

ASPECTOS GERAIS DO USO DO BIOCHAR PARA SUSTENTABILIDADE COM ÊNFASE AOS ATRIBUTOS EDÁFICOS: A REVISÃO

DOI: 10.19177/rgsa.v9e0l2020301-319



Igor Polla Marcelino¹
Arcângelo Loss²
Marcio Antonio Nogueira Andrade³

RESUMO

A humanidade enfrenta crises, como a perda de fertilidade do solo, mudanças climáticas, aumento da demanda por alimentos, aumento na geração de resíduos, assim como a sua má gestão. O biochar é um material rico em carbono, produzido a partir do processo de pirólise de biomassa vegetal e, ou, animal, que vem sendo estudado e sugerido como um material apropriado para recuperação e aumento da fertilidade de solos, redução da emissão de gases efeito estufa, aumentar a produtividade das culturas, e melhorar a gestão de resíduos. Pode ainda servir para diminuição das contaminações ambientais por microrganismos patogênicos, metais pesados, pesticidas e contaminantes farmacêuticos, além de ter propriedades promissoras como filtro de água e de gases. Algumas questões do biocarvão ainda precisam ser resolvidas como o custo de implantação, o acompanhamento do processo de pirólise para evitar contaminações ambientais e concentração de alguns potenciais contaminantes do solo dependendo do material de origem. Em síntese, o biochar tem grande potencial de aplicação, por ajudar na sustentabilidade de desafios globais, por sua versatilidade de uso, proporcionar segurança sanitária, ser potencial

¹ Mestrando. Universidade Federal de Santa Catarina. igorpolla@gmail.com

² Pós-Doutor. Universidade Federal de Santa Catarina. arcangelo.loss@ufsc.br

³ Pós-Doutor. Universidade Federal de Santa Catarina. márcio.andrade@ufsc.br

mitigador de gases efeito estufa e por ser uma boa ferramenta para gestão de resíduos orgânicos.

Palavras-chave: Biocarvão. Digestato. Biogás. Resíduos orgânicos. Sequestro de carbono. Fertilidade do solo.

GENERAL ASPECTS OF THE USE OF BIOCHAR FOR SUSTAINABILITY WITH EMPHASIS ON EDAPHIC ATTRIBUTES: THE REVIEW

ABSTRACT

Humankind is facing crises, such as loss of soil fertility, climate change, increased demand for food, increased generation of waste, as well its poor management. Biochar is a material rich in carbon, produced from the pyrolysis process of vegetable and / or animal biomass, which has been studied and suggested as an appropriate material for the recovery and increase of soil fertility, reduction of greenhouse gas emissions, increase crop productivity, and improve waste management. It can also serve to reduce environmental contamination by pathogenic microorganisms, heavy metals, pesticides and pharmaceutical contaminants, in addition to have promising properties such as water and gas filters. Some biochar issues still need to be resolved, such as the cost of implantation, monitoring the pyrolysis process to avoid environmental contamination and concentration of some potential soil contaminants depending on the source material. In summary, biochar has great potential for application, as it helps in the sustainability of global challenges, because of its versatility of use, providing health security, being a potential mitigator of greenhouse gases and for being a good tool for the management of organic waste.

Keywords: Biochar. Digestate. Biogas. Organic waste. Carbon sequestration. Soil fertility.

1 INTRODUÇÃO

No contexto do desenvolvimento sustentável governos e sociedades têm importantes desafios a serem enfrentados. Quanto à questão ambiental há a necessidade premente de melhorar a gestão de resíduos, minorar a emissão de gases efeito estufa, utilizar com parcimônia e conservar os recursos hídricos. Ao mesmo tempo em que é preciso suprir a demanda energética e produzir alimentos em

quantidade e qualidade para promover o desenvolvimento humano e a qualidade de vida.

Assim, faz-se necessário a mudança do paradigma dominante, que utiliza os recursos naturais como se fossem ilimitados, sendo necessário a adoção de tecnologias que contribuam para a promoção do desenvolvimento sustentável em sua plenitude, seja do ponto de vista social, ambiental e econômico. Para tanto, a adoção de tecnologias que contemplem os três eixos indispensáveis ao desenvolvimento: conservação ambiental, geração de energia e produção de alimentos, são importantes para a seleção de uma tecnologia apropriada.

Neste contexto, é conveniente a adoção de energias renováveis, a conservação da água e a promoção da fertilidade do solo visando suprir nossas necessidades energéticas, segurança alimentar e sanitária.

A FAO (2018) projeta até 2050 um aumento da demanda mundial por alimentos decorrentes do crescimento populacional e do aumento do padrão de consumo dessa população. Neste contexto ocorre o aumento da demanda de nutrientes para atender o incremento de produção e produtividade de culturas agrícolas. Esta crescente demanda de alimentos e consequente aumento da produção de proteína animal leva ao conseqüente aumento da geração de dejetos animais e de outros resíduos, fazendo-se necessário o adequado tratamento destes resíduos. Caso a rota tecnológica a ser adotada para este tratamento seja incorporada a recuperação e aproveitamento dos nutrientes uma fonte alternativa que pode suprir em grande parte a demanda mundial de fertilizantes químicos, em especial a do Brasil, que consome atualmente em torno de 32 milhões de toneladas de fertilizantes por ano, das quais 75% são importados (Fongaro et al, 2016).

O biocarvão vem sendo sugerido como um material e ferramenta para se ter ganhos agrônômicos, ao melhorar os atributos edáficos, melhorando a saúde do solo e aumentando a produtividade das culturas. Há também ganhos ambientais e sanitários, ao transformar resíduos em potenciais produtos de valor agregado com segurança sanitária, ao diminuir ou eliminar potenciais riscos com agentes patogênicos, genes resistentes à antibióticos, contaminantes farmacêuticos, pesticidas e metais pesados. É uma das ferramentas para se combater as mudanças climáticas, uma vez que é rico em carbono recalcitrante e serve como sequestro de carbono no solo, além de ajudar a evitar a emissão de potenciais GEE como o óxido nitroso. Possui uma multifuncionalidade, podendo ser usado também como filtro de

água e gases, em substituição ao carvão ativado. Algumas questões ainda precisam ser resolvidas como o custo da tecnologia e a presença de alguns potenciais contaminantes ambientais.

Este trabalho apresenta uma revisão sobre os aspectos gerais do uso do biochar com ênfase nos atributos edáficos, abordando problemáticas globais relacionadas à sustentabilidade e as potencialidades do biochar como produto ou ferramenta para tornar os sistemas de tratamento de resíduos mais sustentáveis.

1.1 Geração de Resíduos: Oportunidades para o Biochar

O processamento anaeróbio de biomassa residual em biodigestores além de promover o tratamento de resíduos, através da remoção de carga orgânica, e possibilitar o aproveitamento energético do biogás gerado, permite a utilização do digestato como fertilizante.

O Brasil, devido as suas condições climáticas favoráveis, tendo a maior parte do seu território na zona intertropical, e possuidor de farta disponibilidade de biomassa, principalmente residual, apresenta grande potencial para geração de biogás, que é uma fonte de energia renovável promissora e em expansão no país. Porém essa capacidade é ainda subaproveitada, correspondendo atualmente a apenas 0,05% da matriz energética brasileira e com um potencial para suprir 24% (115 GWh) da demanda de energia elétrica e 44% da demanda por diesel por meio da geração de biogás a partir de resíduos urbanos, da pecuária e da agroindústria (EPE, 2017).

A adoção de uma tecnologia de geração de energia renovável a partir do processamento anaeróbio de biomassa, principalmente residual, é recomendável que todo o processo seja sustentável, e a destinação correta dos seus efluentes é parte importante e integrante deste sistema. Apesar deste crescimento e do apelo pela sustentabilidade associado à energia renovável da tecnologia do biogás, ainda não foram plenamente resolvidas as questões ambientais relativas ao aproveitamento dos efluentes dos biodigestores (digestato) para o uso agrícola (Kunz et al., 2019).

O digestato é uma biomassa residual resultante da digestão anaeróbia de substrato em reatores, chamados de biodigestores. Estes substratos podem ser oriundos de restos culturais, como a cultura do milho, mas preferencialmente de

resíduos de produção como os dejetos de animais (suínos, bovinos, etc), que contém alto poder de produção de biogás, transformando resíduos em matéria-prima. O efluente do biodigestor, contém alta carga de nutrientes como N, P, K e é frequentemente utilizado diretamente no solo como fertilizante e condicionador de solo na agricultura (Chambers; Taylor, 2013). Devido à alta quantidade de nutrientes e a falta de sanitização adequada do material, a sua aplicação no solo acaba causando problemas ambientais como eutrofização dos cursos da água superficiais, contaminação das águas subterrâneas, dispersão de patógenos e de genes resistentes a antibióticos, entre outros (Ito et al., 2016). Outra questão que é cada vez mais estudada e ainda não está resolvida é a poluição olfativa, e neste sentido os resíduos orgânicos têm grande impacto por seus odores fortes e desagradáveis, seja no local de processamento, assim como no transporte e na aplicação do material no campo (Silva; Marques, 2004).

É preciso atentar-se também para o fluxo de nutrientes em locais de alta concentração de produção de dejetos animais, uma vez que pode ocorrer a acumulação de nutrientes nos solos acima da capacidade agrônômica e dos limites críticos ambientais, gerando impactos ambientais (Aita et al., 2014). Portanto, o transporte desses dejetos ricos em nutrientes para locais com maior demanda é uma questão a ser levada em consideração para a sustentabilidade do sistema. Sendo assim, seria interessante a concentração dos nutrientes desses dejetos em um “produto” que diminua os custos e riscos sanitários do transporte, facilitando a exportação dessa matéria-prima. Este produto pode ser o biochar.

A transformação de resíduos orgânicos rurais e urbanos em biocarvão (biochar) através da pirólise para posterior aplicação no solo vem cada vez mais sendo estudada, especialmente devido o biochar ser um dos principais componentes da “Terra Preta de Índio”, um solo antropogênico fértil de regiões amazônicas (Lehmann; Joseph, 2009). O biochar é um material rico em carbono, produzido a partir do processo de pirólise da matéria orgânica, que consiste na queima de biomassa sem a presença de oxigênio, ou de forma limitada a temperaturas geralmente menores de 700°C (IBI, 2015).

A produção de biochar a partir destes resíduos de animais, assim como os florestais e o lodo municipal de esgoto podem servir como estratégia para gestão destes resíduos. Parte do biochar derivado deste processo pode ser aplicado no solo, aumentando a sua fertilidade e melhorando suas características físicas e biológicas.

Isso reflete direta e indiretamente no desenvolvimento e rendimento das culturas e, conseqüentemente, no sequestro de carbono. A outra parte do biochar pode ser adicionada a um sistema de digestão anaeróbica, aumentando a produção de biogás. Essa estratégia permite a integração de produção de energia mais limpa, redução de emissões de GEE e alteração positiva do solo (Wang et al., 2018).

A tecnologia do biochar traz benefícios não só no tratamento de resíduos, mas também no uso como matéria-prima com valor agregado. Em um sistema de gestão de resíduos orgânicos urbanos e rurais, ele ajudaria nas questões ambientais e sanitárias relacionadas ao processamento, armazenamento, transporte e uso dos resíduos para fins agrônômicos. Ao pirolisar os resíduos, os nutrientes ficam concentrados, há imobilização de metais tóxicos na forma de óxidos e silicatos, não são mais gerados odores desagradáveis no armazenamento, são sanitariamente seguros, facilitando assim o transporte e manuseio (Pham et al., 2013).

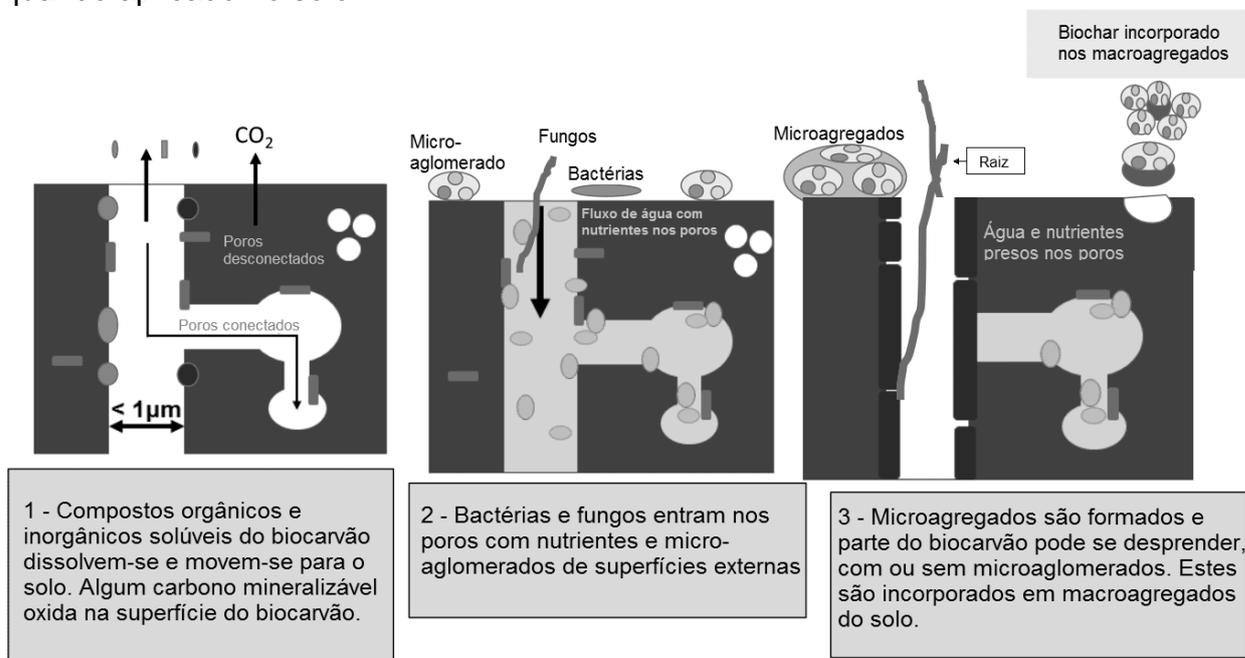
1.2 Características do Biochar e Seus Efeitos nos Atributos Edáficos

As características do biochar dependem geralmente do seu material de origem e do processo de pirólise. Materiais de origem animal, como dejetos, tendem a ter maior pH em comparação àqueles advindos de material vegetal, assim como maior quantidade de nutrientes, como N, P, K, S, Ca, Mg, devido à sua constituição química inicial e maior capacidade de troca catiônica, porém com menor quantidade de C (Singh et al., 2010). O biocarvão pode ser usado como substituição aos fertilizantes químicos, ou então ser usado como condicionador de solos, especialmente em solos intemperizados e de baixa fertilidade natural (Petter; Madari, 2012).

O aumento da produção de biomassa das plantas pode ser decorrente de melhorias na parte física, química e biológica do solo. Estudos mostram que o uso do biocarvão no solo favorece a maior capacidade de retenção de água, melhora a estabilidade dos agregados, aumenta porosidade e taxa de infiltração de água (Glaser et al., 2002; Verheijen et al., 2010; Liu et al., 2016), aumenta o pH e a CTC do solo (Lehmann et al., 2003), fornece nutrientes direta e indiretamente para as plantas (CHAN et al., 2008), melhora a saturação por bases (Schulz; Glaser, 2012), a disponibilidade de P (Yamato et al., 2006), além de favorecer as interações do solo com a microfauna (Ruivo et al., 2009). A Figura 1 mostra algumas relações físicas,

químicas e biológicas no biochar com o seu envelhecimento no solo, especialmente com relação à porosidade.

Figura 1: Principais alterações decorrentes do envelhecimento do biochar quando aplicado no solo.



Fonte: Adaptado de: <https://biochar.international/guides/properties-fresh-aged-biochar/> (acessado em 25/07/2019 15:30)

Os efeitos no solo, porém, variam com os tipos solos e biochar. Vários estudos relataram o seu potencial na melhoria da capacidade de retenção de água no solo. Na Tabela 1 verifica-se uma síntese dos principais resultados de alguns estudos que testaram o efeito do biocarvão na capacidade de retenção de água de solos com diferentes texturas. Além disso observa-se também os diferentes tipos de biochar, provenientes de diferentes materiais de origem e as diferentes taxas de aplicação no solo.

Em solos arenosos, os efeitos positivos foram observados em quase todos os estudos, enquanto em solos argilosos os efeitos neutros (zero) foram relatados com maior frequência. Os efeitos positivos foram geralmente relacionados à alta área superficial específica devido à estrutura porosa do biochar que favorece a retenção de água no solo (Tabela 1).

Tabela 1: Efeito do biochar na capacidade de retenção de água no solo (RAS) sob diferentes classes texturais e condições experimentais.

Referência	Material de produção do biochar	ASE	Taxa ⁽¹⁾	Textura	Local	RAS
		m ² g ⁻¹	% (peso/peso)			
Abel et al., (2013)	Milho, silagem de milho, madeira de faia	nd	1; 2,5; 5	argiloarenosa	C/L	+
Asai et al., (2009)	Madeira	nd	0,3; 0,6; 1,2	argiloarenosa	L	+
Basso et al., (2013)	Carvalho vermelho	nd	3; 6	francoarenosa	L	+
Brewer et al., (2012)	Palha de milho	4,5-8,5	0,5	areia franca	L	0
Brockhoff et al., (2010)	<i>Panicum virgatum</i>	21,6	5; 10; 15; 20; 25	areia	L	+
Chen et al., (2010)	Bagaço de cana e efluente agrícola	nd	3; 1	muito argilosa	C	+
Dempster et al., (2012a)	Eucalyptus	273	1,8	areia	L	+
Devereux et al., (2012)	Madeira	nd	1,5; 2,5; 5	areia franca	L	+
Fellet et al., (2011)	Resíduos de poda	141	1; 5; 10	argilosa	L	+
Ibrahim et al., (2013)	Madeira	nd	0,5; 1; 1,5; 2	francoarenosa	L	+
Jones et al., (2010)	Resíduos verdes	nd	2,4; 4,6	areia	L	+
Karhu et al., (2011)	Madeira de lei	3,6	0,3	francossiltosa	C	0
Laird et al., (2010)	Madeira	130-153	0,5; 1; 2	francoargilosa	L	+
Lei; zhang, (2013)	Dejetos bovinos e maravalha	14-124	5	franca	L	+
Liu et al., (2012)	Resíduos comerciais	nd	0,3; 0,6; 1,2 ⁽²⁾	areia franca	C	+
Pereira et al., (2012)	Madeira	nd	6; 12; 24	areia	L	+
Ulyett et al., (2014)	Madeira	nd	3	francoarenosa	L	+
Uzoma et al., (2011)	Dejetos de vaca	nd	0,4; 0,7; 0,9	areia	C	+
Zheng et al., (2013)	Gramíneas	2,84	1; 2; 5	francossiltosa	L	+

Fonte: Adaptado de Novotny *et al.* (2015). ASE: área superficial específica do biocarvão; L: laboratório; C: condições de campo; - e +: efeito negativo e positivo do biocarvão, respectivamente; 0: sem efeito; nd: não determinado. (1) Todos os estudos incluíram um tratamento controle, solo sem biochar. (2) Taxa de aplicação de biochar transformada em massa seca (p/p) considerando uma densidade do solo de 1,3 kg dm⁻³ para solos argilosos e siltosos; e 1,6 kg dm⁻³ para solos arenosos em profundidade de 10 cm (quando não especificado). (3) Porcentagens de taxa em uma base de volume (v/v).

Em relação aos riscos biológicos, resíduos orgânicos rurais contém patógenos e precisam de uma higienização adequada para sua utilização no ambiente (Fongaro, 2016). No estudo realizado por Zhou et al. (2018), os autores investigaram a redução da disseminação de genes de resistência a antibióticos (ARGs) e elementos genéticos móveis (MGEs) de biocarvão de dejetos suínos compostado em comparação com o processo de compostagem. O resultado mostrou que os solos tratados com biochar apresentaram presença significativamente menor de ARGs e MGEs em comparação aos solos com composto proveniente de compostagem, mostrando que a disseminação de ARGs de resíduos animais para o meio ambiente pode ser efetivamente mitigada pela conversão de dejetos de suínos em biocarvão. O total de ARGs nos solos tratados com biocarvão foi inclusive semelhante à dos solos controle durante o cultivo.

Além dos genes, a co-compostagem de digestato ou resíduos orgânicos com biochar leva a uma diminuição nas emissões de CH₄ e N₂O em comparação com a compostagem de dejetos (Vu et al., 2015). Glaser et al. (2015) verificaram que a adição de 10 Mg ha⁻¹ de biochar no composto levou a um aumento de 26% na produtividade de milho quando comparado ao composto puro.

Outros benefícios do processo de pirólise estão na eliminação de pesticidas, contaminantes químicos farmacêuticos e outros orgânicos, e a remoção de sementes de ervas daninhas e microrganismos indesejados nos resíduos, tais como patógenos humanos e vegetais (Navia et al., 2010).

Há estudos que associam a aplicação de biochar a um melhor desenvolvimento de microrganismos do solo, assim como de raízes (Atkinson et al., 2010) e como os biocarvões em geral são mais resistente à degradação microbiana, essas qualidades podem persistir por um longo tempo (Sohi et al., 2010). Entretanto, podem ocorrer efeitos negativos, sendo essa relação entre a atividade microbiana, processos biológicos e mudanças nas propriedades químicas e físicas do solo ainda em processo de estudo (Abujabhah et al., 2016).

Em relação a doenças em plantas, Carvalho et al. (2013) identificaram uma redução da infestação da brusone do arroz com a utilização de biochar de madeira. Elad et al. (2010) e Harel et al. (2012) relataram efeitos positivos do biocarvão na diminuição de infecções fúngicas foliares de tomate, pimenta e morango, indicando assim que a aplicação de biochar ao solo pode ser benéfica, trazendo um maior poder de resposta das plantas às doenças (Elad et al., 2012).

1.3 Biochar e Mudanças Climáticas: Gases de Efeito Estufa

A aplicação de biocarvão no solo é proposta como um mecanismo de sequestro de carbono, tendo sido incluída pela primeira vez em relatório do Painel Governamental Sobre Mudança Do Clima (IPCC) como uma promissora tecnologia de emissão negativa de carbono (NET) – tecnologias que resultam na remoção líquida de CO₂-Ce da atmosfera (IPCC, 2018). Sua aplicação gera ainda aumento do conteúdo de matéria orgânica no solo e fonte de energia e nutrientes para a biota do solo. Na avaliação do potencial sequestro de carbono pelo biocarvão, vários efeitos indiretos de sua aplicação também devem ser levados em conta, tais como o balanço do uso

de fertilizantes, as emissões de N₂O e CH₄, e o aumento de produtividade (Libra et al., 2011).

Schouten et al. (2012) analisaram as emissões de C no solo (na forma de C-CO₂ via respiração dos microrganismos) após a inc diferentes materiais em um solo arenoso em condições de laboratório. A adição de esterco bovino causou as maiores emissões de CO₂, (32%), seguido de digestato (18%) e do biocarvão, com as menores emissões (7%). As emissões de CO₂ do solo com biochar se estabilizaram após 40 dias da incubação, enquanto o solo incubado com digestato e esterco continuaram liberando CO₂, mostrando uma maior estabilidade no solo do C do biochar.

Woolf et al. (2010) estimaram o potencial de mitigação das mudanças climáticas do biochar com a redução líquida de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso em 1,8 Gt CO₂-Cequivalente (CO₂-Ce) anuais (de um total de 15.4 Pg CO₂-Ce) e 130 Gt CO₂-Ce no século, sem comprometer a conservação do solo, habitat e segurança alimentar. Comparou-se também o potencial de mitigação do biochar em relação à combustão da mesma biomassa obtida sustentavelmente para geração de energia e chegou-se a um potencial de 12% de mitigação do biochar e de 10% da combustão, exceto em áreas com solos férteis em que essa mesma biomassa é usada como combustível.

Em metanálise realizada por Borchard et al. (2018), a redução geral de emissões de N₂O pela aplicação de biochar no solo foram de 38%, enquanto a lixiviação de NO₃⁻ foi reduzida em 13% com o biochar, apresentando maiores reduções de lixiviação (> 26%) com experimentos mais longos (ou seja, > 30 dias). O biochar apresentou forte efeito na redução de emissão de N₂O em Anthrosol (solos antropogênicos) e Arenosols (solos arenosos). Por meio da metanálise verificou-se que o uso de biochar reduziu as emissões de N₂O e a lixiviação de NO₃⁻ em agricultura e horticultura, mas teve um efeito limitante nas perdas em pastagens e culturas perenes.

1.4 Desafios da Tecnologia do Biochar

Um dos desafios da tecnologia do biochar é a presença de alta quantidade de Al, Na, e Cu devido à alimentação dos animais, podendo, em altas quantidades, ser potencialmente prejudicial ao uso agrícola com culturas de interesse econômico

(Singh et al., 2010). Outro aspecto a ser considerado no processo de pirólise, é a quantidade de compostos aromáticos presentes no biocarvão. O estudo de Dempster et al. (2012b) apontou um possível efeito tóxico do biochar na biomassa microbiana do solo devido a seus hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e algumas substâncias compostas orgânicas voláteis. Em relação à riscos à saúde, Hale et al. (2012), verificaram que a maioria dos níveis de HPAs e dioxinas totais e biodisponíveis nos biochars de pirólise lenta estavam abaixo das diretrizes ambientais europeias para os níveis de toxinas nos solos, no entanto as concentrações para o biochar de gaseificação estavam acima desses níveis seguros.

Em relação aos custos para a produção do biochar, como sua produção no país é incipiente e os processos de pirólise para esse fim não são amplamente aplicados no mercado, a análise do custo para produção de biochar, considerando toda a cadeia de custos está em estágio de desenvolvimento. Os custos relacionados à pirólise do material e a construção do equipamento ainda são objeto de estudo. Há poucos estudos que realizam uma avaliação abrangente dos custos no ciclo de vida do sistema energético baseado em biochar e que considere cada etapa do ciclo de produção e uso. Homagain et al. (2016) ligam a viabilidade econômica do sistema de produção de bioenergia baseado em biochar, no Canadá, aos custos de pirólise, processamento de matéria-prima (secagem, moagem e peletização), coleta e transporte e valor de compensação total de carbono fornecida pelo sistema. Entretanto, ganhos nos sistemas de produção agrícola geralmente não são levados em consideração nos estudos econômicos e de ciclo de vida dos sistemas para produção de biochar, sendo necessário incluir este aspecto nos estudos para se ter uma avaliação mais fidedigna.

1.5 Multifuncionalidade do Biochar

O biocarvão ainda tem potencialidade como um material com multifuncionalidades. Usado como filtro, tem diversas vantagens em comparação com outros métodos de baixo custo existentes (filtro de areia, ebulição, desinfecção solar, cloração), tais como: é um adsorvente de baixo custo e renovável feito usando biomateriais e com material de fácil acesso e prontamente disponível, tornando-o apropriado à comunidades pobres; os métodos existentes eliminam

predominantemente patógenos, porém os biocarvões removem contaminantes químicos, biológicos e físicos; eles mantêm as propriedades da água, enquanto os métodos existentes, podem, por exemplo, aumentar as concentrações de contaminantes químicos (por exemplo, ferver a água) (Gwenzi et al., 2017).

Biocarvões de dejetos de suínos e lodo de esgoto mostraram boa remoção de H₂S de biogás, sendo assim substitutos viáveis e mais baratos que o carvão ativado (Xu et al., 2014), sendo ainda um material interessante por transformar um resíduo da produção em um material de valor agregado usado no próprio sistema. Pode ser usado também como material protetor de sementes em locais de reflorestamento como as “seedballs”, funcionando como capa protetora da semente contra animais e insetos, e na estação chuvosa são permeáveis o suficiente para que a semente possa germinar (Graves, 2013).

2 Considerações Finais

O biochar tem potencial para recuperação e melhoria da saúde de solos, redução das mudanças climáticas, aumento da produtividade das culturas, além de ser uma ferramenta importante para melhorar a gestão de resíduos, podendo ser usado para diferentes finalidades com risco sanitário diminuído ou eliminado. Pode ainda servir para diminuição das contaminações ambientais por microrganismos patogênicos, metais pesados, pesticidas e contaminantes farmacêuticos, além de ter propriedades promissoras como filtro de água e gases, sendo um produto com multifuncionalidade de aplicação e que pode ajudar a tornar os sistemas de produção mais sustentáveis.

Os custos da tecnologia do biocarvão, assim como de novas tecnologias, ainda precisam ser melhor estudadas, e é importante que os estudos englobem também os potenciais ganhos ou perdas na sustentabilidade dos sistemas, para assim se obter valores mais fundamentados para a adoção desta tecnologia. Riscos ambientais como a concentração de alguns potenciais contaminantes no biochar ao aplicá-lo no solo precisam ser levados em consideração, assim como a segurança do processo para os trabalhadores, para que a tecnologia seja na prática sustentável.

Pelo exposto anteriormente, o biochar tem grande potencial de aplicação, por ajudar na sustentabilidade de desafios globais, por sua versatilidade de uso, ter segurança sanitária, ser potencial mitigador de GEE e por ser uma boa ferramenta para gestão de resíduos orgânicos. O biocarvão é um meio para resolver potenciais

problemas, contudo não vem para resolver todos os problemas, uma vez que a maior parte destes problemas são causados pela insustentabilidade do modo como produzimos, consumimos e lidamos com os resíduos. Se a tecnologia vier acompanhada de uma perspectiva de mudança, tornando os sistemas mais sustentáveis, ela é um produto e uma ferramenta interessante, caso contrário será só mais uma tecnologia que tratará dos sintomas sem serem resolvidas as causas do problema.

REFERÊNCIAS

ABEL, Stefan et al. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, v. 202, p. 183-191, 2013.

ABUJABHAH, Ibrahim S. et al. The effect of biochar loading rates on soil fertility, soil biomass, potential nitrification, and soil community metabolic profiles in three different soils. **Journal of soils and sediments**, v. 16, n. 9, p. 2211-2222, 2016.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; PUJOL, S. B.; NICOLOSO, R. da S.; CORRÊA, J. C. Aproveitamento dos dejetos de suínos e bovinos como fertilizantes: impactos ambientais e estratégias de mitigação. Em: PALHARES, J. C. P.; GLEBER, L. (Ed.). **Gestão ambiental na agropecuária**. Brasília, DF: Embrapa, v. 2, p. 199-282, 2014.

ASAI, Hidetoshi et al. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. **Field crops research**, v. 111, n. 1-2, p. 81-84, 2009.

ATKINSON, Christopher J.; FITZGERALD, Jean D.; HIPPS, Neil A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and soil**, v. 337, n. 1-2, p. 1-18, 2010.

BASSO, Andres S. et al. Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. **Gcb Bioenergy**, v. 5, n. 2, p. 132-143, 2013.

BORCHARD, Nils et al. Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N₂O emissions: a meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 2354-2364, 2019.

BREWER, Catherine E. et al. Extent of pyrolysis impacts on fast pyrolysis biochar properties. **Journal of environmental quality**, v. 41, n. 4, p. 1115-1122, 2012.

BROCKHOFF, Shane R. et al. Physical and mineral-nutrition properties of sand-based turfgrass root zones amended with biochar. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 6, p. 1627-1631, 2010.

DE MELO CARVALHO, Marcia Thais et al. Biochar improves fertility of a clay soil in the Brazilian Savannah: short term effects and impact on rice yield. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)**, v. 114, n. 2, p. 101-107, 2013.

CHAMBERS, Brian J.; TAYLOR, Matthew. The use of digestate as a substitute for manufactured fertilizer. In: **Bioenergy Production by Anaerobic Digestion**. Routledge, 2013. p. 389-404.

CHAN, K. Y. et al. Using poultry litter biochars as soil amendments. **Soil Research**, v. 46, n. 5, p. 437-444, 2008.

CHEN, Yan; SHINOGI, Yoshiyuki; TAIRA, Masahiko. Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality. **Soil Research**, v. 48, n. 7, p. 526-530, 2010.

DEMPSTER, Daniel N.; JONES, Davey L.; MURPHY, Daniel V. Clay and biochar amendments decreased inorganic but not dissolved organic nitrogen leaching in soil. **Soil Research**, v. 50, n. 3, p. 216-221, 2012. 

DEMPSTER, D. N. et al. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1-2, p. 311-324, 2012.

DEVEREUX, Rachel C.; STURROCK, Craig J.; MOONEY, Sacha J. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. **Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, v. 103, n. 1, p. 13-18, 2012.

ELAD, Yigal et al. The biochar effect: plant resistance to biotic stresses. **Phytopathologia Mediterranea**, v. 50, n. 3, p. 335-349, 2011.

ELAD, Yigal et al. Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent. **Phytopathology**, v. 100, n. 9, p. 913-921, 2010.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética, **Impactos da participação do biogás e biometano na matriz energética**, São Paulo, 2017. Acessado em 28/07/2019 às 10:00 em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-244/topico->

257/EPE_IV%20FORUM%20BIOGAS_JOSE%20MAURO_2017_1710.pdf#search=biog%C3%A1s

FELLET, G. et al. Application of biochar on mine tailings: effects and perspectives for land reclamation. **Chemosphere**, v. 83, n. 9, p. 1262-1267, 2011.

FONGARO, Gislaine; **A Higienização de Dejetos suínícolas visando reciclo agrícola sanitariamente seguro**. 2016. 244 f. Tese, Programa de Biotecnologia e Biociência, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The State of Food and Agriculture 2018. Migration, agriculture and rural development**. Rome, 2018.

GLASER, Bruno; LEHMANN, Johannes; ZECH, Wolfgang. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. **Biology and fertility of soils**, v. 35, n. 4, p. 219-230, 2002.

GLASER, Bruno et al. Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for mineral fertilizers. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 2, p. 667-678, 2015.

GRAVES, D.; **Biochar and Soil Mix in Geo-Textile Bags Offers Improved Methods To Collect and Propagate Mycorrhizal Fungal Inocula**. n. June, p. 1, 2013

GWENZI, Willis et al. Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision. **Journal of environmental management**, v. 197, p. 732-749, 2017.

HALE, Sarah E. et al. Quantifying the total and bioavailable polycyclic aromatic hydrocarbons and dioxins in biochars. **Environmental science & technology**, v. 46, n. 5, p. 2830-2838, 2012.

HAREL, Yael Meller et al. Biochar mediates systemic response of strawberry to foliar fungal pathogens. **Plant and Soil**, v. 357, n. 1-2, p. 245-257, 2012.

HOMAGAIN, Krish et al. Life cycle cost and economic assessment of biochar-based bioenergy production and biochar land application in Northwestern Ontario, Canada. **Forest Ecosystems**, v. 3, n. 1, p. 21, 2016.

IBI - International Biochar Initiative. **Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil**. versão 2.1, novembro 2015

IBRAHIM, Hesham M. et al. Effect of Conocarpus biochar application on the hydraulic

properties of a sandy loam soil. **Soil science**, v. 178, n. 4, p. 165-173, 2013.

ITO, M.; GUIMARÃES, D.; AMARAL, G.; **Impactos ambientais da suinocultura: desafios e oportunidades**. Agroindústria BNDES Setorial 44, p. 125-156, 2016. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9974/2/BS%2044%20Impactos%20ambientais%20da%20suinocultura_P.pdf>.

JONES, Benjamin EH; HAYNES, R. J.; PHILLIPS, I. R. Effect of amendment of bauxite processing sand with organic materials on its chemical, physical and microbial properties. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 11, p. 2281-2288, 2010.

KARHU, Kristiina et al. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity—Results from a short-term pilot field study. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 140, n. 1-2, p. 309-313, 2011.

KUNZ, A. et al. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. **Embrapa Suínos e Aves-Livro científico (ALICE)**, concórdia; Sbera; Embrapa Suínos e Aves p. 95, 2019.

LAGHARI, Mahmood et al. Recent developments in biochar as an effective tool for agricultural soil management: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 15, p. 4840-4849, 2016.

Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental

LAIRD, David A. et al. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 443-449, 2010.

LEHMANN, Johannes et al. (Ed.). **Amazonian dark earths: origin properties management**. Springer Science & Business Media, 2007.

JOSEPH, Stephen. Socio-economic assessment and implementation of small-scale biochar projects. **Biochar for environmental management: Science and Technology, edited by: Lehmann, J. and Joseph, S., Earthscan, Sterling, VA, USA**, p. 359-374, 2009.

LEI, Ouyang; ZHANG, Renduo. Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, n. 9, p. 1561-1572, 2013.

LIBRA, Judy A. et al. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. **Biofuels**, v. 2, n. 1, p. 71-106, 2011.

LIU, Chen et al. Biochar increased water holding capacity but accelerated organic carbon leaching from a sloping farmland soil in China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 2, p. 995-1006, 2016.

LIU, Jie et al. Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, n. 5, p. 698-707, 2012.

NAVIA, R.; CROWLEY, D.E. Closing the loop on organic waste management: biochar for agricultural land application and climate change mitigation. **Waste Management and Research**, v.28, p.479-480, 2010.

NOVOTNY, Etelvino Henrique et al. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use-a critical review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 321-344, 2015.

PEREIRA, Rogério Gomes et al. Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 5, p. 716-721, 2012.

PETTER, Fabiano A.; MADARI, Beata E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 761-768, 2012.

PHAM, Mai et al. Effects of hydrothermal liquefaction on the fate of bioactive contaminants in manure and algal feedstocks. **Bioresource technology**, v. 149, p. 126-135, 2013.

PAINEL GOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (IPCC). **Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development**. Em: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, 2018 Disponível em:

<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf (Acessado em 30/07/2019 às 15h)

DE LP RUIVO, M. et al. Microbial population and biodiversity in Amazonian Dark Earth soils. In: **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision**. Springer, Dordrecht, 2009. p. 351-362.

SCHOUTEN, Socrates et al. Bioenergy from cattle manure? Implications of anaerobic digestion and subsequent pyrolysis for carbon and nitrogen dynamics in soil. **Gcb Bioenergy**, v. 4, n. 6, p. 751-760, 2012.

SCHULZ, Hardy; GLASER, Bruno. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, n. 3, p. 410-422, 2012.

DA SILVA, Glades Pinheiro; MARQUES, Sandra Márcia Tietz. Impacto dos maus odores decorrentes da suinocultura na saúde de moradores rurais no município de Concórdia, Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 3, n. 2, p. 135-141, 2004.

SINGH, Balwant; SINGH, Bhupinder Pal; COWIE, Annette L. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. **Soil Research**, v. 48, n. 7, p. 516-525, 2010.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R.; A review of biochar and its use and function in soil. em: **Advances in agronomy**. Academic Press, p. 47-82., 2010.

ULYETT, J. et al. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. **European Journal of Soil Science**, v. 65, n. 1, p. 96-104, 2014.

UZOMA, K. C. et al. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. **Soil use and management**, v. 27, n. 2, p. 205-212, 2011.



VERHEIJEN, F. et al. Biochar application to soils. **A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions**. **EUR**, v. 24099, p. 162, 2010.

VU, Quynh Duong et al. Greenhouse gas emissions from passive composting of manure and digestate with crop residues and biochar on small-scale livestock farms in Vietnam. **Environmental technology**, v. 36, n. 23, p. 2924-2935, 2015.

WANG, Gaojun et al. Impacts of different biochar types on hydrogen production promotion during fermentative co-digestion of food wastes and dewatered sewage sludge. **Waste management**, v. 80, p. 73-80, 2018.

WOOLF, Dominic et al. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature communications**, v. 1, p. 56, 2010.

XU, Xiaoyun et al. Comparison of sewage sludge-and pig manure-derived biochars for hydrogen sulfide removal. **Chemosphere**, v. 111, p. 296-303, 2014.

YAMATO, Masahide et al. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. **Soil science and plant nutrition**, v. 52, n. 4, p. 489-495, 2006.

ZHENG, Hao et al. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. **Geoderma**, v. 206, p. 32-39, 2013.

ZHOU, Xue et al. Turning pig manure into biochar can effectively mitigate antibiotic resistance genes as organic fertilizer. **Science of The Total Environment**, v. 649, p. 902-908, 2019.

