle), 90 (BG 1,6; BP 1,8 vezes) e 120 (BG 1,1; BP 1,2 vezes). Em média, o pH do tratamento controle foi 5,0 e do RP e do BP foi 5,8 e 5,9, respectivamente.

O ajuste do pH do solo não apenas melhora a qualidade, mas também desencadeia uma série de processos bioquímicos no solo (Shaaban et al., 2018; Liu et al., 2019). A redução da acidez vem sendo atribuída à alcalinidade de biochar e à presença de ânions orgânicos e carbonatos (Bera et al., 2016; Dai et al., 2017). O pH aumenta com o conteúdo biocarvão e o tempo que o mesmo passa agindo no solo, especialmente para solos arenosos (Caban et al., 2020). Tais observações estão alinhadas com outros estudos, Novak et al. (2016) que aplicaram o biocarvão de madeira em um solo ácido e demonstraram que o pH do solo aumentou de 5,6 para 6,6 durante um experimento de incubação de laboratório aeróbio por 120 dias, devido ao próprio pH alcalino do biochar. Chen et al. (2018) relatou igualmente em seus estudos o efeito no pH derivado da ação de biocarvão.

Este aumento no pH influencia na disponibilidade de outros nutrientes como o K<sup>+</sup> na solução do solo. Por ser um material rico em C e nutrientes vegetais, biochars têm alto potencial não apenas para fornecer, mas também como facilitar a disponibilidade de K ao solo (Rafael et al., 2019). Isto explica o incremento que as fontes de biochars

apresentaram no K<sup>+</sup> do solo aos 60 (1,4 vezes para ambas as fontes) e 90 DAI (BG 1,4; BP 1,5 vezes).

Randolph et al. (2017) ao avaliar o solo de seu estudo aos 120 DAI, constatou o aumento de teores K<sup>+</sup> em solos tratados com biochar.

### Atividades enzimáticas

A atividade enzimática da fosfatase alcalina (Falk) também foi maior nos solos tratados com biochar. Por exemplo, BG apresentou incremento aos 0 e 90 DAI (1,2 vezes maior que o controle). BG adicionado ao solo também incrementou a atividade da Urease em 0, 60, 120 DAI (1,5; 2,5; 1,5 respectivamente, comparado ao controle). BP incrementou significativamente Falk aos 120 DAI (1,1 vezes) e uréase aos 60 DAI (2,5 vezes).

O aumento das atividades enzimáticas do solo, ocorre pela alteração da comunidade microbiana, disponibilidade de nutrientes e potencial de retenção de água e características que conferem ao biochar a capacidade de melhorar as condições de vida microbiológica por fornecer substrato adequado para colonização presentes no biocarvão (Lu et al., 2015; Cui et al., 2016; Quan et al., 2020).

Sugere-se que estes benefícios ocorrem indiretamente através do aumento da matéria orgânica do solo, atividade e estrutura microbiana e CBM causadas pela adição do biocarvão (Gul et al., 2015; Zheng et al., 2016).

Levando em consideração que durante a preparação dos biochars, as mesmas condições de pirólise são aplicadas, diferenças entre as suas propriedades são atribuídas aos tipos de matérias-

primas que dão origem ao produto (Fang et al., 2015; Kwak et al., 2019; Ferjani et al., 2019).

Yadav et al. (2019) constata o incremento nas atividades de Falk e uréase, ao avaliar o efeito do biochar a curto prazo no solo, afirmando os

Aumentos especialmente na uréase possivelmente são decorrentes de microrganismos que aceleram a mineralização de N para compensar a altas relações C / N após adição de biochar e outras fontes de matéria orgânica (Song et al., 2018).

O biocarvão é conhecido como um forte adsorvente no solo, é possível que esta característica tenha conferido ao substrato o poder de adsorver enzimas em sua superfície, entretanto este mecanismo ainda é desconhecido (Khadem et al., 2017).

### Carbono da biomassa microbiana e Respiração basal do solo após o experimento

A comunidade microbiana do solo responde mais rapidamente a práticas capazes de remodelar as frações orgânicas ou alterar nutrientes do que a outros fatores do solo (Dubey et al., 2020).

Um dos indicadores de qualidade do solo é a quantificação da atividade microbiana, por meio

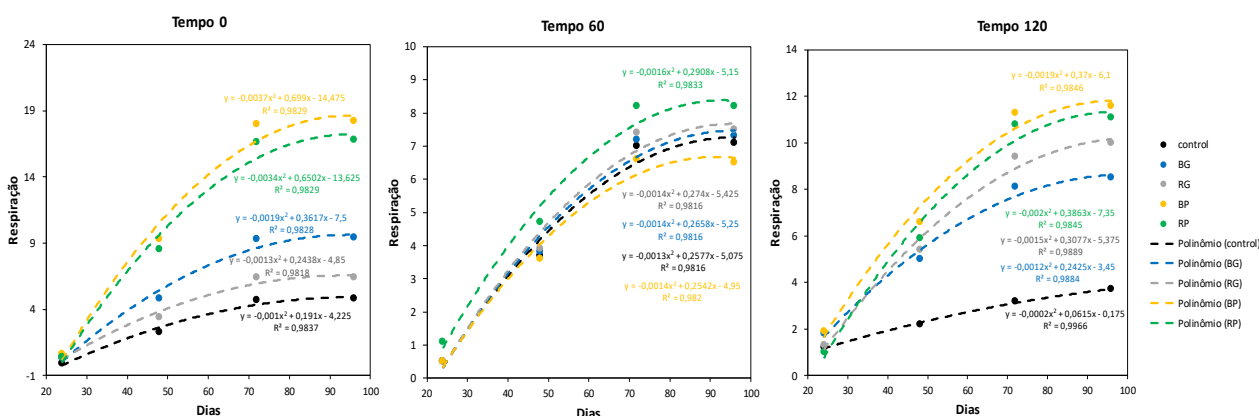
efeitos benéficos do biochar nessas enzimas. Bhaduri et al. (2016) avaliaram o biochar a curto prazo de incubação e descreveram aumentos similares nas atividades enzimáticas do solo.

das atividades metabólicas de oxidação da matéria orgânica, através do uso de gás oxigênio (O<sub>2</sub>), realizadas pelos micro-organismos (De Medeiros et al., 2019).

Os solos tratados com diferentes resíduos apresentaram diferença significativa para a respiração basal do solo, sendo tal diferença mais expressiva nos tempos 0, 60, 120 DAI, destacando-se os tratamentos BP, BG e RP (Figura 1). Maiores valores de RBS estão relacionados a uma elevada taxa de mineralização de C (Steinmuller et al., 2019).

A maior liberação de CO<sub>2</sub> nos solos, pode ser em função incorporação de resíduos, como o biochar rico em C e acúmulo de MO em frações lábeis, promovendo uma alta atividade biológica sobre esse material, liberando, assim, CO<sub>2</sub> (Guimarães et al., 2017).

Tenório et al. (2017) ao estudar o efeito de diferentes doses de biocarvão observou que a RBS é estimulada após a adição deste composto ao solo.



da respiração basal do solo (RBS), processo esse, que permite quantificar o CO<sub>2</sub> liberado resultante.

Figura 1. Respiração basal de solos enriquecidos com Biochar de graviola (BG) biochar de pinha (BP), resíduo de graviola (RG) e resíduo de pinha (RP), oriundos da indústria de biodiesel, em diferentes tempos de incubação.

### Análises multivariadas

Os solos tratados com biochar (BG e BP) apresentaram respostas significativas quanto à melhoria da qualidade química, microbiana e bioquímica. A análise multivariada de coordenadas principais respondeu por 67% da variação total dos resultados (Figura 2).

A coordenada principal 1 foi responsável por explicar 51% da variação total dos dados. As variáveis que mais se destacaram estão apresentadas na figura abaixo, representadas pelos vetores (quanto mais distante do centro maior a influência da fonte de biochar destacada no quadrante), as elipses representam os tempos de incubação (Figura 2).

Cada fonte de biochar influenciou de forma distinta os atributos do solo, sendo CMB, uréase, potássio, pH, fósforo, sódio, fosfatase ácida e alcalina foram as variáveis mais sensíveis aos tratamentos aplicados. O gráfico abaixo reúne as variáveis mais relevantes e demonstra a influência dos tipos de biochars sobre os atributos do solo nos diferentes tempos de incubação. O pH do solo foi uma das variáveis afetadas pelo biochar, principalmente BP, assim como seu resíduo bruto, aos 90 e 120 DAI. Isso se deve às altas concentrações de grupos químicos, principalmente fenóis, que ficam concentrados no biochar após o processo de pirólise. O biochar quando aplicado, tende a aumentar o pH dos solos (Farkas et al., 2020; Manzano et al., 2020). Deste modo pode contribuir para a disponibilização de nutrientes benéficos e neutralização de íons tóxicos do solo. (Dominguez et al., 2020)

O biochar e o resíduo de graviola mostraram aumentos no carbono da biomassa microbiana, Falk, Ure e K.

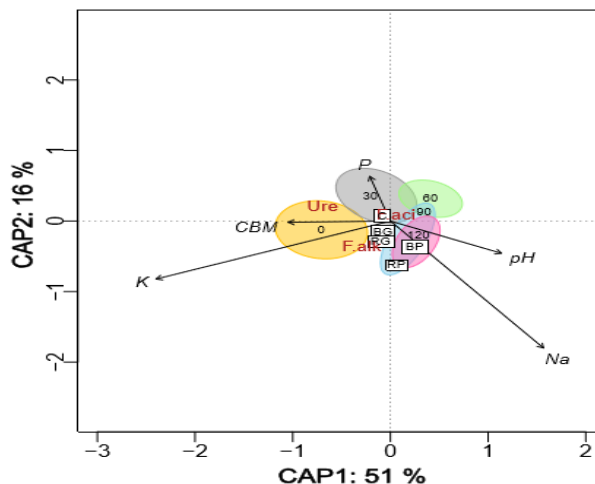
A aplicação de diferentes tipos de matéria orgânica estimula a biomassa microbiana nos solos, devido ao fornecimento de nutrientes (De Medeiros et al., 2019). Além disso, o biochar pode fornecer aos micro-organismos comportos de carbono degradáveis (Manirakiza et al., 2020; Zhang et al., 2020).

Aqui, resíduo e biochar de graviola foram os que mais se destacaram em relação ao incremento de CBM e que se destacou também em relação ao teor de K no solo, o potássio é um dos nutrientes mais absorvidos pela planta e está envolvido em diversos metabolismos de comunidades microbianas do solo (Dos santos et al., 2020).

O biochar também influencia a biomassa microbiana por interferir em diversos processos de forma direta ou indireta, como a alteração das propriedades químicas e físicas do solo, que podem interferir no crescimento e abundância microbianos (Wang et al. 2017; Lu et al., 2020). Além disso, o biochar pode fornecer um habitat que predispõe o crescimento microbiano (Khadem and Raiesi 2017), devido às estruturas de seus poros, protegendo-os da ação dos predadores.

Teutscherova et al. (2018) em suas pesquisas demonstram que o efeito da aplicação de biocarvão em solo ácido depende do tipo de solo e do tempo decorrido desde a aplicação até a ação do tratamento.

A hipótese de que o biochar influencia no CBM foi comprovada, sugerindo que o aumento do pH do solo ou o declínio da toxicidade do Al exposto em seus resultados, podem ter estimulado a mineralização da MO e o crescimento microbiano a curto prazo, o que também está de acordo com o aumento da RBS (Teutscherova et al., 2018) corroborando com os resultados apresentados neste estudo.



Biochar de graviola (BG) biochar de pinha (BP), resíduo de graviola (RG) e resíduo de pinha (RP). Abreviaturas: urease (Ure), fosfatase alcalina (FAlk), fosfatase ácida (Faci), carbono da biomassa microbiana (CBM), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na).

Figura 2. Diagrama da análise canônica de coordenadas principais entre os atributos químicos, microbianos e atividades enzimáticas de solos arenosos que receberam diferentes resíduos da indústria de biodiesel, com diferentes tempos de incubação.

Os teores de fósforo e potássio dos solos arenosos tratados com resíduos e biochars da indústria de biodiesel apresentaram correlação negativa com o pH como mostrado no Heatmap (Figura 3).

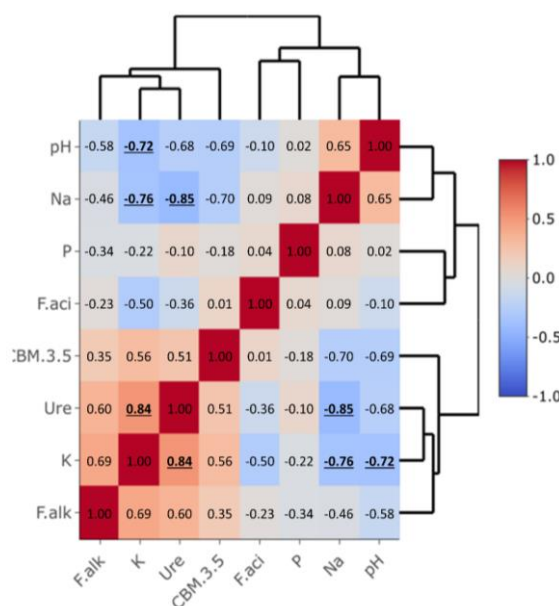


Figura 3. Análise de heatmap mostrando correlações entre as variáveis químicas, microbiológicas e atividade enzimática de solo arenoso que de solos arenosos que receberam diferentes resíduos da

indústria de biodiesel, com diferentes tempos de incubação. A matriz de correlações foi elaborada com base no algoritmo do coeficiente de correlação produto-momento de Pearson ( $r$ ).

O biochar tem influência nos atributos químicos do solo, entretanto existem mecanismos de imobilização destes elementos que ainda são desconhecidos. Kamran et al. (2018) e Sun et al. (2018) relatam que a disponibilidade de P pode depender da combinação de propriedades do solo, dose aplicada e características do biochar, assim como a sua temperatura de produção e seu pH final. Giagnoni et al. (2019) descreveu resultados semelhantes a este estudo, ao avaliar o efeito do biochar a longo prazo em solos de vinhedos, relatando influência do biochar na química do solo, como esperado.

Os solos tratados com diferentes matérias orgânicas oriundas da indústria de biodiesel em diferentes tempos de inculação desmonstraram que, quanto maior a biomassa microbiana, maior a atividade enzimática da uréase. Este resultado está mais relacionado a um metabolismo microbiano em resposta a alterações nas formas C, em particular compostos aromáticos e formas inorgânicas de N (Smernik et al., 2012).

## Conclusões

## References

- Araújo Júnior, J. D. D. (2019). Desempenho exergético e emissões de gases de efeito estufa no uso do biocarvão no setor sucroenergético. Tese (Doutorado em Ciências Mecânicas). Brasília-DF. Universidade de Brasília.
- Bhaduri, D., Saha, A., Desai, D., & Meena, H. N. (2016). Restoration of carbon and microbial activity in salt-induced soil by application of peanut shell biochar during short-term incubation study. *Chemosphere*, 148, 86-98. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.130>
- Bera, T., Collins, H. P., Alva, A. K., Purakayastha, T. J., Patra, A. K. 2016. Biochar and manure effluent effects on soil biochemical properties under maize production. *Appl. Soil Ecol.*, 107, 360-367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.07.011>.

Resíduo de graviola e de pinha em forma de torta ou transformado em biochar alteram os atributos químicos, microbianos e atividades enzimáticas de solo arenoso em diferentes tempos de incubação. Ambos biochars destacaram-se para o incremento na qualidade bioquímica do Neossolo regolítico arenoso, sendo uma alternativa para recuperação e aplicação dos resíduos produzidos pela indústria de biodiesel.

O biochar de graviola promoveu alterações no pH, fosfatase alcalina, urease, CBM e teores de K no solo em diferentes tempos de incubação, demonstrando o seu maior potencial para uso agrícola em relação aos demais.

Os dados confirmaram a hipótese do presente estudo, revelando a aplicabilidade do biochar derivado de torta de sementes ao Neossolo regolítico eutrófico e seu potencial reaproveitamento para uso agrícola.

## Agradecimentos

Agradecemos à FACEPE pelo apoio financeiro (Processo APQ-0419-5.01 / 15) e ao CNPq pela bolsa de produtividade concedida ao autor correspondente (306401 / 2015-0). "Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES 88887.736369 / 2017-00). Finalmente, agradecemos aos revisores anônimos pela ajuda e comentários que contribuíram para a melhoria do manuscrito.

- Caban, M., Folentarska, A., Lis, H., Kobylis, P., Bielicka-Giełdoń, A., Kumirska, J., ... & Stepnowski, P. (2020). Critical study of crop-derived biochars for soil amendment and pharmaceutical ecotoxicity reduction. *Chemosphere*, 248, 125976.
- Calderon, F.J., Vigil, M.F., Benjamin, J., 2018. Compost input effects on dryland wheat and forage yields and soil quality. *Pedosphere* 28, 451-462. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60368-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60368-0).
- Campos, P., Miller, A. Z., Knicker, H., Costa-Pereira, M. F., Merino, A., & De la Rosa, J. M. (2020). Chemical, physical and morphological properties of biochars produced from agricultural residues: Implications for their use as soil amendment. *Waste Management*, 105, 256-267. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.013>
- Cavalheiro, L. F., Misutsu, M. Y., Rial, R. C., Viana, L. H., & Oliveira, L. C. S. (2020). Characterization of residues and evaluation of the physico chemical properties of soybean

- biodiesel and biodiesel: Diesel blends in different storage conditions. *Renewable Energy*, 151, 454-462. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.039>
- Chen, X. W., Wong, J. T. F., Chen, Z. T., Tang, T. W. L., Guo, H. W., Leung, A. O. W., ... & Wong, M. H. (2018). Effects of biochar on the ecological performance of a subtropical landfill. *Science of The Total Environment*, 644, 963-975. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.379>
- Cooper, J., Greenberg, I., Ludwig, B., Hippich, L., Fischer, D., Glaser, B., & Kaiser, M. (2020). Effect of biochar and compost on soil properties and organic matter in aggregate size fractions under field conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 295, 106882. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106882>
- Cui, L., Pan, G., Li, L., Bian, R., Liu, X., Yan, J., ... & Liu, Y. (2016). Continuous immobilization of cadmium and lead in biochar amended contaminated paddy soil: a five-year field experiment. *Ecological engineering*, 93, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.007>
- Dai, Z., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, P. C., & Xu, J. (2017). Potential role of biochars in decreasing soil acidification—A critical review. *Science of the Total Environment*, 581, 601-611. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.034>
- De Medeiros, E. V., Silva, A. O., Duda, G. P., dos Santos, U. J., & de Souza Junior, A. J. (2019). The combination of *Arachis pintoi* green manure and natural phosphate improves maize growth, soil microbial community structure and enzymatic activities. *Plant and soil*, 435(1-2), 175-185. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3887-z>
- Dominguez, E. L., Uttran, A., Loh, S. K., Manero, M. H., Upperton, R., Tanimu, M. I., & Bachmann, R. T. (2020). Characterisation of industrially produced oil palm kernel shell biochar and its potential as slow release nitrogen-phosphate fertilizer and carbon sink. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.143>
- Dos Santos Araújo, V., da Silva, G. B., Galvão, J. R., do Amarante, C. B., Silvestre, W. V. D., & Gonçalves, D. A. M. (2020). Microrganismos potenciais e incremento de biomassa em grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud.). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(1), 309-320. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0028>
- Dubey, R. K., Dubey, P. K., Chaurasia, R., Singh, H. B., & Abhilash, P. C. (2020). Sustainable agronomic practices for enhancing the soil quality and yield of *Cicer arietinum* L. under diverse agroecosystems. *Journal of Environmental Management*, 262, 110284. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110284>
- Eivazi, F., Tabatabai, M.A., 1977. Phosphatases in soils. *Soil Biol. Biochem.* 9, 167–172. [http://dx.doi.org/10.1016/0038717\(77\)90070-0](http://dx.doi.org/10.1016/0038717(77)90070-0).
- Farkas, É., Feigl, V., Gruiz, K., Vaszita, E., Ujaczki, É., Fekete-Kertész, I., ... & Rékási, M. (2018). Microcosm incubation study for monitoring the mid-term effects of different biochars on acidic sandy soil applying a multiparameter approach. *Process Safety and Environmental Protection*, 120, 24-36. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.08.027>
- Farkas, É., Feigl, V., Gruiz, K., Vaszita, E., Fekete-Kertész, I., Tolner, M., ... & Rékási, M. (2020). Long-term effects of grain husk and paper fibre sludge biochar on acidic and calcareous sandy soils—A scale-up field experiment applying a complex monitoring toolkit. *Science of The Total Environment*, 138988. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138988>
- Ferjani, A. I., Jeguirim, M., Jellali, S., Limousy, L., Courson, C., Akrou, H., ... & Bennici, S. (2019). The use of exhausted grape marc to produce biofuels and biofertilizers: Effect of pyrolysis temperatures on biochars properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 425-433. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.034>
- Foster, E. J., Hansen, N., Wallenstein, M., Cotrufo, M. F. 2016. Biochar and manure amendments impact soil nutrients and microbial enzymatic activities in a semi-arid irrigated maize cropping system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 233, 404-414. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.029>.

- Giagnoni, L. et al. Long-term soil biological fertility, volatile organic compounds and chemical properties in a vineyard soil after biochar amendment. *Geoderma*, v. 344, p. 127-136, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.011>
- Guimarães, N. D. F., Gallo, A. D. S., Fontanetti, A., Meneghin, S. P., de Souza, M. D., Morinigo, K. P., & Silva, R. F. D. (2017). Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(1), 34-44. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA16041>
- Gupta, S., Kua, H. W., & Koh, H. J. (2018). Application of biochar from food and wood waste as green admixture for cement mortar. *Science of the Total Environment*, 619, 419-435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.044>
- Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., & Deng, H. (2015). Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 46-59. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.015>
- Igalavithana, A. D., Lee, S. E., Lee, Y. H., Tsang, D. C., Rinklebe, J., Kwon, E. E., & Ok, Y. S. (2017). Heavy metal immobilization and microbial community abundance by vegetable waste and pine cone biochar of agricultural soils. *Chemosphere*, 174, 593-603. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.148>
- Igalavithana, A. D., Yang, X., Zahra, H. R., Tack, F. M., Tsang, D. C., Kwon, E. E., & Ok, Y. S. (2018). Metal (loid) immobilization in soils with biochars pyrolyzed in N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> environments. *Science of the total environment*, 630, 1103-1114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.185>
- Kandeler, E., Gerber, H., 1988. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fertil. Soils*, 6,68-72. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00257924>
- Khadem, A., & Raiesi, F. (2017). Responses of microbial performance and community to corn biochar in calcareous sandy and clayey soils. *Applied Soil Ecology*, 114, 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.018>
- Khadem, A., & Raiesi, F. (2017). Influence of biochar on potential enzyme activities in two calcareous soils of contrasting texture. *Geoderma*, 308, 149-158. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.004>
- Kirinus, M. B. M., Barreto, C. F., Silva, P. S., Krolow, A. C. R., Gomes, C. B., & Malgarim, M. B. (2018). Uso da torta de mamona na produção orgânica de morangos cv. Camarosa. *Agrarian*, 11(39), 1-5. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i39.5263>
- Kwak, J. H., Islam, M. S., Wang, S., Messele, S. A., Naeth, M. A., El-Din, M. G., & Chang, S. X. (2019). Biochar properties and lead (II) adsorption capacity depend on feedstock type, pyrolysis temperature, and steam activation. *Chemosphere*, 231, 393-404. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.128>
- Kamran, Muhammad Aqeel et al. Amelioration of soil acidity, Olsen-P, and phosphatase activity by manure-and peat-derived biochars in different acidic soils. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 11, n. 11, p. 272, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3616-1>
- Liu, Y., Tang, H., Muhammad, A., & Huang, G. (2019). Emission mechanism and reduction countermeasures of agricultural greenhouse gases—a review. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 9(2), 160-174. <https://doi.org/10.1002/ghg.1848>
- Lima, J. R. S., Silva, W. M., Medeiros, E. V., Duda, G. P., Corrêa, M. M., Martins Filho, A. P., Clermont-Dauphin, C., Antonino, A. C. D., Hammecker, C. 2018. Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. *Geoderma*, 319, 14 - 23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.016>
- Lu, H., Yan, M., Wong, M. H., Mo, W. Y., Wang, Y., Chen, X. W., & Wang, J. J. (2020). Effects of biochar on soil microbial community and functional genes of a landfill cover three years after ecological restoration. *Science of The Total Environment*, 717, 137133.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137133>  
3

- Lu, H., Li, Z., Fu, S., Méndez, A., Gascó, G., & Paz-Ferreiro, J. (2015). Combining phytoextraction and biochar addition improves soil biochemical properties in a soil contaminated with Cd. *Chemosphere*, 119, 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.06.024>
- Manzano, R., Diquattro, S., Roggero, P. P., Pinna, M. V., Garau, G., & Castaldi, P. (2020). Addition of softwood biochar to contaminated soils decreases the mobility, leachability and bioaccessibility of potentially toxic elements. *Science of The Total Environment*, 139946. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139946>
- Manirakiza, E., Ziadi, N., Luce, M. S., Hamel, C., Antoun, H., & Karam, A. (2019). Nitrogen mineralization and microbial biomass carbon and nitrogen in response to co-application of biochar and paper mill biosolids. *Applied Soil Ecology*, 142, 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.025>
- Martins Filho, A. P., de Medeiros, E. V., de Sousa Lima, J. R., Duda, G. P., de Moraes Silva, W., Antonino, A. C. D., & da Silva, J. S. A. (2020). Impact of coffee biochar on soil carbon, microbial biomass and enzymatic activities in Semiarid Sandy soil cultivated with maize. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(02), 903-914.
- Mendonça, E. de S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. UFV, 2005.
- Molnár, M., Vaszita, E., Farkas, É., Ujaczki, É., Fekete-Kertész, I., Tolner, M., ... & Feigl, V. (2016). Acidic sandy soil improvement with biochar—A microcosm study. *Science of the Total Environment*, 563, 855-865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.091>
- Nguyen, Thi Thu Nhan et al. The effects of short term, long term and reapplication of biochar on soil bacteria. *Science of the Total Environment*, v. 636, p. 142-151, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.278>
- Nielsen, S., Joseph, S., Ye, J., Chia, C., Munroe, P., van Zwieten, L., & Thomas, T. (2018). Crop-season and residual effects of sequentially applied mineral enhanced biochar and N fertiliser on crop yield, soil chemistry and microbial communities. *Agriculture, ecosystems & environment*, 255, 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.020>
- Novak, J. M., Ippolito, J. A., Lentz, R. D., Spokas, K. A., Bolster, C. H., Sistani, K., ... & Johnson, M. G. (2016). Soil health, crop productivity, microbial transport, and mine spoil response to biochars. *BioEnergy Research*, 9(2), 454-464. <https://doi.org/10.1007/s12155-016-9720-8>
- Onorevoli, B., da Silva Maciel, G. P., Machado, M. E., Corbelini, V., Caramão, E. B., & Jacques, R. A. (2018). Characterization of feedstock and biochar from energetic tobacco seed waste pyrolysis and potential application of biochar as an adsorbent. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(1), 1279-1287. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.039>
- Quan, G., Fan, Q., Zimmerman, A. R., Sun, J., Cui, L., Wang, H., ... & Yan, J. (2020). Effects of laboratory biotic aging on the characteristics of biochar and its water-soluble organic products. *Journal of hazardous materials*, 382, 121071. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121071>
- Rafael, R. B. A., Fernández-marcos, M. L., Cocco, S., Ruello, M. L., Fornasier, F., & Corti, G. (2019). Benefits of biochars and NPK fertilizers for soil quality and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in an acid Arenosol. *Pedosphere*, 29(3), 311-333. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(19\)60805-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(19)60805-2)
- Rani, P., Mishra, A. R., Mardani, A., Cavallaro, F., Alrasheedi, M., & Alrashidi, A. (2020). A novel approach to extended fuzzy TOPSIS based on new divergence measures for renewable energy sources selection. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120352>
- Randolph, P., Bansode, R. R., Hassan, O. A., Rehrah, D. J., Ravella, R., Reddy, M. R., ... & Ahmedna, M. (2017). Effect of biochars produced from solid organic municipal waste on soil quality parameters. *Journal of environmental management*, 192, 271-280. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.061>
- Rathnam, V. M., Modak, J. M., & Madras, G. (2020). Non-catalytic transesterification of dry microalgae to fatty acid ethyl esters using supercritical ethanol and ethyl acetate. *Fuel*,

275,117998.<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117998>

(Dissertação de mestrado). Alagoas-PE. Universidade Federal de Alagoas.

- Şanlı, B. G., Uludamar, E., & Özcanlı, M. (2019). Evaluation of energetic-exergetic and sustainability parameters of biodiesel fuels produced from palm oil and opium poppy oil as alternative fuels in diesel engines. *Fuel*, 258, 116116.<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116116>
- Steinmuller, H. E., Dittmer, K. M., White, J. R., & Chambers, L. G. (2019). Understanding the fate of soil organic matter in submerging coastal wetland soils: A microcosm approach. *Geoderma*, 337, 1267-1277. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.020>
- Shaaban, M., Van Zwieten, L., Bashir, S., Younas, A., Núñez-Delgado, A., Chhajro, M. A., ... & Hu, R. (2018). A concise review of biochar application to agricultural soils to improve soil conditions and fight pollution. *Journal of environmental management*, 228, 429-440. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.006>
- Shi, Y., & Liang, X. (2019). Novel carbon microtube based solid acid from pampas grass stick for biodiesel synthesis from waste oils. *Journal of Saudi Chemical Society*, 23(5), 515-524. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2018.09.004>
- Song, D., Tang, J., Xi, X., Zhang, S., Liang, G., Zhou, W., & Wang, X. (2018). Responses of soil nutrients and microbial activities to additions of maize straw biochar and chemical fertilization in a calcareous soil. *European journal of soil biology*, 84, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.11.003>
- Sun, Ke et al. Speciation of phosphorus in plant- and manure-derived biochars and its dissolution under various aqueous conditions. *Science of The Total Environment*, v. 634, p. 1300-1307, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.099>
- Tabatabai, M. A.; BremmeR, J.M. Assay of urease activity of soils. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 4, n.4, p.479-487. 1972.
- Tenório, F. A. (2017). Cultivo de feijão comum sob aplicação de biocarvão do endocarpo do Ouricuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc): atributos químicos e biológicos do solo. (Dissertação de mestrado). Alagoas-PE. Universidade Federal de Alagoas.
- Teutscherova, N., Lojka, B., Houška, J., Masaguer, A., Benito, M., & Vazquez, E. (2018). Application of holm oak biochar alters dynamics of enzymatic and microbial activity in two contrasting Mediterranean soils. *European journal of soil biology*, 88, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.06.002>
- Vincevica-Gaile, Z., Stankevica, K., Irtiseva, K., Shishkin, A., Obuka, V., Celma, S., ... & Klavins, M. (2019). Granulation of fly ash and biochar with organic lake sediments—A way to sustainable utilization of waste from bioenergy production. *Biomass and bioenergy*, 125, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.04.004>
- Wang H, Zheng H, Jiang Z, Dai Y, Liu G, Chen L, Wang Z (2017) Efficacies of biochar and biochar-based amendment on vegetable yield and nitrogen utilization in four consecutive planting seasons. *Sci Total Environ*. 593: 124-133. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.096>
- Yadav, V., Jain, S., Mishra, P., Khare, P., Shukla, A. K., Karak, T., & Singh, A. K. (2019). Amelioration in nutrient mineralization and microbial activities of sandy loam soil by short term field aged biochar. *Applied soil ecology*, 138, 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.01.012>
- Zhang, X., Guo, J., Vogt, R. D., Mulder, J., Wang, Y., Qian, C., ... & Zhang, X. (2020). Soil acidification as an additional driver to organic carbon accumulation in major Chinese croplands. *Geoderma*, 366, 114234. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114234>
- Zheng, J., Chen, J., Pan, G., Liu, X., Zhang, X., Li, L., ... & Jinwei, Z. (2016). Biochar decreased microbial metabolic quotient and shifted community composition four years after a single incorporation in a slightly acid rice paddy from southwest China. *Science of the Total Environment*, 571, 206-217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.135>