



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**BIOCHAR: RELAÇÃO COM A AGROECOLOGIA, STATUS DA PESQUISA E
MATÉRIAS-PRIMAS PROMISSORAS**

CANDELA MARIEL ARIAS

Araras

2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**BIOCHAR: RELAÇÃO COM A AGROECOLOGIA, STATUS DA PESQUISA E
MATÉRIAS-PRIMAS PROMISSORAS**

CANDELA MARIEL ARIAS MORALES

ORIENTADOR: PROF. DR. VICTOR AUGUSTO FORTI
COORIENTADORA: PROF. DRA. LAURA SIMÕES DA SILVA
COORIENTADOR: PROF. DR. MARCIO ROBERTO SOARES

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agroecologia e
Desenvolvimento Rural como requisito
parcial à obtenção do título de MESTRE
EM AGROECOLOGIA E
DESENVOLVIMENTO RURAL

Araras
2022

Candela Mariel, Arias

Biochar: relação com a agroecologia, status da pesquisa e matérias-primas promissoras. / Arias Candela Mariel -- 2022.
123f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras
Orientador (a): Victor Augusto Forti
Banca Examinadora: Victor Augusto Forti, Cristiane de Carvalho, Anastacia Fontanetti
Bibliografia

1. Pirólise. 2. Resíduos. 3. Web of science. I. Candela Mariel, Arias. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Candela Mariel Arias, realizada em 17/08/2022.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Victor Augusto Forti (UFSCar)

Profa. Dra. Cristiane de Carvalho (ETEC)

Profa. Dra. Anastacia Fontanetti (UFSCar)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural.

AGRADECIMENTOS

Ao Brasil, à vida, e à Universidade Pública, pela oportunidade de continuar meus estudos.

À minha família, pelo apoio e amor de sempre.

Aos meus orientadores e coorientadores por serem meus guias em meio a uma pandemia. Obrigada professores Victor Forti, Laura Simões e Márcio Soares pela compreensão, companheirismo e por sempre terem as palavras certas.

Ao corpo docente de todo o Programa de Pós-graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural.

À Cris, a secretária que tem sido um anjo para a turma de 2020.

Aos meus queridos colegas do mestrado, cujo apoio e poesia foram fundamentais para a culminância desta dissertação. Especialmente a Maeli, Jessi, Nati, Maicon e Marcelo, obrigada por estar sempre, apesar da distância.

A todas as pessoas que com palavras de incentivo e amor, mas também de luta e crítica me motivaram a escrever esta dissertação.

ÍNDICE DE FIGURAS	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iv
1 INTRODUÇÃO GERAL	01
1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	05
2 CAPÍTULO 1.....	19
2.1 RESUMO.....	29
2.2 INTRODUÇÃO.....	20
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS	22
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
2.4.1 BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DE BIOCHAR	23
2.4.1.2.1 CONTRIBUIÇÕES DO BIOCHAR PARA O CUMPRIMENTO DO PRINCÍPIO UM: GARANTIR CONDIÇÕES FAVORÁVEIS DO SOLO PARA O CRESCIMENTO DAS PLANTAS.....	25
2.4.1.2.2 CONTRIBUIÇÕES DO BIOCHAR PARA O CUMPRIMENTO DO PRINCÍPIO DOIS: OTIMIZAR A DISPONIBILIDADE E A CICLAGEM DE NUTRIENTES.....	27
2.4.1.2.3 CONTRIBUIÇÕES DO BIOCHAR PARA O CUMPRIMENTO DO PRINCÍPIO TRÊS: MINIMIZAR AS PERDAS DEVIDO AOS FLUXOS DE RADIAÇÃO SOLAR, AR E ÁGUA.....	29
2.4.1.3 BIOCHAR E SUA RELAÇÃO COM A RESILIÊNCIA DO SOLO.....	30
2.4.2 IMPACTO SOCIAL DE BIOCHAR	32
2.4.3. IMPACTO ECONÔMICO DE BIOCHAR	35
2.4.4 CONSIDERAÇÕES PARA UM USO SUSTENTÁVEL.....	38
2.5 CONCLUSÕES	39
2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
3. CAPÍTULO 2.....	56

3.1 RESUMO.....	56
3.2 INTRODUÇÃO.....	58
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	61
3.3.1 LEVANTAMENTO E TRIAGEM DE PUBLICAÇÕES.....	61
3.3.2 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	62
3.4 RESULTADOS	64
3.4.1 ANALISE BIBLIOMÉTRICA.....	65
3.4.1.1 PUBLICAÇÕES SOBRE BIOCHAR ASSOCIADAS A INSTITUIÇÕES BRASILEIRAS.....	65
3.4.1.2 PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES DE PESQUISA.....	65
3.4.1.3 COOPERAÇÕES INTERNACIONAIS	66
3.4.1.4 PRINCIPAIS PESQUISADORES VINCULADOS À PESQUISA COM BIOCHAR	67
3.4.1.5 MAPEAMENTO CIENTÍFICO (SCIENTIFIC MAPPING).....	68
3.4.1.5.1 ANÁLISE CO-AUTORIA (CO-AUTHORSHIP).....	68
3.4.1.5.2 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DAS PALAVRAS-CHAVES	69
3.4.2 ANÁLISE DAS PRINCIPAIS MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE BIOCHAR	72
3.5 DISCUSSÃO	76
3.6 CONCLUSÕES	78
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Colaboração do Biochar em conformidade com os princípios um, dois e três da agricultura sustentável.....	23
Figura 2. Número de artigos científicos sobre biochar publicados por pesquisadores de instituições brasileiras entre os anos de 2003 e 2021, indexados no Web of Science.....	65
Figura 3. Número de artigos científicos sobre biochar publicados por pesquisadores de Instituições Brasileiras considerando as principais instituições de origem dos pesquisadores, entre os anos de 2003 e 2021, indexados no Web of Science.....	66
Figura 4. Principais países relacionados às instituições brasileiras em artigos científicos sobre biochar publicados no Brasil entre os anos de 2003 e 2021, indexados no <i>Web of Science</i>	67
Figura 5. Número de artigos científicos sobre biochar publicados no Brasil, considerando os principais pesquisadores, entre os anos de 2003 e 2021, indexados no Web of Science.....	68
Figura 6. Mapa de coautoria e as relações entre os grupos de autores (a) e coautoria no tempo (b) em artigos científicos sobre biochar publicados no Brasil, entre os anos de 2003 e 2021, indexados no Web of Science.....	69
Figura 7. Mapa de palavras-chave e as relações entre elas (a) e palavras-chave ao longo do tempo (b) em artigos publicados sobre biochar no Brasil, entre os anos de 2003 e 2021, indexados no Web of Science.....	71
Figura 8. Classificação das matérias-primas utilizadas em pesquisa sobre biochar no Brasil em artigos indexados no Web of Science entre os anos de 2003 a 2021.....	72
Figura 9. Classificação das matérias-primas de origem vegetal (A) e origem animal (B) utilizadas em pesquisa sobre Biochar no Brasil em artigos indexados no <i>Web of Science</i> entre os anos de 2003 a 2021.....	73

BIOCHAR: RELAÇÃO COM A AGROECOLOGIA, STATUS DA PESQUISA E MATÉRIAS-PRIMAS PROMISSORAS

Autor: CANDELA MARIEL ARIAS MORALES

Orientador: PROF. DR. VICTOR AUGUSTO FORTI

Coorientadora: PROF. DRA. LAURA SIMÕES DA SILVA

Coorientador : PROF. DR. MARCIO ROBERTO SOARES

RESUMO

Para reduzir os impactos ambientais provocados por boa parte dos sistemas de produção de alimentos e matérias-primas, é fundamental mudar o paradigma da produção agrícola para o da sustentabilidade. Nesse contexto, a agroecologia se apresenta como ciência, prática e movimento que fornece ferramentas para o desenvolvimento de sistemas agrícolas que impactem positivamente as esferas social, ambiental e econômica. Diversas ferramentas podem ser desenvolvidas visando o fortalecimento de práticas sustentáveis e, dentre elas, o uso de biochar ganha destaque. A presente dissertação tem como objetivo compreender a relação do uso do biochar no contexto da agroecologia, analisar a situação da pesquisa e divulgação sobre biochar no Brasil, bem como as matérias-primas utilizadas para sua produção. Para isso, inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica, utilizando a base *Web of Science*, a fim de compreender o impacto do biochar nas esferas social, ambiental e econômica relacionadas à agroecologia. Em seguida, foi realizada uma revisão bibliográfica e bibliométrica, utilizando oSoftware *VosViewer* visando identificar os países, pesquisadores e instituições que mais colaboraram nas referidas investigações e as matérias-primas mais promissoras para a produção deste insumo. Como vantagens ambientais, o biochar contribui para o aumento da produtividade reduzindo os impactos aos recursos naturais por melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, além de contribuir para a redução do volume de resíduos agropecuários gerados, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa. Em relação aos benefícios sociais e econômicos, destaca-se a maior

autonomia dos agricultores com relação ao mercado dos fertilizantes, redução nos custos de produção e a geração de renda extra com a comercialização do produto final. A análise bibliométrica permitiu identificar que as publicações sobre o biochar no contexto agrícola brasileiro tiveram início em 2003, com tendência de ascensão a partir de 2015 e pico no ano de 2021. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) foi a instituição com maior contribuição de publicações científicas, tendo Novotny E. e Madari B. como autores mais proeminentes. Foram identificados importantes colaborações em pesquisas sobre biochar no Brasil com pesquisadores de outros países, com destaque para Espanha e Estados Unidos. Os materiais de origem vegetal são os mais utilizados para a produção de biochar no Brasil, principalmente os oriundo de madeira. Foi notada uma evidente e promissora tendência de uso de resíduos vegetais da indústria sucroenergética e de materiais de origem animal, com destaque para a cama de frango. Apesar da elevada oferta de matéria-prima, são necessários estudos regionais que abordem o uso de matérias-primas disponíveis, ressaltando a potencialidade que o biochar pode ter para solucionar problemas relacionados ao gerenciamento de resíduos urbanos ou ao reaproveitamento de resíduos de origem animal.

Palavras-chave: agricultura sustentável; conhecimento ecológico tradicional; manejo do solo; pirólise; resíduos; terra preta de índio; Vosviewer; Web Of Science.

BIOCHAR: RELATIONSHIPS WITH AGROECOLOGY, RESEARCH STATUS, AND PROMISING RAW MATERIALS

Author: CANDELA MARIEL ARIAS MORALES

Adviser: PROF. DR. VICTOR AUGUSTO FORTI

Co-adviser: PROF. DR. LAURA SIMÕES DA SILVA

Co-adviser: PROF. DR. MARCIO ROBERTO SOARES

ABSTRACT

To reduce the environmental impacts caused by most food and raw material production systems, it is essential to change the paradigm of agricultural production to that of sustainability. In this context, agroecology presents itself as a science, practice and movement that provides tools for the development of agricultural systems that positively impact the social, environmental and economic spheres. Several tools can be developed to strengthen sustainable practices and, among them, the use of biochar. This dissertation aims to understand the relationship between the use of biochar in the context of agroecology, to analyze the situation of research and dissemination on biochar in Brazil, as well as the raw materials used for its production. For this, a bibliographic review was initially carried out, using the Web of Science database, in order to understand the impact of biochar in the social, environmental and economic spheres related to agroecology. Then, a bibliographic and bibliometric review was carried out, using the Software VosViewer, aiming to identify the countries, researchers and institutions that most collaborated in these investigations and the most promising raw materials for the production of this input. As environmental advantages, biochar contributes to increased productivity by reducing impacts on natural resources by improving the physical, chemical and biological attributes of the soil, in addition to contributing to the reduction of the volume of agricultural waste generated, reducing greenhouse gas emissions.. Regarding the social and economic benefits, the farmers have greater autonomy in relation to the fertilizer market, the reduction in production costs and the

generation of extra income with the commercialization of the final product. The bibliometric analysis allowed us to identify that publications on biochar in the Brazilian agricultural context began in 2003, with a tendency to rise from 2015 and peak in 2021. The Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA) was the institution with the greatest contribution of scientific publications, with Novotny E. and Madari B. as the most prominent authors. Important collaborations in research on biochar in Brazil with researchers from other countries were identified, especially Spain and the United States. Materials of plant origin are the most used for the production of biochar in Brazil, especially those from wood. There was an evident and promising trend in the use of plant residues from the sugar-energy industry and materials of animal origin, with emphasis on poultry litter. Despite the high supply of raw materials, regional studies are needed that address the use of available raw materials, highlighting the potential that biochar can have to solve problems related to the management of urban waste or the reuse of waste of animal origin.

Key-words: pyrolysis; soil management, sustainable agriculture; terra preta do indio, traditional ecological knowledge; waste; Vosviewer; Web Of Science.

1. INTRODUÇÃO GERAL

No último século, a agricultura iniciou o processo de industrialização. No Brasil, esta industrialização se consolidou-se na década de 1960 com a utilização de insumos industriais (fertilizantes, defensivos, corretivos, sementes melhoradas geneticamente, combustíveis líquidos, etc.), máquinas industriais (tratores, colhedoras, implementos, equipamentos de irrigação e outros) e pela comercialização de alimentos e matérias-primas para outros ramos industriais, com vistas ao aumento da produtividade (BORGES DE SOUZA; CAUME; BRASIL, 2008). O aumento da produção e produtividade foi possível, na maioria dos casos, por meio de uma gestão agrícola intensiva (GLIESSMAN, 2002). Em consequência, nas últimas décadas, setenta por cento do aumento da produção agrícola nos países em desenvolvimento ocorreu devido ao uso de variedades de alto rendimento, agrotóxicos, irrigação, mecanização e fertilizantes sintéticos (ARIZPE; GIAMPIETRO; RAMOS-MARTIN, 2003; DEFRIES; ROSENZWEIG, 2010; PIMENTEL et al., 2008).

O uso irracional de insumos e a intensificação da mecanização agrícola na agricultura dominante posicionaram esse setor como um dos principais causadores de ameaças socioambientais, tais como as mudanças climáticas, a poluição da água, a perda de biodiversidade, a contaminação de alimentos, o impacto negativo sobre a saúde dos agricultores e dos consumidores, as emissões de gases de efeito estufa e a degradação ou o esgotamento do solo (BLESH; WOLF, 2014; GOMIERO, 2016; SARANDÓN; FLORES, 2009; SMITH et al., 2007b; TUBIELLO et al., 2014), deixando a agricultura longe de seu objetivo de garantir a segurança alimentar global e, além disso, colocando-a em grave risco.

Apesar de o solo ser um recurso fundamental para a vida na Terra e para a agricultura em particular, no ano 2016, a *Food Agriculture Organization* (FAO) estimou que 33% das terras do mundo foram consideradas entre moderada a altamente degradadas devido à processos de erosão, compactação, salinização, acidificação e contaminação química dos solos.

Além disso, o desmatamento associado à conversão de florestas para outros tipos de uso da terra, como agricultura ou pastagem, contribui para as emissões de gases de efeito estufa por meio da combustão da biomassa florestal e da decomposição do material vegetal (VAN DER WERF et al., 2009; YUSUF A.S et al., 2020).

Diante do exposto, não há dúvidas que enfrentamos um dos maiores desafios do século XXI, o de atender às crescentes necessidades alimentares da sociedade e, ao mesmo tempo, reduzir os danos ambientais da agricultura (FOLEY et al., 2011). Paradoxalmente, assim como o manejo agrícola tem sido capaz de erodir solos, promover o desmatamento, emitir gases de efeito estufa, reduzir a diversidade biológica e colocar a população em risco com o uso indiscriminado de agrotóxicos, também tem enorme potencial para restaurar solos, capturar gases de efeito estufa, aumentar a biodiversidade e melhorar a saúde das comunidades. No entanto, para atingir esse desafio é necessário fazer grandes mudanças na gestão agrícola (DING et al., 2016) e desenvolver práticas de manejo que visem mitigar o impacto da agricultura dominante.

Em oposição à agricultura simplificada e suas tecnologias agrícolas, herdadas da Revolução Verde, no final do século passado surgiu a agroecologia (ASTIER et al., 2017), atualmente considerada uma ciência transdisciplinar (ERNESTO MÉNDEZ; BACON; COHEN, 2013; FRANCIS et al., 2011) que questiona os modelos agroalimentares e propõe soluções que visam modificar os cenários atuais e futuros.

A agroecologia é apresentada como ciência, prática e movimento. Do ponto de vista científico-prático, a agroecologia estuda elementos da ecologia e dos sistemas agrícolas tradicionais que podem ser aplicados ao desenvolvimento de agroecossistemas sustentáveis. Como movimento segue a premissa de desenvolver agroecossistemas que conservem os recursos naturais, minimizem os impactos ambientais negativos e sejam culturalmente sensíveis, socialmente justos e economicamente viáveis (ALTIERI, 2015; ASTIER et al., 2017; GARCIA-POLO et al., 2021; WEZEL et al., 2009).

Uma das estratégias da agroecologia é estudar a história dos povos indígenas para se munir de ferramentas que possam nos ajudar a encontrar

respostas para diversos problemas ambientais atuais. As estratégias praticadas pelas culturas indígenas e locais fornecem uma fonte extraordinária de conhecimento a partir do qual soluções inovadoras podem ser derivadas para enfrentar os desafios presentes e futuros (LAUREANO, 2007). A história desses povos, bem como os conhecimentos dela derivados, são conceituados como conhecimentos ecológicos tradicionais.(MARTIN et al., 2010)

Há milhões de anos, os povos amazônicos pré-colombianos desenvolveram um solo atualmente conhecido como “Terra Preta de Índio” (TPI), que se caracteriza por sua aparência escura, e seus altos valores de fertilidade e resiliência em relação aos solos adjacentes que não foram modificados por esses povos (CUNHA et al., 2009; DE GISI; PETTA; WENDLAND, 2014; NOVOTNY et al., 2009).

Evidências como restos de cerâmicos e líticos encontrados nas TPIs sustentam a origem antrópica destes solos (GLASER et al., 2001). Entre as características relevantes das TPIs, quando comparados com os solos adjacentes, encontram-se o alto teor de carbono. Um hectare de Terra Preta de Índio pode conter 250 toneladas de carbono em uma profundidade de um metro. Em contraste, o mesmo volume de solo adjacente que não foi melhorado com biochar contém 100 toneladas de carbono.(FACTURA et al., 2010).

As TPIs também apresentam altos níveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), zinco, (Zn) manganês (Mn), cobre (Cu), nitrogênio (N) e potássio (K) (CARNEIRO et al., 2018; LIMA et al., 2002; SANTANA, 2012), maior capacidade de troca de cátions (CTC) e maior capacidade de retenção de água em comparação com os solos adjacentes ,altamente intemperizados, (SOMBROEK, 1965) que não foram modificados pelos povos pré-colombianos.

As características positivas das TPIs, para a agricultura, inspiraram diversos autores a desenvolver um material, atualmente conhecido como biochar ou biocarvão (BEZERRA et al., 2019). O biochar (junção das palavras em inglês “biomass” e “charcoal”) é definido como o carbono pirogênico obtido por meio da decomposição térmica de biomassa vegetal ou animal pelo processo de pirólise, sob condições limitadas de fornecimento de oxigênio e com diferentes temperaturas (de 200 °C a 700 °C) (LEHMANN, 2009).

A aplicação de biochar, além de melhorar os atributos do solo, traz outros benefícios como: aumento da produtividade (de 0 a 300%); diminui a emissão de metano e óxido nitroso (estimada em até 50%), diminui a necessidade de fertilizantes (estimada em 10%) e diminui a lixiviação de nutrientes (GAUNT; LEHMANN, 2007).

Apesar da crescente preocupação e publicações sobre o biochar poucos estudos realizaram a análise desse insumo no contexto agroecológico. Por esta razão, e com o intuito de manter no presente o conhecimento ecológico tradicional sobre o biochar protegido, esta dissertação apresenta em seu primeiro capítulo, uma análise deste insumo no contexto agroecológico, avaliando os benefícios sociais, ambientais e econômicos derivados do uso deste insumo em agroecossistemas de base agroecológica.

No segundo capítulo, foram analisadas as matérias-primas utilizadas na produção do biochar nos estudos realizados no Brasil. O Biochar também foi analisado como campo de estudo, por meio de uma análise bibliométrica, pois pouca pesquisa abordou a análise do desenvolvimento das frentes de busca com o domínio do biochar (WU et al., 2019). Desta forma, é importante reconhecer o potencial da análise bibliométrica como alternativa ou complemento dentro das revisões sistemáticas (DONTHU et al., 2021). As quais são usadas para decifrar o conhecimento científico acumulado, dando sentido a grandes volumes de informações e introduzindo rigor quantitativo na avaliação subjetiva da literatura. (DONTHU et al., 2021; ZUPIC; ČATER, 2015).

Objetivou-se, com esta pesquisa compreender a relação do uso do biochar dentro do contexto da agroecologia, além de analisar a situação da pesquisa e divulgação científica sobre biochar no Brasil, bem como as matérias-primas utilizadas para sua produção.

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELJAOUED, E.; BRULÉ, M.; TAYIBI, S.; MANOLAKOS, D.; OUKARROUM, A.; MONLAU, F.; BARAKAT, A. **Bibliometric analysis of the evolution of biochar research trends and scientific production.** [s.l.] : Springer Berlin Heidelberg, 2020. v. 22
- ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, [s. l.], v. 202–203, p. 183–191, 2013.
- ALMEIDA PRADO, F.; ATHAYDE, S.; MOSSA, J.; BOHLMAN, S.; LEITE, F.; OLIVER-SMITH, A. How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 53, p. 1132–1136, 2016.
- ALTIERI, M. A. Agroecology: principles and strategies for designing sustainable farming systems. [s. l.], n. 1, p. 1–5, 2004.
- ALTIERI, M. A. Agroecología : principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. [s. l.], n. June, 2015.
- ARIZPE, N.; GIAMPIETRO, M.; RAMOS-MARTIN, J. Critical Reviews in Plant Sciences Food Security and Fossil Energy Dependence : An International Comparison of the Use of Fossil Energy in Agriculture (1991-2003) Food Security and Fossil Energy Dependence : An Agriculture (1991-2003). [s. l.], n. February 2015, p. 37–41, 2003.
- ASAI, H.; SAMSON, B. K.; STEPHAN, H. M.; SONGYIKHANGSUTHOR, K.; HOMMA, K.; KIYONO, Y.; INOUE, Y.; SHIRAIWA, T.; HORIE, T. Field Crops Research Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1 . Soil physical properties , leaf SPAD and grain yield. [s. l.], v. 111, p. 81–84, 2009.
- ASTIER, M.; ARGUETA, J. Q.; OROZCO-RAMÍREZ, Q.; V. GONZALES, M.; MORALES, J.; GERRITSEN, P. R. W.; ESCALONA, M. A.; ROSADO-

- BARRERA, J.; CASTREJÓN, F.; MORALES, H.; SOTO, L.; MARIACA, R.; FERGUSON, B.; ROSSET, P.; RAMIREZ, H.; JARQUÍN, R.; GARCÍA-MOYA, F.; AMBROSION, M.; GONZALEZ-ESQUIVEL, C. Back to the roots : understanding current agroecological movement , science , and practice in Mexico. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 41, n. 3–4, p. 329–348, 2017.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 337, n. 1, p. 1–18, 2010.
- BANDARA, N. J. G. J.; HETTIARATCHI, J. P. A. Environmental impacts with waste disposal practices in a suburban municipality in Sri Lanka. **International Journal of Environment and Waste Management**, [s. l.], v. 6, n. 1–2, p. 107–116, 2010.
- BEZERRA, J.; TURNHOUT, E.; VASQUEZ, I. M.; RITTL, T. F.; ARTS, B.; KUYPER, T. W. The promises of the Amazonian soil: shifts in discourses of Terra Preta and biochar. **Journal of Environmental Policy and Planning**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 623–635, 2019.
- BIS, Z.; KOBYLECKI, R.; ŚCISŁOWSKA, M.; ZARZYCKI, R. Biochar – Potential tool to combat climate change and drought. **Ecohydrology and Hydrobiology**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 441–453, 2018.
- BLANCO-CANQUI, H. Biochar and Soil Physical Properties. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 81, n. 4, p. 687–711, 2017.
- BLESH, J.; WOLF, S. A. Transitions to agroecological farming systems in the Mississippi River Basin: toward an integrated socioecological analysis. **Agriculture and Human Values**, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 621–635, 2014.
- BORGES DE SOUZA, C.; CAUME, D. J.; BRASIL, M. S. CRÉDITO RURAL E AGRICULTURA FAMILIAR NO BRASIL. In: 2008, **Anais...** [s.l: s.n.]
- BREWER, C. E.; SCHMIDT-ROHR, K.; SATRIO, J. A.; BROWN, R. C. Characterization of Biochar from Fast Pyrolysis and Gasification Systems. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 386–396, 2009.
- BROCKHOFF, S. R.; CHRISTIANS, N. E.; KILLORN, R. J.; HORTON, R.;

- DAVIS, D. D. Physical and Mineral-Nutrition Properties of Sand-Based Turfgrass Root Zones Amended with Biochar. [s. l.], p. 1627–1631, 2010.
- BRUUN, E. W.; AMBUS, P.; EGSGAARD, H.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 46, p. 73–79, 2012.
- BUDAI, A.; ZIMMERMAN, A. R.; COWIE, A. L.; WEBBER, J. B. W.; SINGH, B. P.; GLASER, B.; MASIELLO, C. A.; ANDERSSON, D.; SHIELDS, F.; LEHMANN, J.; CAMPS ARBESTAIN, M.; WILLIAMS, M.; SOHI, S.; JOSEPH, S. Biochar Carbon Stability Test Method : An assessment of methods to determine biochar carbon stability. **International Biochar Initiative**, [s. l.], p. 1–10, 2013.
- CARNEIRO, J. S. D. S.; LUSTOSA FILHO, J. F.; NARDIS, B. O.; RIBEIRO-SOARES, J.; ZINN, Y. L.; MELO, L. C. A. Carbon Stability of Engineered Biochar-Based Phosphate Fertilizers. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, [s. l.], v. 6, n. 11, p. 14203–14212, 2018.
- CHAN, K. Y.; OATES, A.; SWAN, A. D.; HAYES, R. C.; DEAR, B. S.; PEOPLES, M. B. Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 89, n. 1, p. 13–21, 2006.
- CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**, [s. l.], v. 45, n. 8, p. 629–634, 2007.
- CLARE, A.; BARNES, A.; MCDONAGH, J.; SHACKLEY, S. From rhetoric to reality: Farmer perspectives on the economic potential of biochar in China. **International Journal of Agricultural Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 440–458, 2014.
- CLARE, A.; SHACKLEY, S.; JOSEPH, S.; HAMMOND, J.; PAN, G.; BLOOM, A. Competing uses for China's straw: The economic and carbon abatement potential of biochar. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 1272–1282, 2015.
- COOMES, O. T.; MILTNER, B. C. Indigenous Charcoal and Biochar Production: Potential for Soil Improvement under Shifting Cultivation Systems. **Land Degradation and Development**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 811–821, 2017.
- CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES,

- V. de M.; SANTOS, G. de A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 85–93, 2009.
- CURAQUEO, G.; MEIER, S.; KHAN, N.; CEA, M.; NAVIA, R. Use of biochar on two volcanic soils: Effects on soil properties and barley yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 911–924, 2014.
- DE GISI, S.; PETTA, L.; WENDLAND, C. History and technology of Terra Preta sanitation. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 1328–1345, 2014.
- DEFRIES, R.; ROSENZWEIG, C. Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 107, n. 46, p. 19627–19632, 2010.
- DEVEREUX, R. C.; STURROCK, C. J.; MOONEY, S. J. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. **Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, [s. l.], v. 103, n. 1, p. 13–18, 2012.
- DING, Y.; LIU, Y.; LIU, S.; LI, Z.; TAN, X.; HUANG, X.; ZENG, G.; ZHOU, L.; ZHENG, B. Biochar to improve soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 36, n. 2, 2016.
- DONTHU, N.; KUMAR, S.; MUKHERJEE, D.; PANDEY, N.; LIM, W. M. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, [s. l.], v. 133, n. March, p. 285–296, 2021.
- DURENKAMP, M.; LUO, Y.; BROOKES, P. C. Impact of black carbon addition to soil on the determination of soil microbial biomass by fumigation extraction. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 42, n. 11, p. 2026–2029, 2010.
- EL-NAGGAR, A.; LEE, S. S.; RINKLEBE, J.; FAROOQ, M.; SONG, H.; SARMAH, A. K.; ZIMMERMAN, A. R.; AHMAD, M.; SHAHEEN, S. M.; OK, Y. S. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. **Geoderma**, [s. l.], v. 337, n. May 2018, p. 536–554, 2019.
- ERNESTO MÉNDEZ, V.; BACON, C. M.; COHEN, R. Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 3–18, 2013.

FACTURA, H.; BETTENDORF, T.; BUZIE, C.; PIEPLOW, H.; RECKIN, J.; OTTERPOHL, R. Terra Preta sanitation: Re-discovered from an ancient Amazonian civilisation - Integrating sanitation, bio-waste management and agriculture. **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 61, n. 10, p. 2673–2679, 2010.

FAO. Los 10 Elementos de la agroecología, guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles. **L**, [s. l.], p. 12, 2018.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; CONNELL, C. O.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRO, J.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated planet. [s. l.], 2011.

FOWLES, M. Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], v. 31, n. 6, p. 426–432, 2007.

FRANCIS, C. A.; JORDAN, N.; PORTER, P.; BRELAND, T. A.; LIEBLEIN, G.; SALOMONSSON, L.; SRISKANDARAJAH, N.; WIEDENHOEFT, M.; DEHAAN, R.; BRADEN, I.; LANGER, V. Innovative education in agroecology: Experiential learning for a sustainable agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**, [s. l.], v. 30, n. 1–2, p. 226–237, 2011.

FURTADO, G. F.; CHAVES, L. H. G. Growth Rates and Sunflower Production in Function of Fertilization with Biochar and NPK. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 260, 2018.

FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Circular Economy Synergistic Opportunities of Decentralized Thermochemical Systems for Bioenergy and Biochar Production Fueled with Agro-industrial Wastes with Environmental Sustainability and Social Acceptance : a Review. [s. l.], 2018.

GALINDO-SEGURA, L. A.; PÉREZ VÁZQUEZ, A.; LANDEROS SÁNCHEZ, CESÁREO GÓMEZ-MERINO, F. C. Bibliometric analysis of scientific research on biochar Galindo-Segura,. **Journal of Fruit Science**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 723–733, 2020.

GAO, S.; HOFFMAN-KRULL, K.; DELUCA, T. H. Soil biochemical properties and crop productivity following application of locally produced biochar at organic

farms on Waldron Island, WA. **Biogeochemistry**, [s. l.], v. 136, n. 1, p. 31–46, 2017.

GARCIA-POLO, J.; FALKOWSKI, T. B.; MOKASHI, S. A.; LAW, E. P.; FIX, A. J.; DIEMONT, S. A. W. Restoring ecosystems and eating them too: guidance from agroecology for sustainability. **Restoration Ecology**, [s. l.], p. 1–7, 2021.

GAUNT, J. L.; LEHMANN, J. **Abstracts of the International Agrichar Initiative 2007 Conference, Terrigal, Australia, 2007**. [s.l: s.n.].

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 143, p. 757–768, 2017.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: A model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s. l.], v. 362, n. 1478, p. 187–196, 2007.

GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de índio). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, [s. l.], v. 82, p. 39–51, 2012.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, [s. l.], v. 88, n. 1, p. 37–41, 2001.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. [s. l.], p. 219–230, 2002.

GOMIERO, T. Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 1–41, 2016.

GURWICK, N. P.; MOORE, L. A.; KELLY, C.; ELIAS, P. A Systematic Review of Biochar Research, with a Focus on Its Stability in situ and Its Promise as a Climate Mitigation Strategy. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 8, n. 9, 2013.

IBRAHIM, H. M.; AL-WABEL, M. I.; USMAN, A. R. A.; AL-OMRAN, A. Effect of conocarpus biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. **Soil Science**, [s. l.], v. 178, n. 4, p. 165–173, 2013.

IPCC. **Mitigation of Climate Change**The Daunting Climate Change. [s.l: s.n.].

IPPOLITO, J. A.; LAIRD, D. A.; BUSSCHER, W. J. Environmental Benefits of Biochar. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 41, n. 4, p. 967–972, 2012.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources 2014 (update 2015). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.** [s.l: s.n.].

JATAV, H. S.; JAYANT, H.; KUMAR, S.; KUMAR, V.; CHATTOPADHYA, A.; DHAWAL, S.; SINGH, Y. Role of Biochar: In agriculture sector its implication and perspective. ~ **14 ~ International Journal of Chemical Studies**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 14–18, 2017.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 144, n. 1, p. 175–187, 2011.

JOSEPH, S. D.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; LIN, Y.; MUNROE, P.; CHIA, C. H.; HOOK, J.; VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; COWIE, A.; SINGH, B. P.; LEHMANN, J.; FOIDL, N.; SMERNIK, R. J.; AMONETTE, J. E. An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal of Soil Research**, [s. l.], v. 48, n. 6–7, p. 501–515, 2010.

KALUS, K.; KOZIEL, J. A.; OPALIŃSKI, S. A review of biochar properties and their utilization in crop agriculture and livestock production. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 17, 2019.

KAMALI, M.; JAHANINAFARD, D.; MOSTAFAIE, A.; DAVARAZAR, M.; GOMES, A. P. D.; TARELHO, L. A. C.; DEWIL, R.; AMINABHAVI, T. M. Scientometric analysis and scientific trends on biochar application as soil amendment. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 395, n. April, p. 125128, 2020.

KAMARA, A.; SORIE KAMARA, H.; SAIMAH KAMARA, M. Effect of Rice Straw Biochar on Soil Quality and the Early Growth and Biomass Yield of Two Rice Varieties. **Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 06, n. 08, p. 798–806, 2015.

- KÄMPF, N.; KERN, D. . O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. **Tópico em Ciência do Solo**, [s. l.], n. 2, p. 277–320, 2005.
- KING, M. F.; GUTBERLET, J. Contribution of cooperative sector recycling to greenhouse gas emissions reduction: A case study of Ribeirão Pires, Brazil. **Waste Management**, [s. l.], v. 33, n. 12, p. 2771–2780, 2013.
- KLOSS, S.; ZEHETNER, F.; WIMMER, B.; BUECKER, J.; REMPT, F.; SOJA, G. Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [s. l.], v. 177, n. 1, p. 3–15, 2014.
- KOIDE, R. T.; NGUYEN, B. T.; SKINNER, R. H.; DELL, C. J.; PEOPLES, M. S.; ADLER, P. R.; DROHAN, P. J. Biochar amendment of soil improves resilience to climate change. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 7, n. 5, p. 1084–1091, 2015.
- LAGHARI, M.; NAIDU, R.; XIAO, B.; HU, Z.; MIRJAT, M. S.; HU, M.; KANDHRO, M. N.; CHEN, Z.; GUO, D.; JOGI, Q.; ABUDI, Z. N.; FAZAL, S. Recent developments in biochar as an effective tool for agricultural soil management: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 96, n. 15, p. 4840–4849, 2016.
- LAIRD, D. A. The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. [s. l.], 2008.
- LAUREANO, P. Ancient water catchment techniques for proper management of Mediterranean ecosystems. **Water Science and Technology: Water Supply**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 237–244, 2007.
- LEACH, M.; FAIRHEAD, J.; FRASER, J. Green grabs and biochar: Revaluing African soils and farming in the new carbon economy. **Journal of Peasant Studies**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 285–307, 2012.
- LEHMAN, R. M.; ACOSTA-MARTINEZ, V.; BUYER, J. S.; CAMBARDELLA, C. A.; COLLINS, H. P.; DUCEY, T. F.; HALVORSON, J. J.; JIN, V. L.; JOHNSON, J. M. F.; KREMER, R. J.; LUNDGREN, J. G.; MANTER, D. K.; MAUL, J. E.; SMITH, J. L.; STOTT, D. E. Soil biology for resilient, healthy soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, [s. l.], v. 70, n. 1, p. 12A-18A, 2015.

- LEHMANN, J. Terra preta nova - Where to from here? **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision**, [s. l.], p. 473–486, 2009.
- LEHMANN, J.; DA SILVA, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **PLANT AND SOIL**, VAN GODEWIJCKSTRAAT 30, 3311 GZ DORDRECHT, NETHERLANDS, v. 249, n. 2, p. 343–357, 2003.
- LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 403–427, 2006.
- LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZÃO, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 70, n. 5, p. 1719–1730, 2006.
- LIANG, C.; ZHU, X.; FU, S.; MÉNDEZ, A.; GASCÓ, G.; PAZ-FERREIRO, J. Biochar alters the resistance and resilience to drought in a tropical soil. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2014.
- LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R. J.; KER, J. C. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, [s. l.], v. 110, n. 1–2, p. 1–17, 2002.
- LÓPEZ SÁNCHEZ, R.; PIÑANGO CRESPO, K.; SUAREZ PIÑA, R. LAS SELVAS ANTROPOGÉNICAS DE LOS INDÍGENAS AMAZONICOS The anthropogenic jungle of the amazon indigenous. **Revista de Ciencias Humanas y Sociales**, [s. l.], v. 93, p. 271–286, 2020.
- MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 333, n. 1, p. 117–128, 2010.
- MANGRICH, A. S.; CARDOSO, E. M. C.; DOUMER, M. E.; ROMÃO, L. P. C.; VIDAL, M.; RIGOL, A.; NOVOTNY, E. H. Improving the Water Holding Capacity of Soils of Northeast Brazil by Biochar Augmentation. **ACS Symposium Series**, [s. l.], v. 1206, p. 339–354, 2015.

MARTIN, J. F.; ROY, E. D.; DIEMONT, S. A. W.; FERGUSON, B. G. Traditional Ecological Knowledge (TEK): Ideas, inspiration, and designs for ecological engineering. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 36, n. 7, p. 839–849, 2010.

MEKURIA, W.; NOBLE, A. The Role of Biochar in Ameliorating Disturbed Soils and Sequestering Soil Carbon in Tropical Agricultural Production Systems International Water Management Institute (IWMI), 127 Sunil Mawatha , Pelawatte ,. **Applied and Environmental Soil Science**, [s. l.], v. 2013, 2013.

MIA, S.; UDDIN, N.; AL MAMUN HOSSAIN, S. A.; AMIN, R.; METE, F. Z.; HIEMSTRA, T. Production of Biochar for Soil Application: A Comparative Study of Three Kiln Models. **Pedosphere**, [s. l.], v. 25, n. 5, p. 696–702, 2015.

MORSELETTO, P. Targets for a circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 153, n. October 2019, p. 104553, 2020.

NDAMEU, B. A.; BIOFUELWATCH. **Biochas Fund Trials In Cameroon Hype And Unfulfilled Promises**. [s.l: s.n.].

NOGUERA, D.; LAOSSI, K. R.; LAVELLE, P.; CRUZ DE CARVALHO, M. H.; ASAKAWA, N.; BOTERO, C.; BAROT, S. C ommunications C ommunications. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 21, n. 7, p. 2349–2356, 2011.

NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; DEAZEVEDO, E. R.; DE SOUZA, A. A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilisation of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 1003–1010, 2009.

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. de F.; CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E. Biochar: Carbono pirogênico para uso agrícola - Uma revisão crítica. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 321–344, 2015.

OBIA, A.; MARTINSEN, V.; CORNELISSEN, G.; BØRRESEN, T.; SMEBYE, A. B.; MUNERA-ECHEVERRI, J. L.; MULDER, J. Biochar Application to Soil for Increased Resilience of Agroecosystems to Climate Change in Eastern and Southern Africa. **Climate Change Management**, [s. l.], p. 129–144, 2019.

OGUNTUNDE, P. G.; ABIODUN, B. J.; AJAYI, A. E.; GIESEN, N. Van De. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. [s. l.], p. 591–596, 2008.

- OMONDI, M. O.; XIA, X.; NAHAYO, A.; LIU, X.; KORAI, P. K.; PAN, G. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. **Geoderma**, [s. l.], v. 274, p. 28–34, 2016.
- PANWAR, N. L.; PAWAR, A.; SALVI, B. L. Comprehensive review on production and utilization of biochar. **SN Applied Sciences**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 1–19, 2019.
- PIMENTEL, D.; WILLIAMSON, S.; ALEXANDER, C. E.; GONZALEZ-PAGAN, O.; KONTAK, C.; MULKEY, S. E. Reducing Energy Inputs in the US Food System. [s. l.], p. 459–471, 2008.
- POURHASHEM, G.; HUNG, S. Y.; MEDLOCK, K. B.; MASIELLO, C. A. Policy support for biochar: Review and recommendations. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 364–380, 2019.
- POZZA, S. A.; PENTEADO, C. S. G.; CRISCUOLO, V. G. A greenhouse gas inventory in the municipal landfill of the City of Limeira, Brazil. **Chemical Engineering Transactions**, [s. l.], v. 43, n. September, p. 2083–2088, 2015.
- RAJKOVICH, S.; ENDERS, A.; HANLEY, K.; HYLAND, C.; ZIMMERMAN, A. R.; LEHMANN, J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, [s. l.], v. 48, n. 3, p. 271–284, 2012.
- SALETNIK, B.; ZAGULA, G.; BAJCAR, M.; TARAPATSKYY, M.; BOBULA, G.; PUCHALSKI, C. Biochar as a multifunctional component of the environment-a review. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2019.
- SANTANA, G. Terra preta de indio na região amazônica. [s. l.], n. 1, p. 1–8, 2012.
- SARANDÓN, S. J.; FLORES, C. C. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. **Agroecología**, [s. l.], v. 4, p. 19–28, 2009.
- SCHULZ, H.; DUNST, G.; GLASER, B. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 817–827, 2013.
- SCHULZ, H.; GLASER, B. 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**, [s. l.], v. 175, n. 3, p. 410–422, 2012.
- SINGH, B. P.; HATTON, B. K.; SINGH, B.; COWIE, A. .; KATHURIA, A. Influence of Biochars on Nitrous Oxide Emission and Nitrogen Leaching from two Contrasting Soils. [s. l.], 2010.
- SINGH, B. P.; SAINJU, U. M. **Soil Physical and Morphological Properties and Root Growth**1998.
- SINGH, J.; SALARIA, A.; KAUL, A. Impact of soil compaction on soil physical properties and root growth: A review. **International Journal of Food**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 23–32, 2015.
- SMITH, P.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLE, B.; SIROTKO, O.; HOWDEN, S.; MCALLISTER, T. Chapter 8 Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture. **Philos. Trans. R. Soc. B**, [s. l.], v. 363, n. January, 2007. a.
- SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; MARA, F. O.; RICE, C.; SCHOLE, B.; SIROTKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. [s. l.], v. 118, p. 6–28, 2007. b.
- SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, [s. l.], v. 105, n. 1, p. 47–82, 2010.
- SOMBROEK, W. Amazon Soils. [s. l.], p. 303, Record number 421842, 1965.
- SPARREVIK, M.; FIELD, J. L.; MARTINSEN, V.; BREEDVELD, G. D.; CORNELISSEN, G. Life cycle assessment to evaluate the environmental impact of biochar implementation in conservation agriculture in Zambia. **Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 47, n. 3, p. 1206–1215, 2013.
- STREUBEL, J. D.; COLLINS, H. P.; GARCIA-PEREZ, M.; TARARA, J.; GRANATSTEIN, D.; KRUGER, C. E. Influence of Contrasting Biochar Types on Five Soils at Increasing Rates of Application. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 75, n. 4, p. 1402–1413, 2011.

- TAMMEORG, P.; BASTOS, A. C.; JEFFERY, S.; REES, F.; KERN, J.; GRABER, E. R.; VENTURA, M.; KIBBLEWHITE, M.; AMARO, A.; BUDAI, A.; CORDOVIL, C. M. d. S.; DOMENE, X.; GARDI, C.; GASCÓ, G.; HORÁK, J.; KAMMANN, C.; KONDRLOVA, E.; LAIRD, D.; LOUREIRO, S.; MARTINS, M. A. S.; PANZACCHI, P.; PRASAD, M.; PRODANA, M.; PUGA, A. P.; RUYSSCHAERT, G.; SAS-PASZT, L.; SILVA, F. C.; TEIXEIRA, W. G.; TONON, G.; DELLE VEDOVE, G.; ZAVALLONI, C.; GLASER, B.; VERHEIJEN, F. G. A. Biochars in soils: towards the required level of scientific understanding. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 192–207, 2017.
- TRAZZI, P. A.; HIGA, ANTONIO RIOYEI HIGA DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. BIOCÁRVÃO: REALIDADE E POTENCIAL DE USO NO MEIO FLORESTAL. [s. l.], p. 2018, 2018.
- TUBIELLO, F. N.; SALVATORE, M.; GOLEC, R. D. C.; FERRARA, A.; ROSSI, S.; BIANCALANI, R.; FEDERICI, S.; JACOBS, H.; FLAMMINI, A. FAO Statistics Division Working Paper Series Agriculture , Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks 1990-2011 Analysis. [s. l.], n. March, 2014.
- VAN DER WERF, G. R.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; OLIVER, J. G. .; KASIBHATLA, P. S.; JACKSON, R. B.; COLLATZ, G. .; RANDERSON, J. T. CO₂ Emissions from forest loss. **Nature Geoscience**, [s. l.], v. 52, n. 4, p. 769–839, 2009.
- VELENTURF, A. P. M.; PURNELL, P. Principles for a sustainable circular economy. **Sustainable Production and Consumption**, [s. l.], v. 27, p. 1437–1457, 2021.
- WARA, M. Is the global carbon market working? **Nature**, [s. l.], v. 445, n. 7128, p. 595–596, 2007.
- WEZEL, A.; BELLON, S.; DORÉ, T.; FRANCIS, C.; VALLOD, D.; DAVID, C. Review article Agroecology as a science , a movement and a practice . A review. [s. l.], v. 29, p. 503–515, 2009.
- WILLIS, A. D. Rarefaction, alpha diversity, and statistics. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 10, n. OCT, 2019.

- WOOLF, D.; AMONETTE, J. E.; STREET-PERROTT, F. A.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**, [s. l.], v. 1, n. 5, 2010.
- WU, H.; LAI, C.; ZENG, G.; LIANG, J.; CHEN, J.; XU, J.; DAI, J.; LI, X.; LIU, J.; CHEN, M.; LU, L.; HU, L.; WAN, J. The interactions of composting and biochar and their implications for soil amendment and pollution remediation: a review. **Critical Reviews in Biotechnology**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 754–764, 2017.
- WU, P.; ATA-UL-KARIM, S. T.; SINGH, B. P.; WANG, H.; WU, T.; LIU, C.; FANG, G.; ZHOU, D.; WANG, Y.; CHEN, W. A scientometric review of biochar research in the past 20 years (1998–2018). **Biochar**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 23–43, 2019.
- YAO, Q.; LIU, J.; YU, Z.; LI, Y.; JIN, J.; LIU, X.; WANG, G. Changes of bacterial community compositions after three years of biochar application in a black soil of northeast China. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 113, p. 11–21, 2017.
- YUSUF A.S; ADEYEMI T.O; ADELEYE A.S; BAKPOLOR V.R; ADEGBOYEGA D.A; ADETOLA O.O. Impacts of agriculture and forestry in the control of climate change: The role of extension services. **International Journal on Integrated Education**, [s. l.], v. 3, n. 10, p. 71–75, 2020.
- ZAMA, E. F.; REID, B. J.; ARP, H. P. H.; SUN, G. X.; YUAN, H. Y.; ZHU, Y. G. Advances in research on the use of biochar in soil for remediation: a review. **Journal of Soils and Sediments**, [s. l.], v. 18, n. 7, p. 2433–2450, 2018.
- ZHANG, C.; ZENG, G.; HUANG, D.; LAI, C.; CHEN, M.; CHENG, M.; TANG, W.; TANG, L.; DONG, H.; HUANG, B.; TAN, X.; WANG, R. Biochar for environmental management: Mitigating greenhouse gas emissions, contaminant treatment, and potential negative impacts. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 373, n. May, p. 902–922, 2019.
- ZHENG, W. Using Biochar as a Soil Amendment for Sustainable Agriculture. ... **the Sustainable Agriculture ...**, [s. l.], v. 7276, n. December, 2010.
- ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.

2.2 CAPÍTULO 1. BIOCHAR E AGROECOLOGIA: PERSPECTIVA DE USO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BASE AGROECOLÓGICA

RESUMO

Há mais de 2.500 anos, os povos pré-colombianos da Amazônia desenvolveram um solo que hoje é conhecido como "Terra Preta de Índio". Este solo, com características benéficas para a agricultura, serviu de inspiração para o desenvolvimento de um material que simule essas características, o biochar ou biocarvão. Porém, seu uso não é amplamente difundido no território brasileiro, inclusive o seu potencial de exploração no contexto agroecológico. Nesse sentido, este capítulo explora, por meio de uma revisão bibliográfica, o biochar como insumo para o manejo do solo, apresentando suas vantagens dentro dos princípios agroecológicos. Para isso, foi realizada uma análise do uso do biochar, considerando os aspectos ambientais, sociais e econômicos. Em relação aos impactos ambientais positivos indiretos, estão a redução do volume de resíduos agropecuários gerados e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Quanto aos diretos estão aqueles derivados das modificações que o biochar proporciona no solo, dentre os quais destacam-se o aumento do teor de nutrientes, o aumento da porosidade e do armazenamento de água no solo, o que gera benefícios à produtividade das lavouras. Em relação aos benefícios sociais e econômicos, destacam-se a maior autonomia com relação à obtenção de insumos para o manejo do solo, a possibilidade de comercializar o biochar, gerando renda extra para os agricultores, e o reaproveitamento de resíduos, reduzindo gastos com descarte e gerando economia de insumos. Apesar de ser clara a vantagem do uso do biochar no manejo de agroecossistemas de base agroecológica, é necessário realizar pesquisas no território e estudos de caso que permitam conhecer quais são os desafios que os agricultores enfrentam quando desejam produzir e utilizar o biochar em seus agroecossistemas.

Palavras-chave: conhecimento ecológico tradicional; manejo do solo; princípios agroecológicos; terra preta de índio.

2.2. INTRODUÇÃO

Os povos amazônicos pré-colombianos representam uma fonte inesgotável de conhecimento relacionado à gestão ambiental sustentável. Há mais de 2.500 anos, estes povos desenvolveram um solo que hoje conhecemos como Terra Preta de Índio (TPI) (BIS et al., 2018; KÄMPF; KERN, 2005). As TPIs são solos que se caracterizam por terem um horizonte arqueoantropogênico e exibem propriedades completamente diferentes da maioria dos solos da região, principalmente em relação à alta fertilidade e resiliência (GLASER; BIRK, 2012; NOVOTNY et al., 2009).

A TPI provavelmente se originou por meio de esforços humanos direcionados e sistemáticos (BIS et al., 2018). No entanto, ainda não está claro se foi resultado de um processo intencional de melhoramento do solo ou consequência das atividades típicas desses povos (GLASER; BIRK, 2012). Mas tal foi o impacto dessas atividades que algumas estimativas indicam que esses solos ocupariam até 3% do território amazônico (150.000 Km²) (LÓPEZ SÁNCHEZ; PIÑANGO CRESPO; SUAREZ PIÑA, 2020).

As atividades realizadas pelos povos amazônicos incluíam a queima de matéria orgânica, em condições de baixo oxigênio (pirólise). Essas queimadas teriam originado um material carbonizado rico em nutrientes que ao ser enterrado criou o solo altamente fértil característico das Terras Preta de Índio (GLASER et al., 2001).

Incentivados pela alta fertilidade e resiliência das Terras Preta de Índio, agricultores e pesquisadores começaram a desenvolver um material que tenta replicar essas propriedades. Consequentemente, surgiu o biochar como uma tecnologia inspirada no conhecimento ancestral da população amazônica pré-colombiana, que confere ao conceito significado histórico e cultural (BEZERRA et al., 2019).

As características positivas do biochar aplicado ao solo, quando a dose é adequada, o coloca como uma ferramenta plausível a ser usada para o desenvolvimento de agroecossistemas sustentáveis (CURAQUEO et al., 2014). O biochar tem sido postulado como um instrumento para lidar com vários problemas derivados da agricultura,, destacando-se sua colaboração contra a degradação do solo (CHAN et al., 2007; SCHULZ; GLASER, 2012).

Usando os princípios da agroecologia, este capítulo propõe, explorar os impactos sociais, ambientais e econômicos do biochar com o objetivo de avaliar a viabilidade da aplicação deste insumo como prática de manejo sustentável de agroecossistemas com ênfase no manejo do solo.

Com a aplicação de princípios agroecológicos, o desafio básico de fazer melhor uso dos recursos internos pode ser facilmente alcançado minimizando os insumos externos utilizados e, preferencialmente, regenerando os recursos internos de forma mais eficaz através de estratégias sustentáveis. (ALTIERI, 2004).

Os princípios ecológicos básicos propostos por Reijntes et al. (1992) e citados por Altieri (2004) como princípios da agroecologia são:

1- Garantir condições favoráveis do solo para o crescimento das plantas, principalmente por meio da promoção da saúde do solo, gerenciamento da matéria orgânica e lavouras adequadas.

2- Otimizar a disponibilidade e a ciclagem de nutrientes por meio da minimização de perdas, captura e manejo adequado de nutrientes.

3- Minimizar as perdas devido aos fluxos de radiação solar, ar e água por meio de gerenciamento de microclima, gerenciamento de água e controle de erosão.

4- Minimizar as perdas devido a pragas e doenças de plantas e animais por meio de prevenção e tratamento seguro.

5- Explorar a complementaridade e sinergia na utilização dos recursos genéticos, o que implica a combinação destes em sistemas agrícolas integrados com elevado grau de diversidade funcional.

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Considerando que a agroecologia pretende ter um impacto positivo nas esferas ambiental, social e econômica, foi realizada uma análise dos benefícios do biochar como insumo, em cada uma delas, para esclarecer até que ponto pode ser considerado como um insumo passível de ser utilizado no desenvolvimento de sistemas agrícolas de base agroecológica. Essa divisão foi feita para aprofundar aspectos de cada esfera, porém, é imprescindível lembrar que estas estão inter-relacionadas e que alterações em uma delas gera impacto nas outras.

Para a realização desta revisão foram selecionados artigos indexados na base de dados *Web of Science*, priorizando-se os artigos mais recentes e relevantes à temática desta revisão, sem a utilização de filtros para o refinamento das buscas.

Para a presente análise, foi considerado um cenário em que o biochar é produzido pelos próprios agricultores, utilizando resíduos de seus agroecossistemas ou de agroecossistemas vizinhos. Este cenário foi escolhido por ser considerado o que mais se aproxima das premissas da agroecologia, dando soberania aos agricultores, por não depender de empresas produtoras, minimizando os impactos ambientais negativos, alocando corretamente os resíduos e reduzindo a pegada de carbono do transporte de insumos de uma região do país para outra ou mesmo para outro país.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desafio de alinhar os sistemas agrícolas com os princípios agroecológicos é imenso, especialmente no atual contexto de desenvolvimento agrícola onde se enfatiza a especialização, a produtividade no curto prazo e a eficiência econômica (ALTIERI, 2015). No entanto, sem cair na pretensão de que a substituição de um insumo por outro pode transformar um sistema de produção convencional em um de base agroecológica, é possível considerar o biochar como uma ferramenta que permite colaborar com o desenvolvimento de agroecossistemas que minimizem o impacto ambiental, sejam socialmente justos e economicamente viáveis.

O biochar pode ser produzido de várias maneiras e utilizando-se de diferentes matérias-primas, o que o posiciona como um material promissor e "adaptável" dependendo das condições dos agroecossistemas e dos agricultores. Entretanto, por outro lado, é difícil fazer generalizações sobre seu uso, sobretudo ao analisar suas consequências nas três esferas que a agroecologia se propõe a impactar. Dessa maneira, o impacto do uso deste insumo dependerá do local onde foi produzido (agroecossistema ou empresa externa), da matéria-prima utilizada (resíduos de agroecossistema ou florestas tropicais) e do local de aplicação (no mesmo local onde foi produzido, dentro ou fora da propriedade, região de produção ou país).

2.4.1 Benefícios ambientais de biochar

Os benefícios ambientais do biochar são os mais evidentes. A produção de biochar com matérias-primas do agroecossistema, como restos de poda, palha, resíduos de colheita ou do processamento de produtos agrícolas e resíduos animais (cama de frango, esterco bovino ou dejetos suínos), geram impactos ambientais positivos indiretos e diretos. Os impactos ambientais indiretos referem-se àqueles que ocorrem fora do agroecossistema dos agricultores, e os diretos, aqueles que ocorrem dentro.

A produção de biochar com resíduos do próprio agroecossistema apresenta-se como uma oportunidade para o manejo sustentável dos resíduos, sendo este um de seus principais impactos indiretos.

O gerenciamento adequado dos resíduos, por meio da produção de biochar, permite reduzir os impactos gerados quando são escolhidas outras destinações finais para os resíduos, que têm forte impacto ambiental. Como o caso de queimadas ou enterro juntamente com outros tipos de resíduos, diminuindo assim as emissões de gases de efeito estufa (GEEs), a contaminação dos lençóis freáticos e solos (BANDARA; HETTIARATCHI, 2010; KING; GUTBERLET, 2013; POZZA; PENTEADO; CRISCUOLO, 2015), e os nichos para roedores e vetores de doenças que são gerados em lixões a céu aberto.

Em adição é importante destacar que a agricultura é uma dos principais atividades contribuintes para a emissão dos gases de efeito estufa (GEE), principalmente pela produção e uso de fertilizantes e agroquímicos, emissões da pecuária, e gestão insustentável dos solos, entre outras. Sendo o metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) os principais gases gerados pela referida atividade (SMITH et al., 2007a).

O biochar pode contribuir na redução das emissões de gases de efeito estufa, armazenando carbono nos solos por milhares de anos. Quando comparado com outros materiais orgânicos, o biochar é mais estável e apresenta uma taxa de liberação de C -orgânico menor durante o processo de decomposição, reduzindo desse jeito as emissões de GEE (CO₂, N₂O e CH₄). (ZHANG et al., 2019).

Woolf et al., (2009) estimaram que as emissões líquidas anuais de CO₂, N₂O e CH₄ de origen antropogénicas poderiam ser reduzidas em 12% devido à implementação global sustentável de biochar sem pôr em perigo a segurança alimentar, habitat ou conservação do solo.

Portanto, os impactos indiretos gerados quando o biochar é produzido por agricultores com resíduos de seus agroecossistemas ou agroecossistemas vizinhos, estão diretamente relacionados às premissas perseguidas pela agroecología que procura produzir restaurando os agroecossistemas sem colocar em risco as gerações futuras. Além disso, o biochar oferece como

benefício diferencial, a possibilidade de mitigar os gases de efeito estufa gerados pela agricultura.

Para abordar os impactos diretos do biochar é necessário lembrar que algumas técnicas usadas na agricultura convencional que visam aumentar a produtividade demonstraram degradar os recursos naturais. Nesse sentido, técnicas como o uso inadequado de fertilizantes ou esterco animais podem contaminar o lençol freático e a atmosfera. Outras técnicas de preparo intensivo do solo, como a aração e a gradagem, podem favorecer processos erosivos, gerando menor capacidade de armazenamento e uso ineficiente da água.

Para conceituar os impactos ambientais diretos do biochar dentro do agroecossistema num contexto agroecológico, foram usados como base teórica os princípios ecológicos básicos propostos por Reijntes et al. (1992) e citados por Altieri (2004) como princípios agroecológicos.

2.4.1.1 Contribuições de biochar para o cumprimento do princípio um: Garantir condições favoráveis do solo para o crescimento das plantas.

O biochar promove modificações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, que são essenciais para o desenvolvimento das plantas.

Entre os atributos físicos que o biochar pode modificar, destacam-se a densidade (DEVEREUX; STURROCK; MOONEY, 2012; OGUNTUNDE et al., 2008), a porosidade (BLANCO-CANQUI, 2017) e a condutividade hidráulica (FOWLES, 2007; ASAI et al., 2009).

A densidade varia com a condição estrutural do solo, particularmente aquela relacionada à compactação. A compactação do solo está emergindo como um problema sério que afeta o rendimento das culturas no campo, levando à degradação do solo em todo o mundo (SINGH; SALARIA; KAUL, 2015). O problema se deve, principalmente, à redução dos poros em solos compactados, o que dificulta a capacidade das raízes de penetrá-los, bem como a capacidade de absorver água e nutrientes essenciais para o crescimento das culturas (SINGH; SAINJU, 1998; CHAN et al., 2006).

Vários estudos demonstram a capacidade do biochar em reduzir a densidade do solo e, conseqüentemente, aumentar a porosidade. Devereux et al. (2012) verificaram que ao aplicar diferentes doses de biochar (0,5; 1,5; 2,5; 5%) proveniente de madeira, em solo arenoso, ocorreu redução na densidade do solo diretamente proporcional às doses de biochar aplicadas.

Omondi et al. (2016) realizaram uma metanálise com 128 estudos, na qual avaliaram a densidade de diferentes solos tratados com biochar. Os autores verificaram redução da densidade do solo de 6,5% a 8,6% e porcentagem geralmente maior para taxas crescentes de aplicação de biochar. Isso ocorre porque a densidade do biochar geralmente tem valores de 1,5 a 2 g cm⁻³ (BREWER et al., 2009) que são menores que a densidade de partículas do solo (2,4 a 2,8 g cm⁻³).

Blanco-Canqui (2017) conduziu uma revisão de artigos para 22 solos e constatou que a adição de biochar aumentou a porosidade de 2 a 41%, dependendo das condições de produção de biochar (temperatura, tempo de pirólise e matéria-prima).

Portanto, a aplicação do biochar apresenta-se como uma possível solução para problemas como a compactação do solo. Nos estudos citados, o biochar mostrou-se capaz de reduzir a densidade do solo, aumentar a porosidade e conseqüentemente gerar espaços para trocas gasosas, armazenamento de água e crescimento radicular. Ao aplicar a dose adequada para cada agroecossistema e tipo de solo, o biochar não demonstrou gerar efeitos negativos nos demais componentes do agroecossistema. Os efeitos do biochar na fertilidade do solo e na capacidade de armazenamento de água serão abordados posteriormente, de acordo com os princípios dois e três propostos por Reijntes et al. (1992).

O efeito positivo no desenvolvimento das culturas como consequência das modificações nos atributos do solo gerados pelo biochar, tem sido relatado em várias pesquisas (NOGUERA et al., 2011; RAJKOVICH et al., 2012; SCHULZ; DUNST; GLASER, 2013; FURTADO; CHAVES, 2018).

Kamara et al. (2015) realizaram um experimento com arroz cultivado em solo de textura francoarenosa com aplicação de biochar (15g kg⁻¹ de solo)

produzido a partir de casca de arroz e demonstraram que a altura da planta, o número de perfilhos e a massa de matéria seca foram superiores em solos tratados com biochar em comparação aos não tratados.

Zheng (2010) constatou que, ao aplicar 40 toneladas de biochar por hectare, em um solo de textura francossiltosa e na ausência de fertilizante, a produção de milho aumentou. O aumento da produção foi de aproximadamente 18% após a aplicação de biochar pirolisado a partir de espigas de milho a 450 °C, e 23% em caso de biochar produzido a partir de lascas de madeira a 450 °C.

As pesquisas supracitadas permitem que o biochar seja posicionado como um material com potencial para garantir condições favoráveis do solo para o crescimento das plantas e, portanto, o material contribui para o cumprimento do princípio 1 proposto por Reijntjes et al. (1992). No entanto, é importante destacar que para que isso seja verdade, a dose de biochar deve ser adequada de acordo com o tipo de solo e as necessidades das culturas. Isso torna difícil fazer generalizações sobre as doses adequadas de biochar. Por isso, cada agroecossistema deve ser analisado para saber qual é a melhor dose a ser aplicada.

2.4.1.2 Contribuições de biochar para o cumprimento do princípio dois: otimizar a disponibilidade e a ciclagem de nutrientes

A aplicação do biochar no solo contribui para a ciclagem de nutrientes pois, quando é feita com materiais do agroecossistema, nutrientes que de outra forma teriam sido eliminados podem ser recuperados e aplicados novamente no solo (GLASER; LEHMANN; ZECH, 2002; BROCKHOFF et al., 2010).

Além disso, o biochar contribui para a disponibilidade de nutrientes por meio de três mecanismos. O primeiro é devido ao aumento de microrganismos presentes no solo. O segundo se deve ao aporte de nutrientes e atua no curto prazo. O terceiro é devido a alterações na capacidade de troca catiônica causada pela aplicação de biochar.

Os poros presentes no biochar servem de habitat para microrganismos benéficos do solo, como micorrizas e bactérias, (DURENKAMP; LUO;

BROOKES, 2010; JATAV et al., 2017) que disponibilizam nutrientes já presentes no solo e, em alguns casos, fixam nitrogênio atmosférico que estará disponível para as culturas.

Em relação ao aumento de microrganismos no solo devido à adição de biochar, Yao et al. (2017) encontraram que as modificações nos atributos físicos e químicos gerados no solo como resultado da aplicação do biochar, tem impacto nas comunidades bacterianas do solo. Os autores mostraram que a adição de biochar aumentou a diversidade alfa da comunidade bacteriana do solo. Ou seja, houve aumentos na riqueza (número de grupos taxonômicos) e uniformidade (distribuição da abundância dos grupos) dessas comunidades. (WILLIS, 2019)

Os nutrientes aplicados com biochar podem ser responsáveis por aumentos em curto prazo no crescimento das culturas (MAJOR et al., 2010; SOHI et al., 2010). Entretanto, os efeitos a longo prazo do biochar na disponibilidade de nutrientes se devem ao aumento na capacidade de troca catiônica (CTC) (LIANG et al., 2006) causado por este.

Kamara et al. (2015) verificaram que o solo, com textura francoarenosa, tratado com biochar produzido a partir de palhada de arroz, apresentou maior quantidade de cátions trocáveis (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) após aplicação de 15 g de biochar por quilograma de solo, o que equivale a aproximadamente 30 t ha^{-1} de biochar

GAO et al. (2017) estudaram o efeito da aplicação de biochar de palha de arroz em solos de plantio de tabaco, com três tratamentos baseados em doses crescentes de biochar : 0 kg ha^{-1} ; 2250 kg ha^{-1} e 4500 kg ha^{-1} . Os resultados indicaram que a capacidade de troca catiônica, carbono orgânico total (COT), carbono inorgânico (CI), nitrogênio total do solo (N total), potássio total (K total), fósforo disponível (P disponível) e potássio disponível (K disponível) aumentaram. Os teores de COT e K disponível aumentaram em maior proporção para a maior dose de biochar, com 38,19% e 22,38%, respectivamente.

Diante do exposto, é possível afirmar que o biochar também ajuda a cumprir o princípio dois, porque permite fazer o uso eficiente dos recursos presentes no agroecossistema, reduzindo as perdas minerais, por meio da ciclagem de nutrientes, ou seja, do reaproveitamento de subprodutos da

agroecossistema e pelo aumento da disponibilidade de nutrientes já presentes no solo, devido ao aumento da CTC.

A eficiência no uso dos recursos, gerada pela aplicação e produção de biochar, com resíduos do agroecossistema, colabora com o cumprimento de uma das premissas fundamentais da agroecologia, porque permite que os solos sejam melhorados reduzindo ou eliminando a necessidade de uso de insumos externos ao ecossistema, como fertilizantes de origem sintética. Entretanto, é preciso ressaltar que se a aplicação de biochar não for acompanhado de outros manejos, como o uso de adubos verdes ou rotação de culturas, entre outras, os nutrientes irão se esgotando com o tempo, havendo necessidade de manejo mais intenso para recuperá-los.

2.4.1.3 Contribuições de biochar para o cumprimento do princípio três: minimizar as perdas devido aos fluxos de radiação solar, ar e água

A água é um recurso limitado no mundo e nos agroecossistemas em particular, o que condiciona o desenvolvimento da biodiversidade, gerando competição entre espécies quando escassa. Por isso, desenvolver estratégias que possibilitem uma gestão eficiente da água no agroecossistema, minimizando as perdas é essencial e urgente.

A diminuição da densidade do solo com a aplicação de biochar, e o aumento na porosidade gera benefícios em termos de capacidade de armazenamento de água no solo, devido à polaridade do biochar e ao aumento da presença de microporos (MANGRICH et al., 2015), que permitem maior retenção de água. Vários estudos relataram o potencial do biochar para aumentar a capacidade de armazenamento de água em solos (ABEL et al., 2013; IBRAHIM et al., 2013; MANGRICH et al., 2015; STREUBEL et al., 2011).

Mangrich et al. (2015) estudaram o efeito, na capacidade de armazenamento de água, em dois Neossolos Quartzarênicos, e seis tipos de biochar: 1-casca de coco verde (*Cocos nucifera*)(CS), 2- casca de laranja (*Citrus sinensis*) (OP), 3 -pedaço de dendê (*Elaeis guineensis*) (PO), 4-bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) (SB), 5- plantas de aguapé (*Eichhornia*

crassipes)(WH), e 6- carvão vegetal (CV). Todos os biochars aumentaram a capacidade de armazenamento de água, com maior efeito para SB e WH. O aumento gerado pelo biochar de SB foi de aproximadamente 6% para o solo um e 5% para o solo dois. Enquanto o aumento gerado pelo biochar de WH foi de 4% para o solo um e 6% para o solo dois. Isso mostra que as variações não dependem apenas do tipo de biochar, mas também do tipo de solo e da interação que ocorre entre eles.

Ao aumentar o armazenamento de água, reduzindo as perdas por infiltração ou evaporação, diminui a frequência de irrigação ou a necessidade de chuva para a manutenção das lavouras, muitas vezes escassas em determinadas regiões do país. Esses benefícios tornam os agroecossistemas mais sustentáveis considerando o princípio número três proposto por Reijntjes et al. (1992).

Além disso, várias plantas apresentaram aumento em altura, perfilhos e massa de matéria seca, após a aplicação do biochar. Isso gera um aumento na superfície fotossintética das plantas, que juntamente com um manejo adequado do dossel, aumenta a radiação solar interceptada, aumentando a eficiência fotossintética dessas plantas e conseqüentemente, reduzindo as perdas de fluxo solar.

2.4.1.4 Biochar e sua relação com a resiliência do solo.

Os impactos gerados pelo biochar como diminuição da densidade, aumento da porosidade e armazenamento de água, aumento e ciclagem de nutrientes e aumento da diversidade microbológica, entre outras, além de gerar benefícios para as lavouras, permite gerar solos mais resilientes (OBIA et al., 2019).

A resiliência é definida como a capacidade de um solo de retornar ao seu estado original de equilíbrio dinâmico após perturbações ou condições adversas (LAL, 1994; ROSANOV, 1994).

Um solo resiliente é capaz de se recuperar mais rapidamente frente à situações de estresse (LEHMAN et al., 2015), tais como estresses de ordem

química, física e microbiológica ou eventos climáticos extremos; como secas, inundações ou furacões (FAO, 2018).

A resiliência do solo é uma característica desejada no contexto da agroecologia, porque está relacionado com a resiliência do agroecossistema. Quanto maior a resiliência de um sistema, maior a possibilidade de que o ecossistema permaneça em equilíbrio dinâmico, superando as condições adversas, sem precisar de um suprimento externo de energia para combater possíveis pragas ou condições climáticas desfavoráveis.

A aplicação de condicionadores do solo, como adubos verdes, composto ou biochar, permite reduzir o grau de vulnerabilidade a que os solos estão expostos, principalmente nas atividades agrícolas, que, como mencionado acima, podem erodir os solos. O diferencial do biochar é que, quando comparado a outros corretivos de solo mencionados, seu efeito permanece por mais tempo no agroecossistema, devido à sua estabilidade a longo prazo.

Algumas pesquisas abordaram a relação entre a aplicação de biochar e a resiliência do solo, chegando a propor ele como um material capaz de melhorar os solos e, conseqüentemente, melhorar a resiliência dos agroecossistemas às mudanças climáticas (OBIA et al., 2019). Liang et al., (2014) verificaram que a adição de biochar, preparado a partir de cama de frango, em um solo tipo Acrisol, resultou em um aumento significativo na resistência e conseqüentemente, na resiliência frente à secas das comunidades fúngicas e das comunidades bacterianas, devido a modificações nos atributos do solo causadas pelo biochar.

Koide et al., (2015) analisaram a resiliência contra as mudanças climáticas relacionando a aplicação de biochar e o aumento da água disponível para as plantas. Os autores estudaram dois solos franco-argilosos siltosos, um franco-arenoso e um franco-argiloso aos quais foi aplicado biochar produzido a partir de brotos de switchgrass (*P. virgatum* var. Cave-In-Rock.) Em todos os casos, o biochar aumentou o teor de água disponível. O aumento médio para os quatro solos foi de 0,011 g cm⁻³, embora o efeito do biochar dependesse do solo.

Na maioria das investigações encontradas, observa-se que em um contexto de mudanças climáticas em que se espera um aumento das secas em determinadas regiões (IPCC, 2022), há uma tendência a estudar o biochar como

insumo para adaptação às mudanças climáticas. No entanto, a partir da agroecologia esperamos reverter ou pelo menos reduzir a influência que a agricultura tem nas mudanças climáticas. Conseqüentemente, a aplicação do biochar, no contexto agroecológico, deve ter como objetivo reduzir o impacto da agricultura no planeta e não se adaptar às catástrofes derivadas da inação diante das mudanças climáticas.

A promoção da resiliência do solo, por meio da aplicação de biochar, permitirá reduzir ou evitar o aporte de energia externa ao ecossistema, como fertilizantes químicos, lavouras, agrotóxicos, e é por esta razão que o biochar pode ser proposto como um material que nos permite aproximar-se dos princípios da agroecologia.

O cumprimento dos princípios um, dois e três, a partir da adição de biochar no solo, estão representados na figura 1.

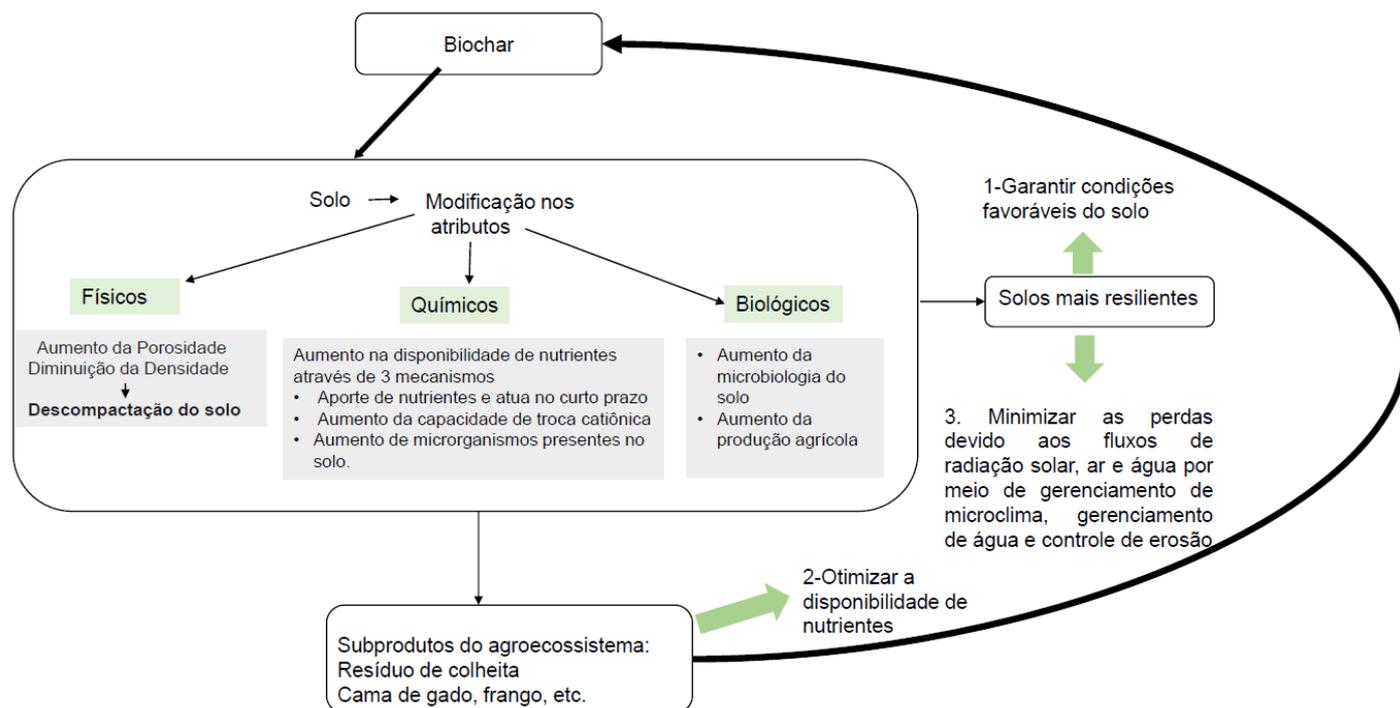


Figura.1. Colaboração do biochar em conformidade com os princípios um, dois e três da agricultura sustentável. As setas verdes representam o cumprimento dos princípios agroecológicos derivados de cada etapa. As setas pretas grossas representam o ciclo dos materiais.

2.4.2 Impacto social de biochar

A possibilidade de produzir um condicionador de solo com materiais obtidos nos próprios agroecossistemas ou em agroecossistemas vizinhos, gera uma certa independência do mercado. Esse é um aspecto de extrema relevância no contexto agroecológico em que se busca a soberania e independência dos agricultores em relação ao mercado de insumos agrícolas

Embora seja necessário realizar análises de campo e considerar que existem múltiplas variáveis que os agricultores consideram antes de vender suas terras ou trocar as atividades agrícolas por outras atividades mais rentáveis, pode-se esperar que o fato de os agricultores poderem melhorar os solos de seus agroecossistemas de maneira relativamente simples, e conseqüentemente aumentar sua produtividade, reduzindo a necessidade de uso de fertilizantes químicos, poderia gerar neles uma satisfação que se traduziria em benefícios como a redução de abandono de terras. Além dos inúmeros benefícios para os agricultores decorrentes da possibilidade de continuar suas atividades agrícolas.

Existem alguns grupos isolados no Brasil que produzem seu próprio biochar, mas a prática não é difundida, como ocorre para a produção de composto ou outros corretivos do solo. Entretanto, trabalhos mais profundos que busquem avaliar as razões para a baixa produção e uso deste insumo pelos agricultores devem ser conduzidos, com a finalidade de identificar as barreiras que determinam o uso limitado de biochar pelos agricultores e de poder superar essas barreiras.

Como uma oportunidade viável a ser explorada, autores como Mia et al. (2014) destacam o potencial do uso de biochar em países que utilizam biomassa para cozinhar, gerando biochar como subproduto que poderia ser utilizado para fins agrícolas. No entanto, a exploração dos benefícios do biochar deve ser acompanhada de experimentação e inovação no território dos próprios agricultores, o que geraria uma maior apropriação das tecnologias e técnicas disponíveis para a produção do biochar e que por sua vez permitirá que os agricultores encontrem benefícios imperceptíveis aos pesquisadores. Quer dizer, a decisão de produzir biochar no contexto agroecológico deve surgir como

iniciativa dos agricultores, que posteriormente podem ser transformadas em políticas de Estado.

Nesse contexto, é necessário destacar que as técnicas e tecnologias utilizadas para a obtenção do biochar não representariam um impedimento para a sua produção pelos agricultores. Existem várias técnicas e tecnologias para produzir biochar. Em geral, devem ser construídos dispositivos que permitam que a matéria-prima seja colocada e pirolisada com pouca ou nenhuma entrada de oxigênio. Essas informações estão disponíveis em diversas mídias, como artigos científicos, (COOMES; MILTNER, 2017; MIA et al., 2015), vídeos no youtube (<https://youtu.be/IZIJSo8RNAY>; <https://youtu.be/RXMUmby8PpU>), e páginas da web ([warmheartworldwide](http://warmheartworldwide.com); biochar.co.uk/) que demonstram como construir dispositivos para produção de biochar.

No site da organização Biochar.co.uk. (2022) é apresentado um guia para equipamentos de produção de matéria-prima e pirólise, onde são propostos quatro métodos diferentes para produzir biochar.

O primeiro método, chamado DIY, não requer equipamentos e é o que mais se assemelha ao método utilizado pelos povos nativos da Amazônia. Consiste em fazer um poço no solo, colocar a matéria-prima e depois queimá-la. Desta forma, o oxigênio no fundo do fogo é reduzido e ocorre uma pirólise parcial. Em termos de eficiência, este método apresenta-se como o menos eficiente.

O segundo método é chamado "Criador de carvão + fonte de calor". Nesse caso, considera-se o uso de um tanque e um recipiente para fogo. O tanque a ser utilizado pode ser um tanque de óleo de 200 litros no qual é colocada a matéria-prima, na base previamente perfurada. Do lado oposto o recipiente é parcialmente coberto, proporcionando uma chaminé. Na base do tanque, é realizada uma combustão que tem como matéria-prima madeira ou algum combustível para queimar os materiais utilizadas para a produção de biochar, porém, é mais eficiente que o método anterior.

Para os dois métodos a seguir abordados pela organização, a produção se torna mais complexa, mas sua eficiência também aumenta. Eles são chamados: "Equipamento de produção de biochar em pequena escala" e

"Equipamento de produção de biochar em escala comercial". Vários equipamentos utilizados por diferentes organizações ao redor do mundo podem se-encontrar no site da organização Biochar.co.uk. É importante ressaltar que todos os métodos seguem o mesmo princípio, controlar a entrada de oxigênio minimizando-a ao máximo. Com base nesse princípio, cada agricultor pode criar seu próprio reator para produzir biochar com base na quantidade de matéria-prima disponível para produção e na possibilidade de obter os materiais necessários de acordo com o método escolhido.

Portanto, do ponto de vista técnico, a produção do biochar pode ser realizada desde a forma mais simples, como um poço, até a mais complexa, construindo um dispositivo que limita a entrada de oxigênio. Mas, considerando que cada técnica pode ser adaptada a cada agroecossistema e que existem várias fontes de informação que explicam como produzir biochar, é possível deduzir que a dificuldade técnica não representaria um impedimento para os agricultores produzirem biochar em seus agroecossistemas.

No entanto, percebe-se que ainda há pouca conscientização sobre a aplicação de biochar entre os agricultores modernos (WU et al., 2017). Mas, o estabelecimento de associações de agricultores em busca de um objetivo, se apresentam como uma oportunidade para a produção de biochar, que poderia ser realizada em jornadas de trabalho conjunto entre agricultores, ou em formato de "mutirões" como os realizados para colaborar com as tarefas de colheita, poda ou coleta de sementes. Esse formato de organização de trabalho também auxilia no fortalecimento das relações sociais entre os agricultores de uma comunidade rural, trazendo maior autonomia e representatividade para a comunidade, sendo um dos pontos fortes da agroecologia.

2.4.3. Impacto econômico de biochar

Há uma quantidade limitada de literatura que trata da viabilidade econômica da produção de biochar (CLARE et al., 2015; FYTILI; ZABANIOTOU, 2018). Em adição, métodos para valorar os benefícios ambientais que o proporciona aos agroecossistemas não são amplamente divulgados ou

padronizados. No entanto, existem duas perspectivas a partir das quais diferentes ferramentas são abordadas para avaliar o impacto econômico do biochar. A primeira perspectiva é da economia convencional, que propõe que o biochar possa entrar no mercado de títulos de carbono, valorizando economicamente o número de toneladas de dióxido de carbono equivalente que não são emitidos na atmosfera, graças à produção de biochar. A segunda perspectiva enquadra-se na economia circular, e analisa os benefícios ambientais do biochar sem a necessidade de atribuir um valor econômico a esses benefícios.

Desde a ótica da economia convencional, existe uma aspiração, para que o biochar possa ser incorporado ao comércio global de carbono, (LEACH; FAIRHEAD; FRASER, 2012) através do mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Esse mecanismo foi estabelecido em 2003 no protocolo de Kyoto tendo como objetivo reduzir as emissões de gases de efeito estufa (WARA, 2007).

Nesse contexto, a “economia” na emissão de gases de efeito estufa derivada da implementação de tecnologias ou técnicas, tais como o biochar, é valorizada por meio de créditos de carbono que são negociados entre países considerados em desenvolvimento e países considerados desenvolvidos.

Diferentes autores defendem a incorporação do biochar nos mercados de carbono, ao considerar que este permite reduzir as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, pois esses elementos ficam armazenados de décadas a milhares de anos no solo (BUDAI et al., 2013).

Algumas estimativas indicam que a produção de biochar sequestraria cerca de 50% do carbono, impedindo sua dispersão na atmosfera, número elevado quando comparado a outros usos possíveis para a mesma biomassa, como queima (3%) ou decomposição biológica (<10-20% após 5-10 anos) (LEHMANN; GAUNT; RONDON, 2006).

No entanto, em sistemas agrícolas tropicais que usam métodos de produção rural de biochar, uma série de questões além dos gases de efeito estufa devem ser abordadas (SPARREVIK et al., 2013). Nessa situação, colocar um preço na restauração de solos, no aumento da infiltração, na redução da

desnitrificação e no reaproveitamento de materiais, entre outros, ainda é um desafio do ponto de vista da economia convencional. Porém, a partir da economia circular, é possível valorizar o reaproveitamento dos subprodutos do agroecossistema e os benefícios derivados deste

A economia circular baseia-se na ideia de desenvolver um sistema econômico que visa o uso eficiente de recursos por meio da minimização de resíduos (MORSELETTO, 2020), no qual a emissão e o vazamento de energia são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento dos ciclos de material e energia graças ao design, manutenção, reparo, reutilização, reforma e reciclagem (GEISSDOERFER et al., 2017).

A economia circular visa contribuir para a sustentabilidade na perspectiva de todo o sistema de otimização dos valores sociais, ambientais, técnicos e econômicos dos materiais e produtos na sociedade (VELENTURF; PURNELL, 2021). Esses objetivos convergem com os objetivos propostos pela agroecologia. Nesse contexto, no ano 2019, a economia circular foi proposta dentro dos 10 elementos da agroecologia pela *Food Agriculture Organization*.

Ao contrário da economia linear, sob cuja concepção os restos de podas, colheitas e dejetos animais se tornaram resíduos, a economia circular propõe resgatar esses materiais devolvendo-os aos agroecossistemas, minimizando as perdas de nutrientes, energia e reduzindo a produção de resíduos agrícolas, que nessa perspectiva são vistos como subprodutos que podem ser aproveitados no agroecossistema e não como resíduos.

Analisado do ponto de vista da economia circular, a produção do biochar, permite estreitar os ciclos de materiais e energia, recuperando minerais, graças a reciclagem de subprodutos do agroecossistema, principalmente as camas de aves e de gado, e os restos de poda e colheitas. Além de colaborar com a resolução de problemas ambientais globais, cujas consequências têm impacto econômico como degradação do solo, manejo inadequado de resíduos, desnitrificação e emissão de gases de efeito estufa.

A esses benefícios globais devem-se somar os benefícios dentro do agroecossistema gerados pelo biochar, tais como a melhoria que o biochar promove nos atributos do solo, como armazenamento de carbono, aumento da porosidade, aumento de nutrientes, e armazenamento de água, entre outros.

Portanto, é possível enquadrar o biochar como um elemento viável para ser utilizado em agroecossistemas que promovam a circularidade de seus elementos, ou seja, agroecossistemas que se baseiam em princípios agroecológicos e de economia circular.

Em termos econômicos a produção de biochar na escala do agricultor é reivindicada como mais rentável do que a produção industrial (CLARE et al., 2014), principalmente devido à possibilidade de acesso à matéria-prima a custo zero e aos menores custos de transporte que as indústrias produtoras de biochar devem enfrentar.

A aplicação do biochar produzido nos agroecossistemas permite gerar economia de insumos para os agricultores porque permite melhorar as condições nutricionais do solo, evitando em muitos casos a compra de fertilizantes, que representam uma parte significativa do orçamento dos agricultores que realizam o manejo convencional. Além disso, as melhorias nas propriedades físicas do solo permitem, por um lado, armazenar mais água e reduzir a infiltração, reduzindo assim a necessidade de irrigação. Por outro lado, essas melhorias reduzem ou eliminam a necessidade de preparo do solo, gerando outras economias para os agricultores.

2.4.4 Considerações para um uso sustentável

Embora o biochar possa ser enquadrado no paradigma proposto pela economia circular e pela agroecologia, não é possível ignorar o fato de que o biochar, como qualquer descoberta ou aplicação científica, não está isento de cair em uso insustentável. Nesse sentido, para que a produção de biochar não se torne uma prática insustentável é necessário redobrar os esforços para que a

produção de biochar não fique nas mãos de poucas empresas, e se estenda aos agroecossistemas tendo os agricultores como protagonistas, e os subprodutos gerados em seus agroecossistemas como matéria-prima para o biochar.

A segunda necessidade, é exigir que as empresas produtoras de biochar obtenham a matéria-prima de fontes sustentáveis, ou seja, de resíduos de diversas indústrias ou de plantações que são posteriormente reflorestadas. Isso é para evitar melhorar a qualidade do solo em um local às custas do desmatamento em outro local. Nesse sentido, alguns movimentos socioambientais e a comunidade científica estão preocupados com a possível utilização de florestas ou plantações para a obtenção de biochar. Portanto, sistematizar informações sobre possíveis matérias-primas investigadas permitiria inferir quais são as tendências quanto à produção de biochar. Essas informações servirão de ferramenta para o estabelecimento de medidas que promovam o uso de matérias-primas cujo impacto no ambiente seja menor, em detrimento daquelas que representam um risco em termos de perda de florestas ou de áreas agrícolas. Essa análise será abordada no próximo capítulo.

2.5 CONCLUSÕES

O biochar tem grande potencial para ser utilizado na agricultura de base agroecológica. Em termos de impacto ambiental, o biochar apresenta-se como um material capaz de melhorar os atributos do solo, sem impactar negativamente os recursos naturais, gerando benefícios adicionais como o sequestro de carbono e a redução de gases de efeito estufa e redução ou desuso fertilizantes.

Em relação aos benefícios sociais e econômicos, destaca-se a maior autonomia do mercado de condicionadores de solo. Os agricultores que produzem biochar terão economias em insumos e esforços, reduzindo ou eliminando a quantidade de fertilizantes e a necessidade de irrigação e lavoura. Além disso, o biochar tem potencial para entrar nos mercados de carbono, dando renda extra aos agricultores que o aplicam.

A abordagem realizada procurou evidenciar aspectos positivos do biochar, com o objetivo de promover o seu uso e produção pelos agricultores

que realizam ou pretendem realizar um manejo agroecológico de seus agroecossistemas. No entanto, é necessário realizar pesquisas no território e estudos de caso que permitam conhecer quais são os desafios que os agricultores enfrentam quando desejam produzir biochar em seus agroecossistemas.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELJAOUED, E.; BRULÉ, M.; TAYIBI, S.; MANOLAKOS, D.; OUKARROUM, A.; MONLAU, F.; BARAKAT, A. **Bibliometric analysis of the evolution of biochar research trends and scientific production**. [s.l.] :

Springer Berlin Heidelberg, 2020. v. 22

ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, [s. l.], v. 202–203, p. 183–191, 2013.

ALMEIDA PRADO, F.; ATHAYDE, S.; MOSSA, J.; BOHLMAN, S.; LEITE, F.; OLIVER-SMITH, A. How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 53, p. 1132–1136, 2016.

ALTIERI, M. A. Agroecology: principles and strategies for designing sustainable farming systems. [s. l.], n. 1, p. 1–5, 2004.

ALTIERI, M. A. Agroecología : principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. [s. l.], n. June, 2015.

ARIZPE, N.; GIAMPIETRO, M.; RAMOS-MARTIN, J. Critical Reviews in Plant Sciences Food Security and Fossil Energy Dependence : An International Comparison of the Use of Fossil Energy in Agriculture (1991-2003) Food Security and Fossil Energy Dependence : An Agriculture (1991-2003). [s. l.], n. February 2015, p. 37–41, 2003.

ASAI, H.; SAMSON, B. K.; STEPHAN, H. M.; SONGYIKHANGSUTHOR, K.; HOMMA, K.; KIYONO, Y.; INOUE, Y.; SHIRAIWA, T.; HORIE, T. Field Crops Research Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1 . Soil physical properties , leaf SPAD and grain yield. [s. l.], v. 111, p. 81–84, 2009.

ASTIER, M.; ARGUETA, J. Q.; OROZCO-RAMÍREZ, Q.; V. GONZALES, M.; MORALES, J.; GERRITSEN, P. R. W.; ESCALONA, M. A.; ROSADO-BARRERA, J.; CASTREJÓN, F.; MORALES, H.; SOTO, L.; MARIACA, R.; FERGUSON, B.; ROSSET, P.; RAMIREZ, H.; JARQUÍN, R.; GARCÍA-MOYA, F.; AMBROSION, M.; GONZALEZ-ESQUIVEL, C. Back to the roots : understanding current agroecological movement , science , and practice in Mexico. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 41, n. 3–4, p. 329–348, 2017.

ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 337, n. 1, p. 1–18, 2010.

BANDARA, N. J. G. J.; HETTIARATCHI, J. P. A. Environmental impacts with waste disposal practices in a suburban municipality in Sri Lanka. **International Journal of Environment and Waste Management**, [s. l.], v. 6, n. 1–2, p. 107–116, 2010.

BEZERRA, J.; TURNHOUT, E.; VASQUEZ, I. M.; RITTL, T. F.; ARTS, B.; KUYPER, T. W. The promises of the Amazonian soil: shifts in discourses of Terra Preta and biochar. **Journal of Environmental Policy and Planning**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 623–635, 2019.

BIS, Z.; KOBYŁECKI, R.; ŚCISŁOWSKA, M.; ZARZYCKI, R. Biochar – Potential tool to combat climate change and drought. **Ecohydrology and Hydrobiology**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 441–453, 2018.

BLANCO-CANQUI, H. Biochar and Soil Physical Properties. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 81, n. 4, p. 687–711, 2017.

BLESH, J.; WOLF, S. A. Transitions to agroecological farming systems in the

Mississippi River Basin: toward an integrated socioecological analysis.

Agriculture and Human Values, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 621–635, 2014.

BORGES DE SOUZA, C.; CAUME, D. J.; BRASIL, M. S. CRÉDITO RURAL E AGRICULTURA FAMILIAR NO BRASIL. In: 2008, **Anais...** [s.l: s.n.]

BREWER, C. E.; SCHMIDT-ROHR, K.; SATRIO, J. A.; BROWN, R. C. Characterization of Biochar from Fast Pyrolysis and Gasification Systems. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 386–396, 2009.

BROCKHOFF, S. R.; CHRISTIANS, N. E.; KILLORN, R. J.; HORTON, R.; DAVIS, D. D. Physical and Mineral-Nutrition Properties of Sand-Based Turfgrass Root Zones Amended with Biochar. [s. l.], p. 1627–1631, 2010.

BRUUN, E. W.; AMBUS, P.; EGSGAARD, H.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 46, p. 73–79, 2012.

BUDAI, A.; ZIMMERMAN, A. R.; COWIE, A. L.; WEBBER, J. B. W.; SINGH, B. P.; GLASER, B.; MASIELLO, C. A.; ANDERSSON, D.; SHIELDS, F.; LEHMANN, J.; CAMPS ARBESTAIN, M.; WILLIAMS, M.; SOHI, S.; JOSEPH, S. Biochar Carbon Stability Test Method : An assessment of methods to determine biochar carbon stability. **International Biochar Initiative**, [s. l.], p. 1–10, 2013.

CARNEIRO, J. S. D. S.; LUSTOSA FILHO, J. F.; NARDIS, B. O.; RIBEIRO-SOARES, J.; ZINN, Y. L.; MELO, L. C. A. Carbon Stability of Engineered Biochar-Based Phosphate Fertilizers. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, [s. l.], v. 6, n. 11, p. 14203–14212, 2018.

CHAN, K. Y.; OATES, A.; SWAN, A. D.; HAYES, R. C.; DEAR, B. S.; PEOPLES, M. B. Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 89, n. 1, p. 13–21, 2006.

CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Australian**

Journal of Soil Research, [s. l.], v. 45, n. 8, p. 629–634, 2007.

CLARE, A.; BARNES, A.; MCDONAGH, J.; SHACKLEY, S. From rhetoric to reality: Farmer perspectives on the economic potential of biochar in China.

International Journal of Agricultural Sustainability, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 440–458, 2014.

CLARE, A.; SHACKLEY, S.; JOSEPH, S.; HAMMOND, J.; PAN, G.; BLOOM, A. Competing uses for China's straw: The economic and carbon abatement potential of biochar. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 1272–1282, 2015.

COOMES, O. T.; MILTNER, B. C. Indigenous Charcoal and Biochar Production: Potential for Soil Improvement under Shifting Cultivation Systems. **Land Degradation and Development**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 811–821, 2017.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. de M.; SANTOS, G. de A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 85–93, 2009.

CURAQUEO, G.; MEIER, S.; KHAN, N.; CEA, M.; NAVIA, R. Use of biochar on two volcanic soils: Effects on soil properties and barley yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 911–924, 2014.

DE GISI, S.; PETTA, L.; WENDLAND, C. History and technology of Terra Preta sanitation. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 1328–1345, 2014.

DEFRIES, R.; ROSENZWEIG, C. Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 107, n. 46, p. 19627–19632, 2010.

DEVEREUX, R. C.; STURROCK, C. J.; MOONEY, S. J. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. **Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, [s. l.], v. 103, n. 1, p. 13–18, 2012.

DING, Y.; LIU, Y.; LIU, S.; LI, Z.; TAN, X.; HUANG, X.; ZENG, G.; ZHOU, L.;

ZHENG, B. Biochar to improve soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 36, n. 2, 2016.

DONTHU, N.; KUMAR, S.; MUKHERJEE, D.; PANDEY, N.; LIM, W. M. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, [s. l.], v. 133, n. March, p. 285–296, 2021.

DURENKAMP, M.; LUO, Y.; BROOKES, P. C. Impact of black carbon addition to soil on the determination of soil microbial biomass by fumigation extraction. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 42, n. 11, p. 2026–2029, 2010.

EL-NAGGAR, A.; LEE, S. S.; RINKLEBE, J.; FAROOQ, M.; SONG, H.; SARMAH, A. K.; ZIMMERMAN, A. R.; AHMAD, M.; SHAHEEN, S. M.; OK, Y. S. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. **Geoderma**, [s. l.], v. 337, n. May 2018, p. 536–554, 2019.

ERNESTO MÉNDEZ, V.; BACON, C. M.; COHEN, R. Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 3–18, 2013.

FACTURA, H.; BETTENDORF, T.; BUZIE, C.; PIEPLOW, H.; RECKIN, J.; OTTERPOHL, R. Terra Preta sanitation: Re-discovered from an ancient Amazonian civilisation - Integrating sanitation, bio-waste management and agriculture. **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 61, n. 10, p. 2673–2679, 2010.

FAO. Los 10 Elementos de la agroecología, guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles. **L**, [s. l.], p. 12, 2018.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; CONNELL, C. O.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRO, J.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated planet. [s. l.], 2011.

FOWLES, M. Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], v. 31, n. 6, p. 426–432, 2007.

FRANCIS, C. A.; JORDAN, N.; PORTER, P.; BRELAND, T. A.; LIEBLEIN, G.; SALOMONSSON, L.; SRISKANDARAJAH, N.; WIEDENHOEFT, M.; DEHAAN, R.; BRADEN, I.; LANGER, V. Innovative education in agroecology: Experiential learning for a sustainable agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**, [s. l.], v. 30, n. 1–2, p. 226–237, 2011.

FURTADO, G. F.; CHAVES, L. H. G. Growth Rates and Sunflower Production in Function of Fertilization with Biochar and NPK. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 260, 2018.

FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Circular Economy Synergistic Opportunities of Decentralized Thermochemical Systems for Bioenergy and Biochar Production Fueled with Agro-industrial Wastes with Environmental Sustainability and Social Acceptance : a Review. [s. l.], 2018.

GALINDO-SEGURA, L. A.; PÉREZ VÁZQUEZ, A.; LANDEROS SÁNCHEZ, CESÁREO GÓMEZ-MERINO, F. C. Bibliometric analysis of scientific research on biochar Galindo-Segura,. **Journal of Fruit Science**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 723–733, 2020.

GAO, S.; HOFFMAN-KRULL, K.; DELUCA, T. H. Soil biochemical properties and crop productivity following application of locally produced biochar at organic farms on Waldron Island, WA. **Biogeochemistry**, [s. l.], v. 136, n. 1, p. 31–46, 2017.

GARCIA-POLO, J.; FALKOWSKI, T. B.; MOKASHI, S. A.; LAW, E. P.; FIX, A. J.; DIEMONT, S. A. W. Restoring ecosystems and eating them too: guidance from agroecology for sustainability. **Restoration Ecology**, [s. l.], p. 1–7, 2021.

GAUNT, J. L.; LEHMANN, J. **Abstracts of the International Agrichar Initiative 2007 Conference, Terrigal, Australia, 2007**. [s.l: s.n.].

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 143, p. 757–768, 2017.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: A model for

sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s. l.], v. 362, n. 1478, p. 187–196, 2007.

GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de índio). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, [s. l.], v. 82, p. 39–51, 2012.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, [s. l.], v. 88, n. 1, p. 37–41, 2001.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. [s. l.], p. 219–230, 2002.

GOMIERO, T. Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 1–41, 2016.

GURWICK, N. P.; MOORE, L. A.; KELLY, C.; ELIAS, P. A Systematic Review of Biochar Research, with a Focus on Its Stability in situ and Its Promise as a Climate Mitigation Strategy. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 8, n. 9, 2013.

IBRAHIM, H. M.; AL-WABEL, M. I.; USMAN, A. R. A.; AL-OMRAN, A. Effect of conocarpus biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. **Soil Science**, [s. l.], v. 178, n. 4, p. 165–173, 2013.

IPCC. **Mitigation of Climate Change**The Daunting Climate Change. [s.l: s.n.].

IPPOLITO, J. A.; LAIRD, D. A.; BUSSCHER, W. J. Environmental Benefits of Biochar. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 41, n. 4, p. 967–972, 2012.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources 2014 (update 2015). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.** [s.l: s.n.].

JATAV, H. S.; JAYANT, H.; KUMAR, S.; KUMAR, V.; CHATTOPADHYA, A.; DHAWAL, S.; SINGH, Y. Role of Biochar: In agriculture sector its implication and perspective. ~ **14** ~ **International Journal of Chemical Studies**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 14–18, 2017.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 144, n. 1, p. 175–187, 2011.

JOSEPH, S. D.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; LIN, Y.; MUNROE, P.; CHIA, C. H.; HOOK, J.; VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; COWIE, A.; SINGH, B. P.; LEHMANN, J.; FOIDL, N.; SMERNIK, R. J.; AMONETTE, J. E. An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal of Soil Research**, [s. l.], v. 48, n. 6–7, p. 501–515, 2010.

KALUS, K.; KOZIEL, J. A.; OPALIŃSKI, S. A review of biochar properties and their utilization in crop agriculture and livestock production. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 17, 2019.

KAMALI, M.; JAHANINAFARD, D.; MOSTAFAIE, A.; DAVARAZAR, M.; GOMES, A. P. D.; TARELHO, L. A. C.; DEWIL, R.; AMINABHAVI, T. M. Scientometric analysis and scientific trends on biochar application as soil amendment. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 395, n. April, p. 125128, 2020.

KAMARA, A.; SORIE KAMARA, H.; SAIMAH KAMARA, M. Effect of Rice Straw Biochar on Soil Quality and the Early Growth and Biomass Yield of Two Rice Varieties. **Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 06, n. 08, p. 798–806, 2015.

KÄMPF, N.; KERN, D. . O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. **Tópico em Ciência do Solo**, [s. l.], n. 2, p. 277–320, 2005.

KING, M. F.; GUTBERLET, J. Contribution of cooperative sector recycling to greenhouse gas emissions reduction: A case study of Ribeirão Pires, Brazil. **Waste Management**, [s. l.], v. 33, n. 12, p. 2771–2780, 2013.

KLOSS, S.; ZEHETNER, F.; WIMMER, B.; BUECKER, J.; REMPT, F.; SOJA, G. Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [s. l.], v. 177, n. 1, p. 3–15, 2014.

KOIDE, R. T.; NGUYEN, B. T.; SKINNER, R. H.; DELL, C. J.; PEOPLES, M. S.; ADLER, P. R.; DROHAN, P. J. Biochar amendment of soil improves resilience to climate change. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 7, n. 5, p. 1084–1091, 2015.

LAGHARI, M.; NAIDU, R.; XIAO, B.; HU, Z.; MIRJAT, M. S.; HU, M.; KANDHRO, M. N.; CHEN, Z.; GUO, D.; JOGI, Q.; ABUDI, Z. N.; FAZAL, S. Recent developments in biochar as an effective tool for agricultural soil management: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 96, n. 15, p. 4840–4849, 2016.

LAIRD, D. A. The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. [s. l.], 2008.

LAUREANO, P. Ancient water catchment techniques for proper management of Mediterranean ecosystems. **Water Science and Technology: Water Supply**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 237–244, 2007.

LEACH, M.; FAIRHEAD, J.; FRASER, J. Green grabs and biochar: Revaluing African soils and farming in the new carbon economy. **Journal of Peasant Studies**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 285–307, 2012.

LEHMAN, R. M.; ACOSTA-MARTINEZ, V.; BUYER, J. S.; CAMBARDELLA, C. A.; COLLINS, H. P.; DUCEY, T. F.; HALVORSON, J. J.; JIN, V. L.; JOHNSON, J. M. F.; KREMER, R. J.; LUNDGREN, J. G.; MANTER, D. K.; MAUL, J. E.; SMITH, J. L.; STOTT, D. E. Soil biology for resilient, healthy soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, [s. l.], v. 70, n. 1, p. 12A-18A, 2015.

LEHMANN, J. Terra preta nova - Where to from here? **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision**, [s. l.], p. 473–486, 2009.

LEHMANN, J.; DA SILVA, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.;

GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **PLANT AND SOIL**, VAN GODEWIJCKSTRAAT 30, 3311 GZ DORDRECHT, NETHERLANDS, v. 249, n. 2, p. 343–357, 2003.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 403–427, 2006.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZÃO, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 70, n. 5, p. 1719–1730, 2006.

LIANG, C.; ZHU, X.; FU, S.; MÉNDEZ, A.; GASCÓ, G.; PAZ-FERREIRO, J. Biochar alters the resistance and resilience to drought in a tropical soil. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2014.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R. J.; KER, J. C. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, [s. l.], v. 110, n. 1–2, p. 1–17, 2002.

LÓPEZ SÁNCHEZ, R.; PIÑANGO CRESPO, K.; SUAREZ PIÑA, R. LAS SELVAS ANTROPOGÉNICAS DE LOS INDÍGENAS AMAZONICOS The anthropogenic jungle of the amazon indigenous. **Revista de Ciencias Humanas y Sociales**, [s. l.], v. 93, p. 271–286, 2020.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 333, n. 1, p. 117–128, 2010.

MANGRICH, A. S.; CARDOSO, E. M. C.; DOUMER, M. E.; ROMÃO, L. P. C.; VIDAL, M.; RIGOL, A.; NOVOTNY, E. H. Improving the Water Holding Capacity of Soils of Northeast Brazil by Biochar Augmentation. **ACS Symposium Series**, [s. l.], v. 1206, p. 339–354, 2015.

MARTIN, J. F.; ROY, E. D.; DIEMONT, S. A. W.; FERGUSON, B. G. Traditional Ecological Knowledge (TEK): Ideas, inspiration, and designs for ecological engineering. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 36, n. 7, p. 839–849, 2010.

MEKURIA, W.; NOBLE, A. The Role of Biochar in Ameliorating Disturbed Soils and Sequestering Soil Carbon in Tropical Agricultural Production Systems International Water Management Institute (IWMI), 127 Sunil Mawatha , Pelawatte ., **Applied and Environmental Soil Science**, [s. l.], v. 2013, 2013.

MIA, S.; UDDIN, N.; AL MAMUN HOSSAIN, S. A.; AMIN, R.; METE, F. Z.; HIEMSTRA, T. Production of Biochar for Soil Application: A Comparative Study of Three Kiln Models. **Pedosphere**, [s. l.], v. 25, n. 5, p. 696–702, 2015.

MORSELETTO, P. Targets for a circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 153, n. October 2019, p. 104553, 2020.

NDAMEU, B. A.; BIOFUELWATCH. **Biochas Fund Trials In Cameroon Hype And Unfulfilled Promises**. [s.l: s.n.].

NOGUERA, D.; LAOSSI, K. R.; LAVELLE, P.; CRUZ DE CARVALHO, M. H.; ASAKAWA, N.; BOTERO, C.; BAROT, S. C ommunications C ommunications. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 21, n. 7, p. 2349–2356, 2011.

NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; DEAZEVEDO, E. R.; DE SOUZA, A. A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilisation of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 1003–1010, 2009.

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. de F.; CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E. Biochar: Carbono pirogênico para uso agrícola - Uma revisão crítica. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 321–344, 2015.

OBIA, A.; MARTINSEN, V.; CORNELISSEN, G.; BØRRESEN, T.; SMEBYE, A. B.; MUNERA-ECHEVERRI, J. L.; MULDER, J. Biochar Application to Soil for Increased Resilience of Agroecosystems to Climate Change in Eastern and Southern Africa. **Climate Change Management**, [s. l.], p. 129–144, 2019.

- OGUNTUNDE, P. G.; ABIODUN, B. J.; AJAYI, A. E.; GIESEN, N. Van De. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. [s. l.], p. 591–596, 2008.
- OMONDI, M. O.; XIA, X.; NAHAYO, A.; LIU, X.; KORAI, P. K.; PAN, G. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. **Geoderma**, [s. l.], v. 274, p. 28–34, 2016.
- PANWAR, N. L.; PAWAR, A.; SALVI, B. L. Comprehensive review on production and utilization of biochar. **SN Applied Sciences**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 1–19, 2019.
- PIMENTEL, D.; WILLIAMSON, S.; ALEXANDER, C. E.; GONZALEZ-PAGAN, O.; KONTAK, C.; MULKEY, S. E. Reducing Energy Inputs in the US Food System. [s. l.], p. 459–471, 2008.
- POURHASHEM, G.; HUNG, S. Y.; MEDLOCK, K. B.; MASIELLO, C. A. Policy support for biochar: Review and recommendations. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 364–380, 2019.
- POZZA, S. A.; PENTEADO, C. S. G.; CRISCUOLO, V. G. A greenhouse gas inventory in the municipal landfill of the City of Limeira, Brazil. **Chemical Engineering Transactions**, [s. l.], v. 43, n. September, p. 2083–2088, 2015.
- RAJKOVICH, S.; ENDERS, A.; HANLEY, K.; HYLAND, C.; ZIMMERMAN, A. R.; LEHMANN, J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, [s. l.], v. 48, n. 3, p. 271–284, 2012.
- SALETNIK, B.; ZAGULA, G.; BAJCAR, M.; TARAPATSKYY, M.; BOBULA, G.; PUCHALSKI, C. Biochar as a multifunctional component of the environment-a review. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2019.
- SANTANA, G. Terra preta de indio na região amazônica. [s. l.], n. 1, p. 1–8, 2012.
- SARANDÓN, S. J.; FLORES, C. C. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. **Agroecología**, [s. l.], v. 4, p.

19–28, 2009.

SCHULZ, H.; DUNST, G.; GLASER, B. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 817–827, 2013.

SCHULZ, H.; GLASER, B. 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**, [s. l.], v. 175, n. 3, p. 410–422, 2012.

SINGH, B. P.; HATTON, B. K.; SINGH, B.; COWIE, A. .; KATHURIA, A. Influence of Biochars on Nitrous Oxide Emission and Nitrogen Leaching from two Contrasting Soils. [s. l.], 2010.

SINGH, B. P.; SAINJU, U. M. **Soil Physical and Morphological Properties and Root Growth**1998.

SINGH, J.; SALARIA, A.; KAUL, A. Impact of soil compaction on soil physical properties and root growth: A review. **International Journal of Food**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 23–32, 2015.

SMITH, P.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTKENKO, O.; HOWDEN, S.; MCALLISTER, T. Chapter 8 Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture. **Philos. Trans. R. Soc. B**, [s. l.], v. 363, n. January, 2007. a.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; MARA, F. O.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTKENKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. [s. l.], v. 118, p. 6–28, 2007. b.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, [s. l.], v. 105, n. 1, p. 47–82, 2010.

SOMBROEK, W. Amazon Soils. [s. l.], p. 303, Record number 421842, 1965.

SPARREVIK, M.; FIELD, J. L.; MARTINSEN, V.; BREEDVELD, G. D.; CORNELISSEN, G. Life cycle assessment to evaluate the environmental impact of biochar implementation in conservation agriculture in Zambia. **Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 47, n. 3, p. 1206–1215, 2013.

STREUBEL, J. D.; COLLINS, H. P.; GARCIA-PEREZ, M.; TARARA, J.; GRANATSTEIN, D.; KRUGER, C. E. Influence of Contrasting Biochar Types on Five Soils at Increasing Rates of Application. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 75, n. 4, p. 1402–1413, 2011.

TAMMEORG, P.; BASTOS, A. C.; JEFFERY, S.; REES, F.; KERN, J.; GRABER, E. R.; VENTURA, M.; KIBBLEWHITE, M.; AMARO, A.; BUDAI, A.; CORDOVIL, C. M. d. S.; DOMENE, X.; GARDI, C.; GASCÓ, G.; HORÁK, J.; KAMMANN, C.; KONDRLOVA, E.; LAIRD, D.; LOUREIRO, S.; MARTINS, M. A. S.; PANZACCHI, P.; PRASAD, M.; PRODANA, M.; PUGA, A. P.; RUYSSCHAERT, G.; SAS-PASZT, L.; SILVA, F. C.; TEIXEIRA, W. G.; TONON, G.; DELLE VEDOVE, G.; ZAVALLONI, C.; GLASER, B.; VERHEIJEN, F. G. A. Biochars in soils: towards the required level of scientific understanding. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 192–207, 2017.

TRAZZI, P. A.; HIGA, ANTONIO RIOYEI HIGA DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. BIOCÁRVÃO: REALIDADE E POTENCIAL DE USO NO MEIO FLORESTAL. [s. l.], p. 2018, 2018.

TUBIELLO, F. N.; SALVATORE, M.; GOLEC, R. D. C.; FERRARA, A.; ROSSI, S.; BIANCALANI, R.; FEDERICI, S.; JACOBS, H.; FLAMMINI, A. FAO Statistics Division Working Paper Series Agriculture , Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks 1990-2011 Analysis. [s. l.], n. March, 2014.

VAN DER WERF, G. R.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; OLIVER, J. G. .; KASIBHATLA, P. S.; JACKSON, R. B.; COLLATZ, G. .; RANDERSON, J. T. CO₂ Emissions from forest loss. **Nature Geoscience**, [s. l.], v. 52, n. 4, p. 769–

839, 2009.

VELENTURF, A. P. M.; PURNELL, P. Principles for a sustainable circular economy. **Sustainable Production and Consumption**, [s. l.], v. 27, p. 1437–1457, 2021.

WARA, M. Is the global carbon market working? **Nature**, [s. l.], v. 445, n. 7128, p. 595–596, 2007.

WEZEL, A.; BELLON, S.; DORÉ, T.; FRANCIS, C.; VALLOD, D.; DAVID, C. Review article Agroecology as a science , a movement and a practice . A review. [s. l.], v. 29, p. 503–515, 2009.

WILLIS, A. D. Rarefaction, alpha diversity, and statistics. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 10, n. OCT, 2019.

WOOLF, D.; AMONETTE, J. E.; STREET-PERROTT, F. A.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**, [s. l.], v. 1, n. 5, 2010.

WU, H.; LAI, C.; ZENG, G.; LIANG, J.; CHEN, J.; XU, J.; DAI, J.; LI, X.; LIU, J.; CHEN, M.; LU, L.; HU, L.; WAN, J. The interactions of composting and biochar and their implications for soil amendment and pollution remediation: a review. **Critical Reviews in Biotechnology**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 754–764, 2017.

WU, P.; ATA-UL-KARIM, S. T.; SINGH, B. P.; WANG, H.; WU, T.; LIU, C.; FANG, G.; ZHOU, D.; WANG, Y.; CHEN, W. A scientometric review of biochar research in the past 20 years (1998–2018). **Biochar**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 23–43, 2019.

YAO, Q.; LIU, J.; YU, Z.; LI, Y.; JIN, J.; LIU, X.; WANG, G. Changes of bacterial community compositions after three years of biochar application in a black soil of northeast China. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 113, p. 11–21, 2017.

YUSUF A.S; ADEYEMI T.O; ADELEYE A.S; BAKPOLOR V.R; ADEGBOYEGA D.A; ADETOLA O.O. Impacts of agriculture and forestry in the control of climate change: The role of extension services. **International Journal on Integrated Education**, [s. l.], v. 3, n. 10, p. 71–75, 2020.

ZAMA, E. F.; REID, B. J.; ARP, H. P. H.; SUN, G. X.; YUAN, H. Y.; ZHU, Y. G. Advances in research on the use of biochar in soil for remediation: a review. **Journal of Soils and Sediments**, [s. l.], v. 18, n. 7, p. 2433–2450, 2018.

ZHANG, C.; ZENG, G.; HUANG, D.; LAI, C.; CHEN, M.; CHENG, M.; TANG, W.; TANG, L.; DONG, H.; HUANG, B.; TAN, X.; WANG, R. Biochar for environmental management: Mitigating greenhouse gas emissions, contaminant treatment, and potential negative impacts. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 373, n. May, p. 902–922, 2019.

ZHENG, W. Using Biochar as a Soil Amendment for Sustainable Agriculture. ... **the Sustainable Agriculture ...**, [s. l.], v. 7276, n. December, 2010.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.

3. CAPÍTULO 2 - ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO USO AGRÍCOLA DE BIOCHAR NO BRASIL, 2003-2020: STATUS DA PESQUISA E MATÉRIAS-PRIMAS PROMISSORAS

RESUMO

O biochar tem sido considerado uma opção promissora para o desenvolvimento de agroecossistemas sustentáveis, devido aos seus diversos benefícios agrônômicos e ambientais. O objetivo deste estudo foi realizar uma análise bibliométrica da pesquisa de biochar no Brasil no contexto agrícola, incluindo uma abordagem sobre as matérias-primas mais utilizadas para a sua produção no país. A análise foi conduzida com base em busca de artigos científicos (*peer-reviewed papers*) na Web of Science (*WoS Core Collection*), no período de 2003-2020, especificamente para o Brasil. Foram realizadas a análise de desempenho (*performance analysis*), para a abordagem descritiva e métrica dos constituintes da pesquisa (autores, instituições, países e palavras-chave), e o mapeamento científico (*science mapping*), para esclarecimento dos padrões de colaboração científica e da estrutura cognitiva e intelectual do domínio do biochar na pesquisa brasileira, por meio do uso do software *VOSviewer*. Além disso, os trabalhos foram analisados individualmente visando a classificação das diferentes matérias-primas utilizadas para a produção do biochar. Considerando os 261 artigos científicos que atenderam aos critérios de triagem, observou-se que o início das publicações sobre biochar no Brasil ocorreu em 2003, com tendência de ascensão à partir de 2015 e auge em 2021. As instituições e autores com maior contribuição de publicações científicas foram: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Novotny E.), Universidade de São Paulo (USP) (Cerri C.) e Universidade Federal de Lavras (UFLA) (Melo L.). Estados Unidos, Espanha, Austrália, Alemanha e Holanda apresentam o maior número de colaborações em pesquisa de biochar com o Brasil. O domínio do biochar esteve mais associado às seguintes palavras-chave: biochar, pyrogenic carbon, pyrolysis, charcoal, immobilization, black carbon, soil fertility e soil and characterization. Matérias-primas de origem vegetal foram as mais utilizadas em

pesquisas com biochar no Brasil, sendo os resíduos madeiros os mais estudados e os resíduos da indústria sucroenergética (palha, bagaço e torta de filtro) identificados com alto potencial para futuros estudos. A cama de frango é o resíduo de origem animal mais promissor para a produção de biochar, enquanto o uso de biossólido pode ser inovador, contribuindo para a consolidação do biochar como opção para sérios problemas de gerenciamento sanitário de resíduos urbanos.

Palavras-chave: cama de frango, dejetos suínos, pirólise, resíduo madeiro, VOSviewer.

3.2 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da agricultura mundial é produzir alimentos, fibras e energia, mantendo altas produtividades sem ocasionar a degradação do solo, a poluição das águas, a perda da biodiversidade e a emissão de gases de efeito estufa (ALMEIDA PRADO et al., 2016). O desenvolvimento de práticas de manejo e conservação do solo tem sido apontado como estratégia mitigadora dos efeitos negativos provocados pelas práticas agrícolas convencionais (CLARE et al., 2015; DING et al., 2016).

Na região da Amazônia Central (vale do Amazonas-Solimões) há ocorrência restrita de solos chamados de “Terra Preta de Índio (TPI)”, tecnicamente classificados como Anthrosols (solos antropogênicos) (IUSS WORKING GROUP WRB, 2014) por terem sua origem associada à fortes modificações provocadas por atividades de longo prazo de populações ameríndias pré-colombianas há 500-2500 anos. Os altos teores de C pirogênico destes Anthrosols foram considerados evidências do uso de carvão como aditivo, que notavelmente foram capazes de preservar o alto potencial de produção e a alta fertilidade do solo (GLASER, 2007; GLASER; BIRK, 2012; LEHMANN et al., 2003).

Nos últimos anos houve expansão do interesse na pesquisa de carvões e de resíduos parcialmente carbonizados visando obter materiais semelhantes a matéria orgânica das TPIs, sobretudo aqueles com conteúdo de carbono pirogênico para uso agrícola e ambiental (GLASER, 2007; NOVOTNY et al., 2009). O biocarvão ou o biochar (junção das palavras em inglês “biomass” e “charcoal”) define o carbono pirogênico obtido através da decomposição térmica de biomassa vegetal ou animal pelo processo de pirólise, sob condições limitadas de fornecimento de oxigênio e com diferentes temperaturas (de 200 °C a 700 °C) (LEHMANN, 2009).

Embora o interesse mundial nas pesquisas com biochar tem crescido em grandes proporções e envolvido as áreas de Ciências Ambientais, Energia, Ciência do Solo, Biotecnologia e Microbiologia, Engenharia Química, Engenharia Ambiental e Agronomia, o biochar é considerado relativamente recente como campo ou domínio de pesquisa, sendo que o primeiro registro de publicação de artigo científico (considerando o termo em inglês biochar) foi em 2000 (TRAZZI et al., 2018).

Existem diversas revisões de literatura acerca de diferentes temas de relevância sobre biochar, que o indicam como promissora alternativa para melhorar a sustentabilidade de agroecossistemas, tais como: propriedades, produção e caracterização e potencial para uso agrícola e manejo do solo (ATKINSON; FITZGERALD; HIPPS, 2010; KALUS; KOZIEL; OPALIŃSKI, 2019; LAGHARI et al., 2016; NOVOTNY et al., 2015; PANWAR; PAWAR; SALVI, 2019; SOHI et al., 2010); melhoria da fertilidade do solo e da disponibilidade de nutrientes (DING et al., 2016; EL-NAGGAR et al., 2019; KLOSS et al., 2014; SCHULZ; GLASER, 2012); estratégias de mitigação do aquecimento global, potencial de sequestro de carbono no solo e outras questões ambientais (GURWICK et al., 2013; IPPOLITO; LAIRD; BUSSCHER, 2012; JEFFERY et al., 2011; LAIRD, 2008; MEKURIA; NOBLE, 2013; SALETNIK et al., 2019; SINGH et al., 2010); contaminação e remediação do solo (ZAMA et al., 2018) e políticas públicas para recomendação de aplicação (POURHASHEM et al., 2019). Estas publicações são exemplos típicos de revisões sistemáticas (*review paper, comprehensive review, critical review, state-of-the-art review*), que se atém aos processos de busca, arranjo, descrição, análise e síntese de um amplo conjunto de evidências de alta qualidade e relevantes para esclarecer questões específicas de pesquisa (DONTHU et al., 2021).

Apesar da crescente preocupação e publicações sobre o biochar, reduzidas pesquisas abordaram a análise do desenvolvimento das frentes de busca com o domínio do biochar (WU et al., 2019). Desta forma, é importante reconhecer o potencial da análise bibliométrica como alternativa ou complemento dentro das revisões sistemáticas (DONTHU et al., 2021).

A estratégia de análise bibliométrica permite avaliar tendências, deficiências, lacunas e direções na pesquisa (DONTHU et al., 2021). Viabiliza também decifrar o conhecimento científico cumulativo, dando sentido a grandes volumes de informações, facilmente adquiridos em bancos de dados científicos e introduzindo rigor quantitativo na avaliação subjetiva da literatura (DONTHU et al., 2021; ZUPIC; ČATER, 2015), por meio de softwares bibliométricos como SciMAT, CiteSpace e o VOSviewer.

Análises bibliométricas de alguns temas sobre biochar encontradas na literatura científica incluem: levantamento e evolução da pesquisa (GALINDO-SEGURA; PÉREZ VÁZQUEZ; LANDEROS SÁNCHEZ, CESÁREO GÓMEZ-MERINO, 2020; WU et al., 2019); produtividade das culturas agrícolas (JEFFERY et al., 2011) e uso como corretivo e condicionador do solo (KAMALI et al., 2020).

A pesquisa sobre biochar evoluiu rapidamente em termos de publicações de artigos, mas muitos aspectos sobre seu uso foram investigados apenas superficialmente, de modo que importantes lacunas de conhecimento ainda persistem (TAMMEORG et al., 2017), o que dificulta o estabelecimento de parâmetros sobre a aplicação do biochar como condicionador do solo, em termos agrícolas. Nesse sentido, a modificação nos atributos do solo depende de certas características do biochar, como a matéria-prima e a temperatura de pirólise utilizada durante a produção (BRUUN et al., 2012; JOSEPH et al., 2010).

Ainda são poucos os estudos bibliométricos que analisam as matérias-primas utilizadas para a produção do biochar no Brasil bem como aqueles que abordam a relevância do país na pesquisa do biochar. Neste estudo, o software VOSviewer foi utilizado para analisar a produção científica do Brasil, e identificar as principais matérias-primas utilizadas para a produção de biochar, no período de 2003 a 2021, a partir da indexação do primeiro artigo que atendeu aos critérios de seleção disponíveis na Coleção da Web of Science. O objetivo principal foi a análise bibliométrica de artigos científicos (artigos revisados por pares) para identificar as contribuições dos componentes da pesquisa (números de publicações ao longo dos anos, autores, instituições, países e colaborações internacionais) e as matérias-

primas utilizadas para a produção de biochar no Brasil, especificamente no contexto agrícola. Uma análise mais específica sobre as matérias-primas utilizadas para a produção de biochar no Brasil foi desenvolvida, com o propósito de compreender quais são as opções de biomassa mais relevantes para auxiliar a concepção de futuras propostas de pesquisa.

3.3 MATERIAL E METODOS

3.3.1 Levantamento e triagem de publicações

O levantamento e a triagem (*searching and screening data*) das publicações científicas sobre biochar seguiram a metodologia bibliométrica recomendada e utilizada por vários autores (DONTHU et al., 2021; GURWICK et al., 2013; WU et al., 2019; ZUPIC; ČATER, 2015). Os artigos selecionados para o estudo foram obtidos na base de dados da coleção principal da *Web of Science (WoS Core Collection)*, por ser reconhecida como a base de dados mais completa da literatura científica e que indexa artigos vinculados a periódicos internacionais de alta visibilidade. Os dados foram coletados em fevereiro de 2022 com o objetivo de obter todos os artigos vinculados a pesquisadores brasileiros que estudaram o uso de biochar no contexto agrícola, desde a indexação do primeiro artigo sobre o tema na base, no ano 2003 (LEHMANN et al., 2003), até o ano de 2021. Para a busca dos artigos foi selecionada a opção "Todos os Campos" com os termos (*biochar** or "*black carbon*") and (*soil** or *agr**). Em seguida, aplicou-se filtros quanto ao tipo de documento, selecionando-se apenas artigos científicos (*primary research papers* ou *peer-reviewed papers*). Por fim, em países e regiões, foi selecionado o Brasil, com o objetivo de incluir apenas aqueles artigos cujos autores principais tiveram endereços em instituições brasileiras.

Em seguida, foi realizada uma seleção crítica e mais específica, com base na leitura dos artigos, para garantir a adequação dos artigos aos objetivos das análises. A caracterização quantitativa da literatura relacionada ao tipo de biomassa ou de matéria-prima usada na obtenção do biochar foi priorizada, com

exclusão de artigos em que: (1) o biochar não foi estudado para fins agrícolas; (2) foram estudadas as Terras Pretas de Índio (TPIs) (Amazonian Black Earth); (3) revisões e compilações sobre biochar foram elaboradas, mas sem apresentação de novas informações científicas.

3.3.2 Análise bibliométrica

A análise bibliométrica inicial dos artigos selecionados no *WoS* foi conduzida com as ferramentas da própria plataforma. Foi possível observar a distribuição das publicações no decorrer dos anos, as instituições brasileiras envolvidas, as colaborações internacionais e os autores com maior número de publicações. Os artigos selecionados foram exportados para o software *VOSviewer*, programa de computador desenvolvido em Java e com acesso gratuito. O software utiliza o método VOS (Visualization of Similarities) para definir os nós e as ligações de sua rede de análise, para posterior construção de mapas de visualização de rede (network visualization maps), nos quais os objetos com alta similaridade estão mais proximamente localizados (van Eck and Waltman, 2010). A análise no *VOSviewer* foi realizada considerando a co-autoria e as palavras-chaves dos autores.

As técnicas de análise bibliométrica empregadas neste estudo se basearam na análise de desempenho (performance analysis) e no mapeamento científico (science mapping) (Zupic and Čater, 2015; Donthu et al., 2021). Pela análise de desempenho, de natureza descritiva e analítica, buscou-se compreender o comportamento da pesquisa no campo ou domínio específico do biochar e as contribuições dos constituintes da pesquisa (autores, instituições e países), sobretudo com relação aos padrões de publicação de indivíduos e de instituições.

As relações entre os constituintes da pesquisa foram examinadas pelo mapeamento científico, buscando esclarecer os padrões de colaboração científica, da estrutura cognitiva e intelectual, e da delimitação e evolução do

campo científico e da linha particular de pesquisa sobre biochar no Brasil. Para elaborar a representação espacial das inter-relações entre autores e palavras-chave foram adotadas as seguintes técnicas: a) análise de co-autoria (co-authorship analysis), empregada para identificar as parcerias, interações e a formalidade de colaboração intelectual entre pesquisadores que colaboram em determinado campo de pesquisa. A identificação de colaborações entre pesquisadores indica que pode estar havendo aprimoramentos na pesquisa, devido à maior clareza sobre o assunto, percepções mais ricas e oportunidades de insights para a construção de novos grupos de pesquisa; b) análise de co-palavras (co-word analysis), empregada na identificação de palavras-chaves do autor e de palavras relevantes que podem ocorrer com mais frequência em títulos e resumos. A análise de co-palavra também assume que palavras que frequentemente aparecem juntas possuem identidade temática. O mapeamento das colaborações permite a retificação da trajetória intelectual dos pesquisadores mais experientes e fornece direcionamento para que futuros pesquisadores alcancem interações com grupos de maior expressão no campo de pesquisa.

A análise específica das matérias-primas utilizadas nos estudos sobre biochar no Brasil permitiu sua classificação em 5 categorias: (1) Origem vegetal, (2) Origem animal, (3) Resíduos de biossólidos de estações de tratamento de esgoto, (4) Biochar de uma mistura de duas ou mais categorias, (5) Nenhuma origem especificada.

Em seguida, foram analisados e categorizados os trabalhos que abordavam o uso de matérias-primas de origem vegetal e animal. Dentre os biochars de origem vegetal, foram consideradas quatro categorias: (1) Origem madeireira, (2) Origem não-madeireira, (3) Resíduos da indústria sucroenergética (bagaço de cana-de-açúcar, palha de cana-de-açúcar e torta de filtro) e (4) Mistura de diferentes categorias de origem vegetal. Em relação aos biochars de origem animal, três categorias foram consideradas: (1) Cama de frango, (2) Dejetos de animais (inclui biochars de esterco bovino e suíno) e (3) Ossos de suínos.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Análise bibliométrica

3.4.1.1 Publicações sobre biochar associadas a instituições brasileiras.

Foram selecionados 521 artigos científicos com os termos de busca utilizados, indicando que o escopo do estudo foi suficientemente grande para justificar o uso da análise bibliométrica (DONTHU et al., 2021). Após revisão individual, 260 deles foram excluídos por não atenderem às condições exigidas para a análise. Consequentemente, foram analisados 261 artigos nos quais foram identificados 304 tipos de biochar utilizados, os quais foram posteriormente classificados de acordo com sua matéria-prima. Alguns trabalhos abordaram o uso de mais de um biochar, o que explica o maior número de materiais quando comparado ao número de artigos analisados.

Considerando a análise da distribuição das publicações sobre o biochar no decorrer dos anos (Figura 2), observou-se que o primeiro registro de biochar no WoS em pesquisa vinculada à pesquisa brasileira foi em 2003 (LEHMANN et al., 2003). Durante os oito anos seguintes, não houve aumento de publicações, inclusive não sendo observadas publicações em 2004, 2006 e 2009, considerando os critérios de inclusão selecionados. No entanto, desde 2012, houve um aumento sustentado de publicações, chegando em 36 artigos no ano de 2020. O auge de publicações ocorreu em 2021, com 49 publicações.

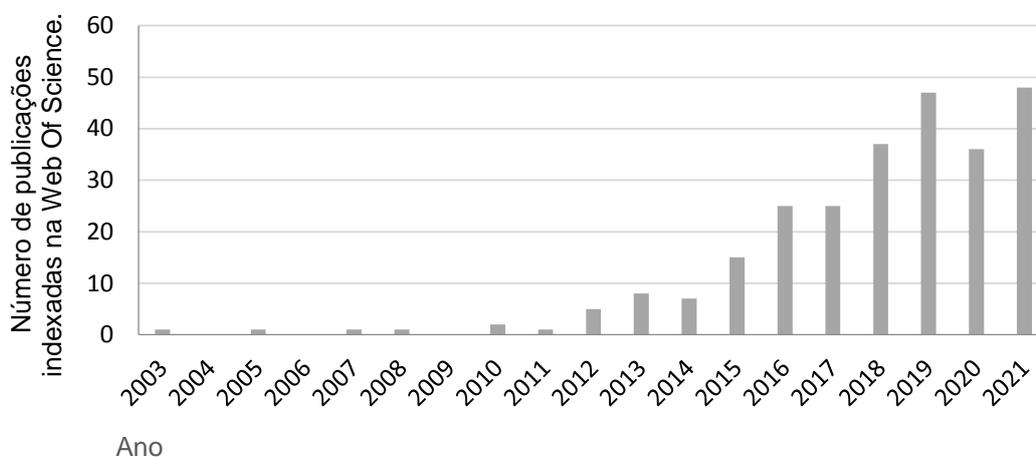


Figura 2. Número de artigos científicos sobre biochar publicados por pesquisadores de instituições brasileiras entre os anos de 2003 e 2021, indexados no Web of Science.

3.4.1.2 Principais instituições de pesquisa

Foram selecionadas as instituições que ocuparam as dez primeiras posições, em número de artigos publicados (Figura 3). Em relação às instituições brasileiras de maior destaque para a pesquisa de biochar, destaca-se a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) com 58 artigos científicos publicados entre 2003 e 2021. As unidades da EMBRAPA com maior número de artigos relacionados à pesquisa foram a EMBRAPA Solos, nos estados Rio de Janeiro e Pernambuco, EMBRAPA Meio Ambiente, em São Paulo, e EMBRAPA Arroz e Feijão, em Goiás. Em seguida, a Universidade de São Paulo (USP) colaborou com 29 artigos, seguida pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), com participação em 27 artigos.

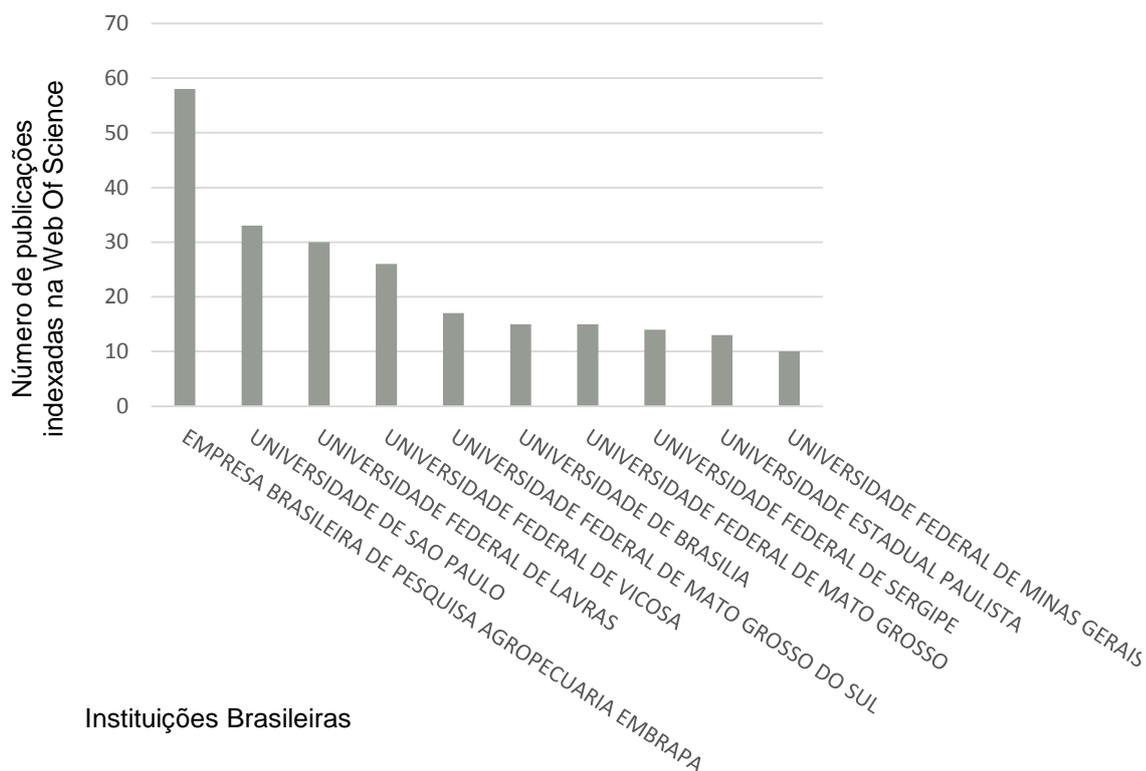


Figura 3. Número de artigos científicos sobre biochar publicados por pesquisadores de instituições brasileiras considerando as principais instituições de origem dos pesquisadores, entre os anos de 2003 e 2021, indexados no Web of Science.

3.4.1.3 Cooperações internacionais

Foi identificada a colaboração na publicação de artigos com 36 países, dos cinco continentes (Figura 4), considerando que 71,26% dos artigos analisados contaram com colaboração de pesquisadores de outros países além do Brasil. Espanha e Estados Unidos apresentaram o maior número de colaborações totais do total de artigos avaliados, 16% e 13% respectivamente. A Austrália e a Alemanha ficaram em segundo lugar, representadas por 9% e, em terceiro, os Países Baixos, contribuindo com 6%. Esses cinco países representam 53% do total de colaborações internacionais de artigos relacionados a estudos de biochar.

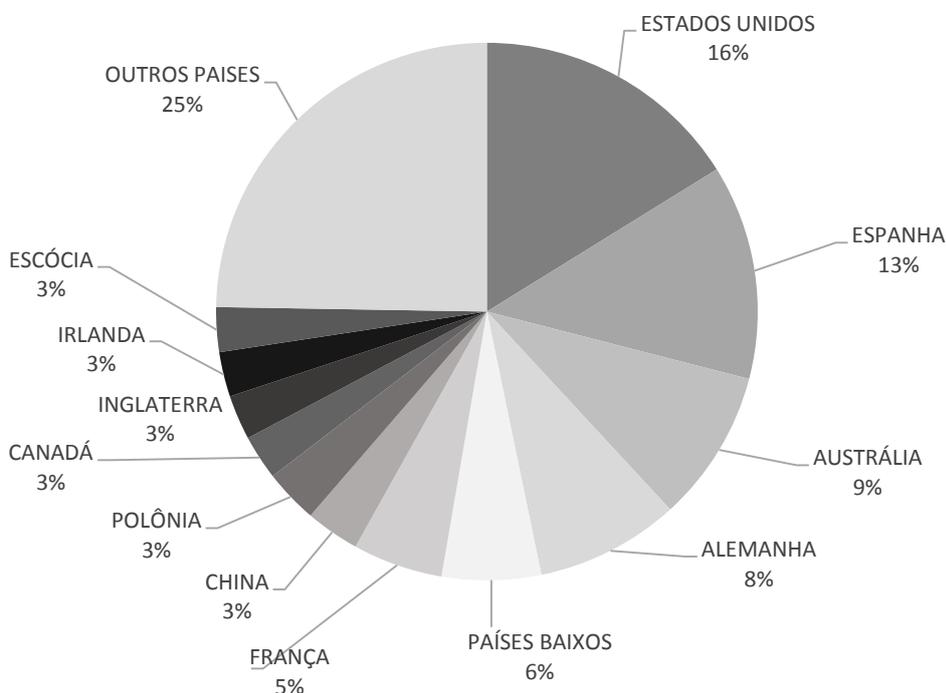


Figura 4. Principais países relacionados às instituições brasileiras em artigos científicos sobre biochar publicados no Brasil entre os anos de 2003 e 2021, indexados no *Web of Science*.

3.4.1.4 Principais pesquisadores vinculados à pesquisa com biochar

Os autores com maior número de artigos publicados pertencem, em geral, às instituições que publicaram o maior número de artigos. Dentre os principais autores vinculados a pesquisa de biochar no Brasil (Figura 5), observa-se que Melo L. foi o mais ativo e influente, com o maior número de artigos publicados (19), inseridos principalmente na área de Ciências Ambientais dentro das categorias estabelecidas pela *WoS*. O autor pertence à Universidade Federal de Lavras (UFLA), que participou de 11,49% dos artigos analisados. Em seguida, Novotny E., pesquisador da Embrapa Solos, participou de 13 artigos, principalmente na categoria *WoS* de Agricultura Multidisciplinar. Cerri C., da Universidade de São Paulo (USP) participou de 12 artigos.

Figueredo C.C., da Universidade de Brasília, Gonzaga, M.I., da Universidade Federal de Sergipe, e Petter F.A., da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), participaram de 11 artigos.

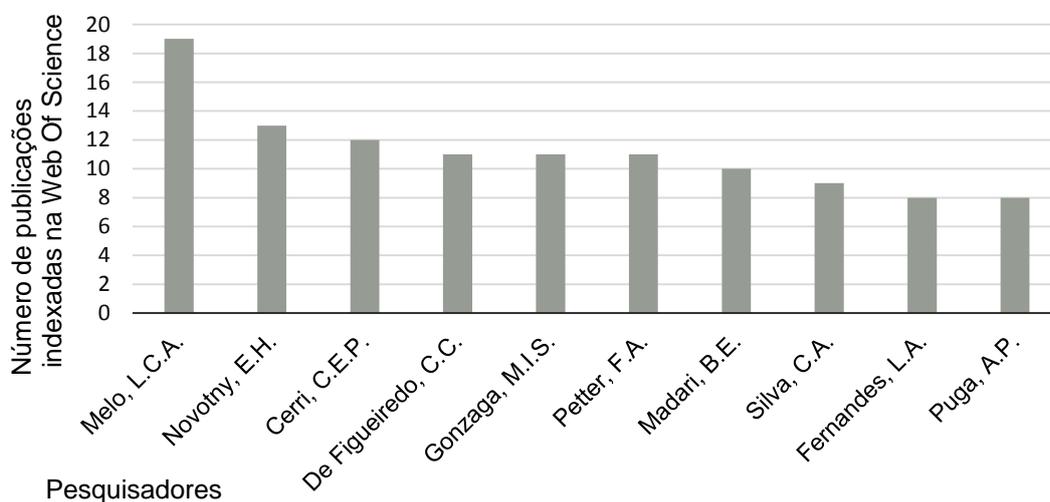


Figura 5. Número de artigos científicos sobre biochar publicados no Brasil, considerando os principais pesquisadores, entre os anos de 2003 e 2021, indexados no Web of Science.

3.4.1.5 Mapeamento científico (*scientific mapping*)

3.4.1.5.1 Análise co-autoria (*co-authorship*)

O mapa de co-autoria incluiu 75 autores, considerando o número mínimo de três publicações. Os autores foram distribuídos em 11 grupos (Figura 6a). Sete grupos não se relacionaram e 8 grupos de autores mantiveram relações de cooperação com pelo menos um grupo. Cada grupo manteve pelo menos uma colaboração com membros de outro grupo.

Em relação ao ano médio de publicações de cada autor e grupo (Figura 5b), Novotny E., Glaser B., Teixeira W., Petter, F. e Madari B.E. destacaram-se como os primeiros autores em termos de publicações, enquanto Santos J., Pellegrini-Cerri C., De Figueiredo C., Lustosa J. e Dias Y. apresentam uma média de publicação mais recente.

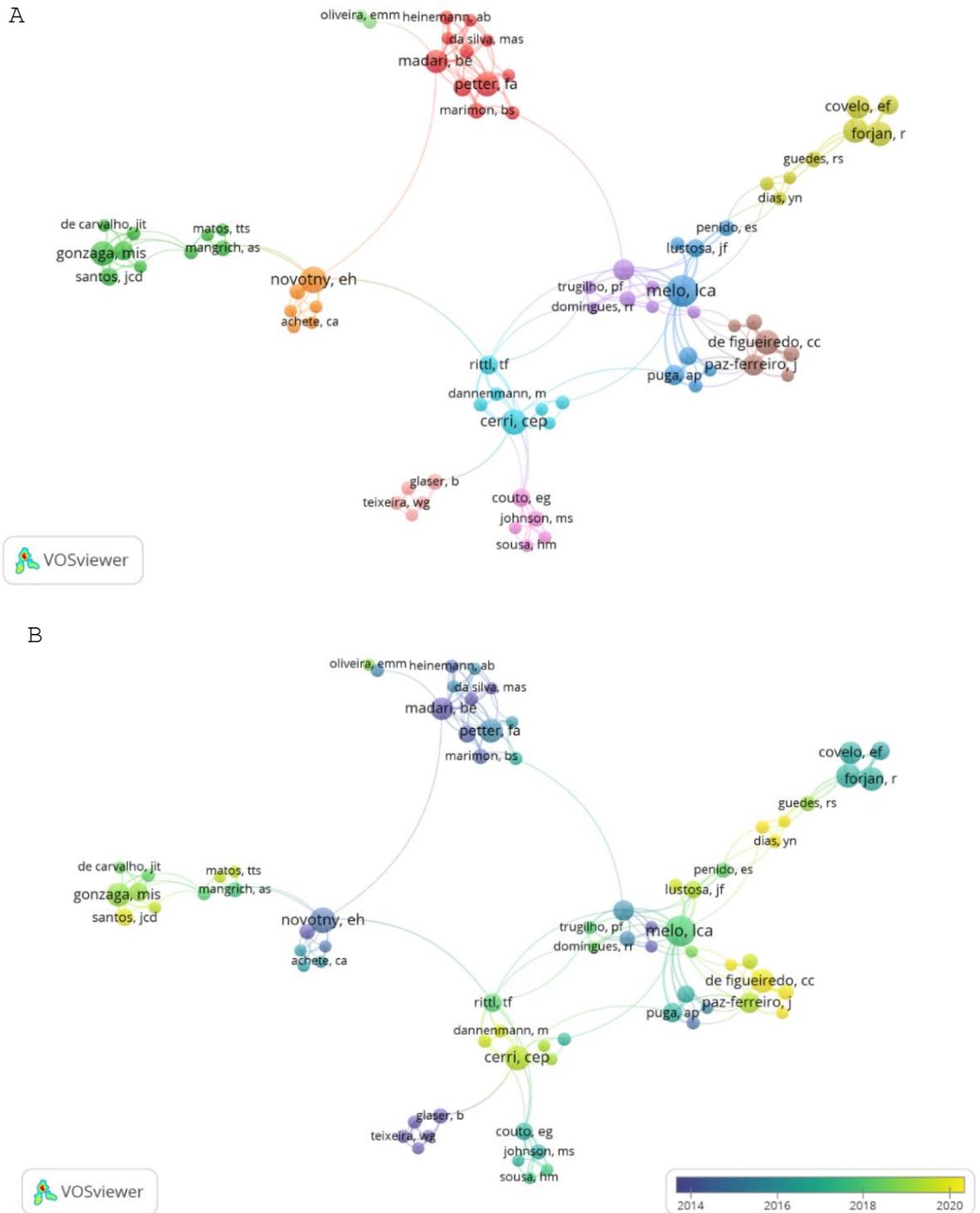


Figura 6. Mapa de coautoria e as relações entre os grupos de autores (a) e coautoria no tempo (b) em artigos científicos sobre biochar publicados no Brasil, entre os anos de 2003 e 2021, indexados no Web of Science.

3.4.1.5.2 Análise bibliométrica das palavras-chaves (*co-words*)

Analisar palavras-chave torna possível refletir tópicos de pesquisa e tendências de abordagem em um determinado campo (ABDELJAOUED et al., 2020). O mapa feito para os artigos selecionados mostra cada grupo com suas respectivas palavras-chave e também permite observar a relação entre elas (Figura 7a). A análise de agrupamento de palavras-chave indicou um total de 47 palavras-chave distribuídas em quatro agrupamentos: (1) biochar, (2) black carbon, (3) pyrolysis e (4) charcoal.

A Figura 7b indica agrupamentos de palavras de acordo com o período de sua aparição. Esta aplicação é capaz de revelar as características e tendências de desenvolvimento de um determinado campo de pesquisa (Zhi e Ji, 2012). Os primeiros artigos correspondiam a palavras relacionadas ao uso do carbono negro para modificar propriedades de nutrientes do solo em um contexto agrícola (dynamics, immobilization and remediation). Com o tempo, os artigos publicados passaram a ser associados a termos como biochar (ao invés de charcoal or black carbon), termos relacionados às propriedades intrínsecas do biochar (pyrolysis, biomass, feedstock) e à qualidade do solo (soil fertility, phosphorus, nitrogen, availability, adsorption and sorption). Feedstock, waste removal e growth são as palavras mais recentes associadas aos artigos com biochar.

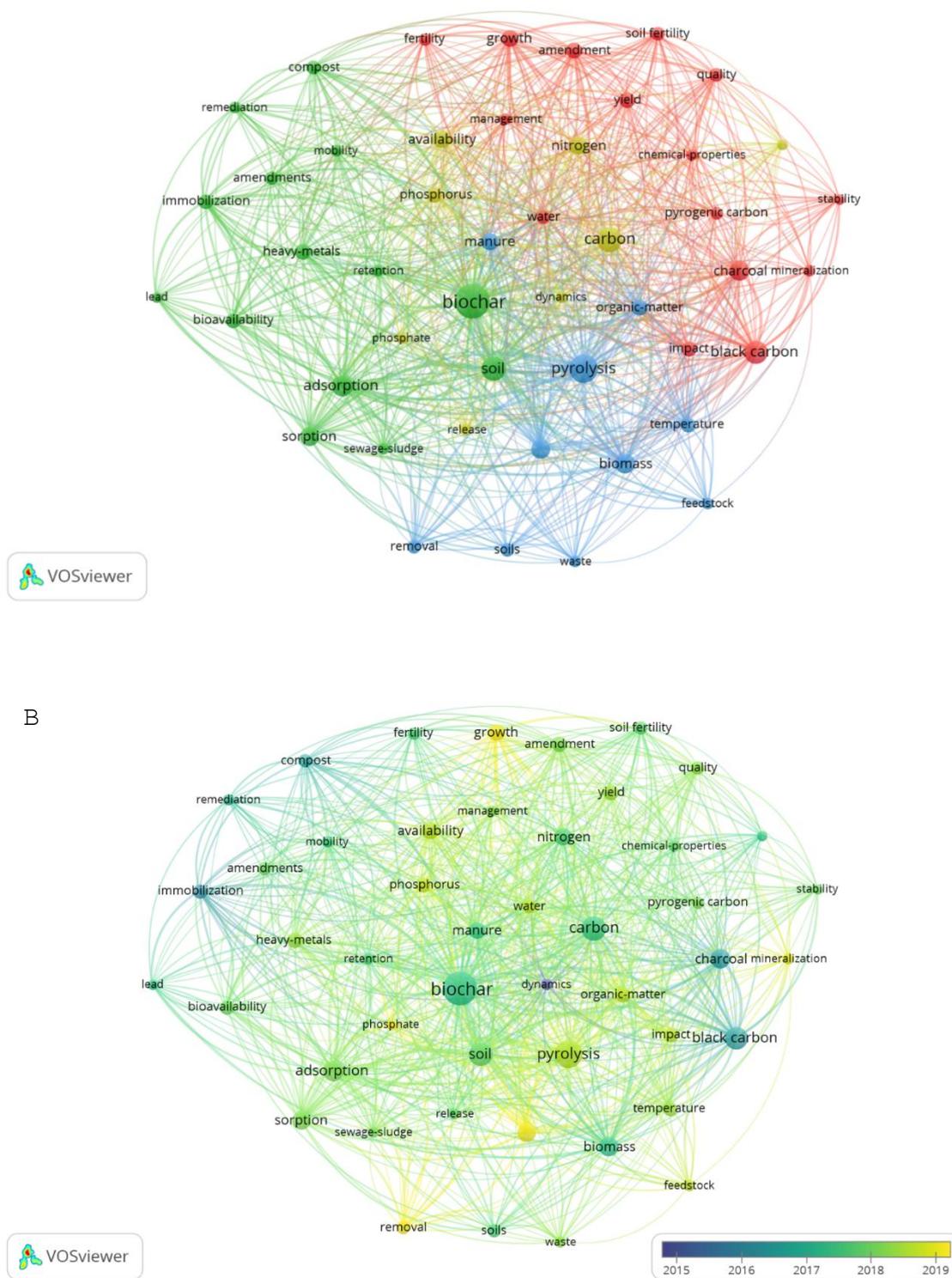


Figura 7. Mapa de palavras-chave e as relações entre elas (a) e palavras-chave ao longo do tempo (b) em artigos publicados sobre biochar no Brasil, entre os anos de 2003 e 2021, indexados no Web of Science.

3.4.2 Análise das principais matérias-primas para produção de biochar

Após classificação das matérias-primas, verificou-se que a maior proporção de biochars estudados correspondeu aos de origem vegetal (76%) (Figura 8). Os biochars de origem animal corresponderam a 9%, os de resíduos de biossólidos a 7% dos materiais analisados e 5% dos materiais analisados correspondem a uma mistura de diferentes origens. Além disso, 3% dos biochars apresentados nos artigos não especificaram sua origem.

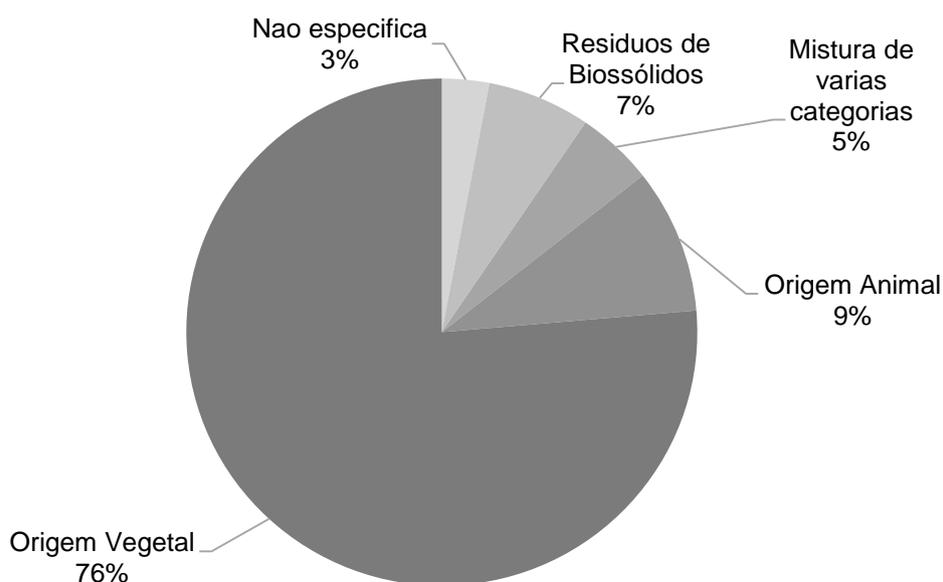


Figura 8. Classificação das matérias-primas utilizadas em pesquisa sobre biochar no Brasil em artigos indexados no Web of Science entre os anos de 2003 a 2021.

Em relação aos biocarvões de origem vegetal, a maioria dos artigos utilizou madeira (50%), proveniente de madeira *in natura* ou de resíduos obtidos da indústria madeireira (Figura 8a). A categoria de biochar de origem não

madeira, que não se refere a subprodutos da indústria sucroenergética, inclui resíduos vegetais como bagaços, borras, cascas, cachos, fibras, farinhas, nozes, folhas, resíduos de podas, sementes, serragens e silagens, e representaram 32% de todos os biochars à base de plantas. A palha e o bagaço de cana-de-açúcar e a torta de filtro foram agrupados em uma categoria específica (resíduos da indústria sucroenergética), representando 14% dos materiais analisados.

Em relação ao biochar produzido a partir de resíduos de produção animal (Figura 8b), a cama de frango correspondeu a 71% do total de biochar analisado. O esterco animal, incluindo esterco bovino e suíno, representou 26%, enquanto 4% das matérias-primas estudadas corresponderam ao biochar da farinha de ossos de suínos.

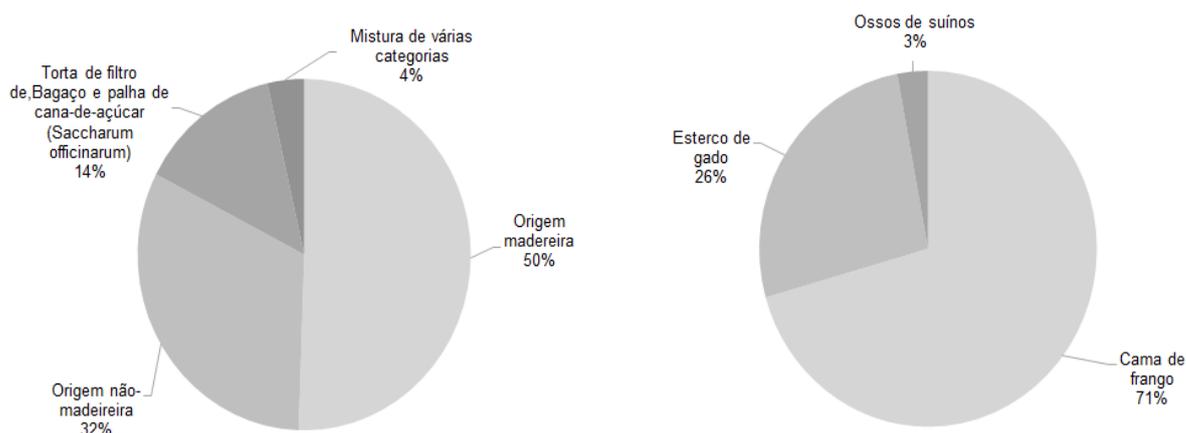


Figura 9. Classificação das matérias-primas de origem vegetal (A) e origem animal (B) utilizadas em pesquisa sobre Biochar no Brasil em artigos indexados no *Web of Science* entre os anos de 2003 a 2021.

3.5 DISCUSSÃO

As publicações sobre o biochar no Brasil começaram a aumentar à partir de 2010, o que está de acordo com a tendência da pesquisa mundial. Em todo o mundo, o número de publicações sobre biochar aumentou em diversos campos de estudo, especialmente após 2008 (Ahmed et al., 2018), depois que o termo biochar foi unificado na 1ª Conferência Internacional de Biochar em 2007 (Yan

et al., 2020). Devido ao fato de o consenso científico sobre o termo biochar ter sido alcançado em 2008, é possível que existam artigos com termos equivalentes publicados anteriormente, mas que não foram nomeados como biochar ou biocarvão e, portanto, não foram considerados neste estudo.

A descoberta de solos férteis antropogênicos, principalmente as TPIs, impulsionou o aumento do volume de pesquisas científicas brasileiras para a conversão de resíduos orgânicos em biochar, uma vez que os altos teores de matéria orgânica do solo ($>150 \text{ g kg}^{-1}$), a maior disponibilidade de nutrientes e a alta capacidade de troca de cátions (CTC) das TPIs foram atribuídos aos teores de carbono preto (black carbon), 70 vezes maiores do que o dos solos inférteis adjacentes (Ferralsols, Acrisols, Lixisols e Arenosols) (Grossman et al., 2010; Glaser and Birk, 2012).

Em relação às instituições brasileiras mais relevantes para a pesquisa de biochar, a EMBRAPA se destaca como uma das primeiras instituições a realizar pesquisas sobre o tema no país e como a primeira em número de artigos publicados. Esse resultado é explicado, por um lado, pelo fato de a EMBRAPA ser uma instituição que possui unidades de pesquisa em várias regiões do país, o que justifica sua posição entre as primeiras em número de artigos publicados sobre questões agrícolas. Mas, além disso, a instituição tem demonstrado particular interesse em estudos sobre biochar, tendo organizado a III Conferência Internacional sobre Biochar em 2010.

As instituições que se destacam depois da EMBRAPA, no que diz respeito ao número de artigos publicados, encontram-se nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do país. Nessas regiões, principalmente no Sudeste, há altas densidades demográficas (IBGE, 2021) e, conseqüentemente, uma grande produção de resíduos com potencial para serem aproveitados para a produção de biochar. No Estado de São Paulo, encontra-se a Universidade de São Paulo (USP), que foi apontada por este artigo como a segunda maior produtora de artigos sobre biochar no país.

Verifica-se que os autores com maior número de artigos publicados pertenceram, em geral, às instituições que publicaram o maior número de artigos. As colaborações internacionais foram realizadas com países que estão

entre os primeiros colocados em termos de publicações, quando são utilizadas as mesmas palavras que foram utilizadas para a busca dos dados desta revisão, como no caso da China, que está em primeiro lugar, com participação em 4.849 publicações, Estados Unidos com 3.329 participações, Alemanha com 1.085 participações, Austrália com participação em 829 publicações e Espanha com participação em 629 publicações em nível mundial (WoS, 2021). A importância deste dado reside no fato de indicar o Brasil como tendo o apoio dos principais países que pesquisam biochar para o contexto agrícola, o que determina que as novidades e vanguardas de aplicação em torno do biochar também sejam investigadas pelo Brasil, apesar de não despontar como o líder mundial em número de publicações.

Os primeiros artigos corresponderam a palavras relacionadas ao uso de biochar para fins de aumento dos teores de nutrientes no solo, no contexto agrícola, tais como dinâmica, imobilização e remediação. Ao longo do tempo, os artigos publicados começaram a ser associados a termos como biochar (ao invés de carvão ou black carbon), termos relacionados às propriedades intrínsecas do biochar (pirólise, biomassa, matéria-prima) e à qualidade do solo (fertilidade do solo, fósforo, nitrogênio, disponibilidade, adsorção e sorção). Matéria-prima, resíduos, remoção e crescimento são as palavras mais recentes associadas aos artigos de biochar indicando a expansão de possíveis campos de estudo sobre aplicações deste material.

Em relação às matérias-primas utilizadas nas investigações analisadas, observou-se uma preferência pelo uso de resíduos vegetais para a produção de biochar no contexto agrícola. Isso pode estar relacionado à facilidade de acesso a essas matérias-primas. O Brasil é um dos principais produtores agrícolas do mundo (MAPA, 2014), com uma produção agrícola estimada em 242,1 milhões de toneladas na safra 2018/19 (MAPA, 2019). Conseqüentemente, essa atividade gera quantidades significativas de resíduos com potencial para a produção de biochar.

A preferência por matéria-prima de origem vegetal também pode ser justificada pelas propriedades diferenciadas para condicionamento dos solos por biochars produzidos a partir de resíduos vegetais em relação aos de animais.

Por exemplo, quanto à possibilidade de modificação da densidade aparente do solo, Randolph et al. (2017) identificaram que quanto maior a quantidade inicial de lignina da matéria-prima utilizada, maior a densidade aparente do biochar produzido. Por outro lado, em termos de geração de cinzas, a produção de biochar a partir de materiais vegetais gerará menos cinzas em comparação com biochar de biossólidos e resíduos animais (Li et al., 2019). Nesse sentido, Rimena et al. (2020) avaliaram diferentes matérias-primas e observaram que os teores de cinzas variaram entre 0,7% e 56%, de acordo com a seguinte ordem: cama de frango > casca de café > bagaço de cana-de-açúcar > *Eucalyptus* sp. Os autores afirmaram que matérias-primas com alto teor de cinzas são fontes potenciais para produzir biochar com maior capacidade de troca de cátions (CTC), o que contribui para o aumento da fertilidade dos solos. Entretanto, um biochar com elevado teor de cinzas pode gerar grande quantidade de material que bloqueia os poros internos do biochar, limitando assim a acessibilidade a esses locais de sorção (Enders et al., 2012).

Um atributo fundamental para conhecer a saúde dos solos é a quantidade de carbono total. Alguns autores têm demonstrado que biochars produzidos a partir de resíduos vegetais possuem maior quantidade de carbono total quando comparados aos provenientes de resíduos de origem animal (Jindo et al., 2014; Sarfaraz et al., 2020). Isso se deve à presença de compostos orgânicos lábeis no resíduo animal, que muitas vezes se perdem em altas temperaturas (Domingues et al., 2017). Portanto, essa característica também reforça a preferência dos pesquisadores quanto à escolha dessa matéria-prima para a produção de biochar.

No contexto global, atenção tem sido dada ao uso de biomassa lignocelulósica, devido às suas propriedades renováveis, disponibilidade e custo (Yaashikaa et al., 2019). Observou-se que os resíduos de origem madeireira foram preferidos nos trabalhos consultados. Os resíduos de madeira apresentam maior teor de lignina (entre 25 e 33%) dependendo do tipo de madeira e, conseqüentemente, maior relação entre a quantidade de matéria-prima utilizada e o biochar obtido (Lee et al., 2014). A pirólise da celulose e da hemicelulose produz compostos que são mais voláteis, enquanto a pirólise da lignina produz

biochar mais sólido (Wang et al., 2017). Por esse motivo, em geral, a biomassa que contém mais compostos voláteis é preferida para a produção de bioóleos, enquanto a biomassa com maior teor de carbono é usada para produzir biochar (Yaashikaa et al., 2019).

Os subprodutos da indústria sucroenergética também desempenham um papel importante na pesquisa do biochar no Brasil. Essa é uma matéria-prima de alto potencial para o Brasil, visto que o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com grande importância para o agronegócio brasileiro e com safra de 2019/2020 estimada em 630.710,9 mil toneladas (CONAB, 2020). O Sudeste é a principal região produtora do país, coincidindo com uma das regiões que mais apresentou pesquisas sobre o biochar para os artigos consultados.

Os subprodutos gerados por essa indústria têm potencial considerável para a produção de biochar em larga escala no país, com benefícios derivados de sua produção, como a alta relação entre a matéria-prima utilizada e o biochar produzido (Lee et al., 2014), ou a maior quantidade de carbono, quando comparado aos biochars produzidos a partir de dejetos animais (Sarfaraz et al., 2020). Apesar da existência de material disponível, existem algumas limitações quanto ao seu uso, visto que estes subprodutos são amplamente utilizados em outros processos agrícolas envolvidos na cadeia da cana-de-açúcar, para fins de adubação e de geração de energia (Bhat et al., 2016; Purnomo et al., 2018).

Considerando os resíduos de origem animal, a cama de frango foi o mais utilizado nas pesquisas consultadas. Nos últimos 40 anos, no Brasil, a produção de carne de aves aumentou 22 vezes, atingindo aproximadamente 4 bilhões de aves por ano, e tornando o Brasil o segundo maior produtor mundial desse tipo de proteína animal (Santos Dalólio et al., 2017; IBGE, 2021; EMBRAPA, 2021). Isso fez com que a alta geração de resíduos dessa produção, em torno de 8 a 10 milhões de t ano⁻¹ (Santos Dalólio et al., 2017), se tornasse uma preocupação do setor agrícola, que busca cada vez mais por alternativas sustentáveis.

A produção de biochar a partir de cama de frango, além de reduzir o volume de resíduos, também reduz ou elimina os danos derivados do seu manejo incorreto, tais como a contaminação de solos (Leinonen et al., 2012; Gupta et al., 2021) e dos cursos d'água. Conseqüentemente, é necessário

aumentar as pesquisas a respeito desse material, a fim de promover a destinação adequada dos resíduos e reduzir os danos decorrentes do manejo incorreto de camas de frango. Ressalta-se que, apesar de serem menos eficientes na sua produção, em geral os biochars produzidos a partir de dejetos animais apresentam maiores proporções de nitrogênio quando comparados aos biochars de resíduos vegetais (Tag et al., 2016).

Foi possível identificar o caráter promissor do biochar para a destinação de biossólidos provenientes de estações de tratamento de esgoto. Num contexto em que a quantidade de biossólidos municipais produzidos anualmente, no mundo, tem aumentado drasticamente ao longo das décadas (Arulrajah et al., 2011), é fundamental investigar opções para o destinação desses resíduos.

Nesse sentido, as pesquisas sobre biochar utilizando biossólidos vêm crescendo ao longo do tempo (Fonts et al., 2012). No entanto, as características físico-químicas dos biossólidos diferem significativamente de acordo com as fontes e com os processos de tratamento de águas residuais, assim como com os métodos de tratamento de lodo de esgoto (Metcalf and Eddy, 2003). Essas variações criam dificuldades para estabelecer generalizações sobre as propriedades e potencialidades da aplicação no solo dos biochars produzidos a partir destes biossólidos.

Vale destacar que, além de melhorar os solos, o uso das diferentes matérias-primas gera também diversos benefícios e oportunidades para a gestão ambiental, por permitir a redução no volume de resíduos orgânicos gerados no Brasil, inclusive em relação a destinação de biossólidos provenientes de estações de tratamento de esgoto e de subprodutos gerados pela indústria sucroenergética brasileira.

3.5 CONCLUSÕES

Foi possível observar que as publicações sobre o biochar no contexto agrícola brasileiro tiveram início em 2003, com tendência de ascensão à partir de 2015 e pico no ano de 2021. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) foi a instituição com maior contribuição de publicações científicas, tendo Novotny E. e Madari B. como autores mais proeminentes. Em seguida, as

maiores contribuições foram da Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Federal de Lavras (UFLA), com destaque para os pesquisadores Cerri C. e Melo L., respectivamente. Foram identificadas importantes colaborações em pesquisas sobre biochar no Brasil com pesquisadores de países com destacado esforço para a evolução do conhecimento sobre biochar, principalmente Espanha, Estados Unidos, Austrália, Alemanha e Holanda.

Os materiais de origem vegetal são os mais utilizados para a produção de biochar no Brasil, principalmente os de origem madeireira. Foi notada uma evidente e promissora tendência de uso de resíduos vegetais da indústria sucroenergética, sobretudo palha, bagaço e torta de filtro de cana-de-açúcar, e de materiais de origem animal, com destaque para a cama de frango, como opções abundantes de matéria-prima originadas de importantes cadeias agropecuárias do Brasil para a produção de biochar. Em menor proporção, foi identificado o interesse pelo uso de biossólidos para a produção de biochar. A predisposição brasileira para aproveitamento deste tipo de resíduo representa uma importante direção da contribuição da tecnologia do biochar, que supera o uso restrito para fins agrícolas e oferece soluções para sérios problemas de gerenciamento sanitário de resíduos urbanos.

Por fim, existem lacunas na literatura em relação aos estudos de matérias-primas de origem orgânica, que ainda precisam ser melhor estudados, ressaltando a potencialidade que o biochar pode ter para solucionar problemas relacionados ao gerenciamento de resíduos urbanos ou ao reaproveitamento de resíduos de origem animal.

3.6 REFERÊNCIAS

- ABDELJAOUED, E.; BRULÉ, M.; TAYIBI, S.; MANOLAKOS, D.; OUKARROUM, A.; MONLAU, F.; BARAKAT, A. **Bibliometric analysis of the evolution of biochar research trends and scientific production.** [s.l.] : Springer Berlin Heidelberg, 2020. v. 22
- ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, [s. l.], v. 202–203, p. 183–191,

2013.

ALMEIDA PRADO, F.; ATHAYDE, S.; MOSSA, J.; BOHLMAN, S.; LEITE, F.; OLIVER-SMITH, A. How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 53, p. 1132–1136, 2016.

ALTIERI, M. A. Agroecology: principles and strategies for designing sustainable farming systems. [s. l.], n. 1, p. 1–5, 2004.

ALTIERI, M. A. Agroecología : principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. [s. l.], n. June, 2015.

ARIZPE, N.; GIAMPIETRO, M.; RAMOS-MARTIN, J. Critical Reviews in Plant Sciences Food Security and Fossil Energy Dependence : An International Comparison of the Use of Fossil Energy in Agriculture (1991-2003) Food Security and Fossil Energy Dependence : An Agriculture (1991-2003). [s. l.], n. February 2015, p. 37–41, 2003.

ASAI, H.; SAMSON, B. K.; STEPHAN, H. M.; SONGYIKHANGSUTHOR, K.; HOMMA, K.; KIYONO, Y.; INOUE, Y.; SHIRAIWA, T.; HORIE, T. Field Crops Research Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1 . Soil physical properties , leaf SPAD and grain yield. [s. l.], v. 111, p. 81–84, 2009.

ASTIER, M.; ARGUETA, J. Q.; OROZCO-RAMÍREZ, Q.; V. GONZALES, M.; MORALES, J.; GERRITSEN, P. R. W.; ESCALONA, M. A.; ROSADO-BARRERA, J.; CASTREJÓN, F.; MORALES, H.; SOTO, L.; MARIACA, R.; FERGUSON, B.; ROSSET, P.; RAMIREZ, H.; JARQUÍN, R.; GARCÍA-MOYA, F.; AMBROSION, M.; GONZALEZ-ESQUIVEL, C. Back to the roots : understanding current agroecological movement , science , and practice in Mexico. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 41, n. 3–4, p. 329–348, 2017.

ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A

review. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 337, n. 1, p. 1–18, 2010.

BANDARA, N. J. G. J.; HETTIARATCHI, J. P. A. Environmental impacts with waste disposal practices in a suburban municipality in Sri Lanka. **International Journal of Environment and Waste Management**, [s. l.], v. 6, n. 1–2, p. 107–116, 2010.

BEZERRA, J.; TURNHOUT, E.; VASQUEZ, I. M.; RITTL, T. F.; ARTS, B.; KUYPER, T. W. The promises of the Amazonian soil: shifts in discourses of Terra Preta and biochar. **Journal of Environmental Policy and Planning**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 623–635, 2019.

BIS, Z.; KOBYŁECKI, R.; ŚCISŁOWSKA, M.; ZARZYCKI, R. Biochar – Potential tool to combat climate change and drought. **Ecohydrology and Hydrobiology**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 441–453, 2018.

BLANCO-CANQUI, H. Biochar and Soil Physical Properties. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 81, n. 4, p. 687–711, 2017.

BLESH, J.; WOLF, S. A. Transitions to agroecological farming systems in the Mississippi River Basin: toward an integrated socioecological analysis. **Agriculture and Human Values**, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 621–635, 2014.

BORGES DE SOUZA, C.; CAUME, D. J.; BRASIL, M. S. CRÉDITO RURAL E AGRICULTURA FAMILIAR NO BRASIL. In: 2008, **Anais...** [s.l: s.n.]

BREWER, C. E.; SCHMIDT-ROHR, K.; SATRIO, J. A.; BROWN, R. C. Characterization of Biochar from Fast Pyrolysis and Gasification Systems. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 386–396, 2009.

BROCKHOFF, S. R.; CHRISTIANS, N. E.; KILLORN, R. J.; HORTON, R.; DAVIS, D. D. Physical and Mineral-Nutrition Properties of Sand-Based Turfgrass Root Zones Amended with Biochar. [s. l.], p. 1627–1631, 2010.

BRUUN, E. W.; AMBUS, P.; EGSGAARD, H.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 46, p. 73–79, 2012.

BUDAI, A.; ZIMMERMAN, A. R.; COWIE, A. L.; WEBBER, J. B. W.; SINGH, B. P.; GLASER, B.; MASIELLO, C. A.; ANDERSSON, D.; SHIELDS, F.; LEHMANN, J.; CAMPS ARBESTAIN, M.; WILLIAMS, M.; SOHI, S.; JOSEPH, S. Biochar Carbon Stability Test Method : An assessment of methods to determine biochar carbon stability. **International Biochar Initiative**, [s. l.], p. 1–10, 2013.

CARNEIRO, J. S. D. S.; LUSTOSA FILHO, J. F.; NARDIS, B. O.; RIBEIRO-SOARES, J.; ZINN, Y. L.; MELO, L. C. A. Carbon Stability of Engineered Biochar-Based Phosphate Fertilizers. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, [s. l.], v. 6, n. 11, p. 14203–14212, 2018.

CHAN, K. Y.; OATES, A.; SWAN, A. D.; HAYES, R. C.; DEAR, B. S.; PEOPLES, M. B. Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 89, n. 1, p. 13–21, 2006.

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

CLARE, A.; BARNES, A.; MCDONAGH, J.; SHACKLEY, S. From rhetoric to reality: Farmer perspectives on the economic potential of biochar in China. **International Journal of Agricultural Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 440–458, 2014.

CLARE, A.; SHACKLEY, S.; JOSEPH, S.; HAMMOND, J.; PAN, G.; BLOOM, A. Competing uses for China's straw: The economic and carbon abatement potential of biochar. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 1272–1282, 2015.

COOMES, O. T.; MILTNER, B. C. Indigenous Charcoal and Biochar Production: Potential for Soil Improvement under Shifting Cultivation Systems. **Land Degradation and Development**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 811–821, 2017.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. de M.; SANTOS, G. de A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 85–93, 2009.

CURAQUEO, G.; MEIER, S.; KHAN, N.; CEA, M.; NAVIA, R. Use of biochar on two volcanic soils: Effects on soil properties and barley yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 911–924, 2014.

DE GISI, S.; PETTA, L.; WENDLAND, C. History and technology of Terra Preta sanitation. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 1328–1345, 2014.

DEFRIES, R.; ROSENZWEIG, C. Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 107, n. 46, p. 19627–19632, 2010.

DEVEREUX, R. C.; STURROCK, C. J.; MOONEY, S. J. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. **Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, [s. l.], v. 103, n. 1, p. 13–18, 2012.

DING, Y.; LIU, Y.; LIU, S.; LI, Z.; TAN, X.; HUANG, X.; ZENG, G.; ZHOU, L.; ZHENG, B. Biochar to improve soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 36, n. 2, 2016.

DONTHU, N.; KUMAR, S.; MUKHERJEE, D.; PANDEY, N.; LIM, W. M. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, [s. l.], v. 133, n. March, p. 285–296, 2021.

DURENKAMP, M.; LUO, Y.; BROOKES, P. C. Impact of black carbon addition to soil on the determination of soil microbial biomass by fumigation extraction. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 42, n. 11, p. 2026–2029, 2010.

EL-NAGGAR, A.; LEE, S. S.; RINKLEBE, J.; FAROOQ, M.; SONG, H.; SARMAH, A. K.; ZIMMERMAN, A. R.; AHMAD, M.; SHAHEEN, S. M.; OK, Y. S. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. **Geoderma**, [s. l.], v. 337, n. May 2018, p. 536–554, 2019.

ERNESTO MÉNDEZ, V.; BACON, C. M.; COHEN, R. Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 3–18, 2013.

FACTURA, H.; BETTENDORF, T.; BUZIE, C.; PIEPLOW, H.; RECKIN, J.; OTTERPOHL, R. Terra Preta sanitation: Re-discovered from an ancient Amazonian civilisation - Integrating sanitation, bio-waste management and agriculture. **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 61, n. 10, p. 2673–2679, 2010.

FAO. Los 10 Elementos de la agroecología, guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles. **L**, [s. l.], p. 12, 2018.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; CONNELL, C. O.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRO, J.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated planet. [s. l.], 2011.

FOWLES, M. Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], v. 31, n. 6, p. 426–432, 2007.

FRANCIS, C. A.; JORDAN, N.; PORTER, P.; BRELAND, T. A.; LIEBLEIN, G.; SALOMONSSON, L.; SRISKANDARAJAH, N.; WIEDENHOEFT, M.; DEHAAN, R.; BRADEN, I.; LANGER, V. Innovative education in agroecology: Experiential learning for a sustainable agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**, [s. l.], v. 30, n. 1–2, p. 226–237, 2011.

FURTADO, G. F.; CHAVES, L. H. G. Growth Rates and Sunflower Production in Function of Fertilization with Biochar and NPK. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 260, 2018.

FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Circular Economy Synergistic Opportunities of Decentralized Thermochemical Systems for Bioenergy and Biochar Production Fueled with Agro-industrial Wastes with Environmental Sustainability and Social Acceptance : a Review. [s. l.], 2018.

GALINDO-SEGURA, L. A.; PÉREZ VÁZQUEZ, A.; LANDEROS SÁNCHEZ, CESÁREO GÓMEZ-MERINO, F. C. Bibliometric analysis of scientific research on biochar Galindo-Segura,. **Journal of Fruit Science**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 723–733, 2020.

GAO, S.; HOFFMAN-KRULL, K.; DELUCA, T. H. Soil biochemical properties and crop productivity following application of locally produced biochar at organic farms on Waldron Island, WA. **Biogeochemistry**, [s. l.], v. 136, n. 1, p. 31–46, 2017.

GARCIA-POLO, J.; FALKOWSKI, T. B.; MOKASHI, S. A.; LAW, E. P.; FIX, A. J.; DIEMONT, S. A. W. Restoring ecosystems and eating them too: guidance from agroecology for sustainability. **Restoration Ecology**, [s. l.], p. 1–7, 2021.

GAUNT, J. L.; LEHMANN, J. **Abstracts of the International Agrichar Initiative 2007 Conference, Terrigal, Australia, 2007**. [s.l: s.n.].

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 143, p. 757–768, 2017.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: A model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s. l.], v. 362, n. 1478, p. 187–196, 2007.

GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de índio). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, [s. l.], v. 82, p. 39–51, 2012.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, [s. l.], v. 88, n. 1, p. 37–41, 2001.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. [s. l.], p. 219–230, 2002.

GOMIERO, T. Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 1–41, 2016.

GURWICK, N. P.; MOORE, L. A.; KELLY, C.; ELIAS, P. A Systematic Review

of Biochar Research, with a Focus on Its Stability in situ and Its Promise as a Climate Mitigation Strategy. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 8, n. 9, 2013.

IBRAHIM, H. M.; AL-WABEL, M. I.; USMAN, A. R. A.; AL-OMRAN, A. Effect of conocarpus biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. **Soil Science**, [s. l.], v. 178, n. 4, p. 165–173, 2013.

IPCC. **Mitigation of Climate Change**The Daunting Climate Change. [s.l: s.n.].

IPPOLITO, J. A.; LAIRD, D. A.; BUSSCHER, W. J. Environmental Benefits of Biochar. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 41, n. 4, p. 967–972, 2012.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources 2014 (update 2015). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.** [s.l: s.n.].

JATAV, H. S.; JAYANT, H.; KUMAR, S.; KUMAR, V.; CHATTOPADHYA, A.; DHAWAL, S.; SINGH, Y. Role of Biochar: In agriculture sector its implication and perspective. ~ **14 ~ International Journal of Chemical Studies**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 14–18, 2017.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 144, n. 1, p. 175–187, 2011.

JOSEPH, S. D.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; LIN, Y.; MUNROE, P.; CHIA, C. H.; HOOK, J.; VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; COWIE, A.; SINGH, B. P.; LEHMANN, J.; FOIDL, N.; SMERNIK, R. J.; AMONETTE, J. E. An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal of Soil Research**, [s. l.], v. 48, n. 6–7, p. 501–515, 2010.

KALUS, K.; KOZIEL, J. A.; OPALIŃSKI, S. A review of biochar properties and their utilization in crop agriculture and livestock production. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 17, 2019.

KAMALI, M.; JAHANINAFARD, D.; MOSTAFAIE, A.; DAVARAZAR, M.; GOMES, A. P. D.; TARELHO, L. A. C.; DEWIL, R.; AMINABHAVI, T. M. Scientometric analysis and scientific trends on biochar application as soil amendment. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 395, n. April, p. 125128, 2020.

KAMARA, A.; SORIE KAMARA, H.; SAIMAH KAMARA, M. Effect of Rice Straw Biochar on Soil Quality and the Early Growth and Biomass Yield of Two Rice Varieties. **Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 06, n. 08, p. 798–806, 2015.

KÄMPF, N.; KERN, D. . O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. **Tópico em Ciência do Solo**, [s. l.], n. 2, p. 277–320, 2005.

KING, M. F.; GUTBERLET, J. Contribution of cooperative sector recycling to greenhouse gas emissions reduction: A case study of Ribeirão Pires, Brazil. **Waste Management**, [s. l.], v. 33, n. 12, p. 2771–2780, 2013.

KLOSS, S.; ZEHETNER, F.; WIMMER, B.; BUECKER, J.; REMPT, F.; SOJA, G. Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [s. l.], v. 177, n. 1, p. 3–15, 2014.

KOIDE, R. T.; NGUYEN, B. T.; SKINNER, R. H.; DELL, C. J.; PEOPLES, M. S.; ADLER, P. R.; DROHAN, P. J. Biochar amendment of soil improves resilience to climate change. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 7, n. 5, p. 1084–1091, 2015.

LAGHARI, M.; NAIDU, R.; XIAO, B.; HU, Z.; MIRJAT, M. S.; HU, M.; KANDHRO, M. N.; CHEN, Z.; GUO, D.; JOGI, Q.; ABUDI, Z. N.; FAZAL, S. Recent developments in biochar as an effective tool for agricultural soil management: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 96, n. 15, p. 4840–4849, 2016.

LAIRD, D. A. The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. [s. l.], 2008.

LAUREANO, P. Ancient water catchment techniques for proper management of Mediterranean ecosystems. **Water Science and Technology: Water Supply**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 237–244, 2007.

LEACH, M.; FAIRHEAD, J.; FRASER, J. Green grabs and biochar: Revaluing African soils and farming in the new carbon economy. **Journal of Peasant Studies**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 285–307, 2012.

LEHMAN, R. M.; ACOSTA-MARTINEZ, V.; BUYER, J. S.; CAMBARDELLA, C. A.; COLLINS, H. P.; DUCEY, T. F.; HALVORSON, J. J.; JIN, V. L.; JOHNSON, J. M. F.; KREMER, R. J.; LUNDGREN, J. G.; MANTER, D. K.; MAUL, J. E.; SMITH, J. L.; STOTT, D. E. Soil biology for resilient, healthy soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, [s. l.], v. 70, n. 1, p. 12A-18A, 2015.

LEHMANN, J. Terra preta nova - Where to from here? **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision**, [s. l.], p. 473–486, 2009.

LEHMANN, J.; DA SILVA, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **PLANT AND SOIL**, VAN GODEWIJCKSTRAAT 30, 3311 GZ DORDRECHT, NETHERLANDS, v. 249, n. 2, p. 343–357, 2003.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 403–427, 2006.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZÃO, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 70, n. 5, p. 1719–1730, 2006.

LIANG, C.; ZHU, X.; FU, S.; MÉNDEZ, A.; GASCÓ, G.; PAZ-FERREIRO, J. Biochar alters the resistance and resilience to drought in a tropical soil. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2014.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R. J.; KER, J. C.

Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, [s. l.], v. 110, n. 1–2, p. 1–17, 2002.

LÓPEZ SÁNCHEZ, R.; PIÑANGO CRESPO, K.; SUAREZ PIÑA, R. LAS SELVAS ANTROPOGÉNICAS DE LOS INDÍGENAS AMAZONICOS The anthropogenic jungle of the amazon indigenous. **Revista de Ciencias Humanas y Sociales**, [s. l.], v. 93, p. 271–286, 2020.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 333, n. 1, p. 117–128, 2010.

MANGRICH, A. S.; CARDOSO, E. M. C.; DOUMER, M. E.; ROMÃO, L. P. C.; VIDAL, M.; RIGOL, A.; NOVOTNY, E. H. Improving the Water Holding Capacity of Soils of Northeast Brazil by Biochar Augmentation. **ACS Symposium Series**, [s. l.], v. 1206, p. 339–354, 2015.

MARTIN, J. F.; ROY, E. D.; DIEMONT, S. A. W.; FERGUSON, B. G. Traditional Ecological Knowledge (TEK): Ideas, inspiration, and designs for ecological engineering. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 36, n. 7, p. 839–849, 2010.

MEKURIA, W.; NOBLE, A. The Role of Biochar in Ameliorating Disturbed Soils and Sequestering Soil Carbon in Tropical Agricultural Production Systems International Water Management Institute (IWMI), 127 Sunil Mawatha , Pelawatte ., **Applied and Environmental Soil Science**, [s. l.], v. 2013, 2013.

MIA, S.; UDDIN, N.; AL MAMUN HOSSAIN, S. A.; AMIN, R.; METE, F. Z.; HIEMSTRA, T. Production of Biochar for Soil Application: A Comparative Study of Three Kiln Models. **Pedosphere**, [s. l.], v. 25, n. 5, p. 696–702, 2015.

MORSELETTO, P. Targets for a circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 153, n. October 2019, p. 104553, 2020.

NDAMEU, B. A.; BIOFUELWATCH. **Biochas Fund Trials In Cameroon Hype And Unfulfilled Promises**. [s.l: s.n.].

NOGUERA, D.; LAOSSI, K. R.; LAVELLE, P.; CRUZ DE CARVALHO, M. H.;

ASAKAWA, N.; BOTERO, C.; BAROT, S. C ommunications C ommunications. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 21, n. 7, p. 2349–2356, 2011.

NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; DEAZEVEDO, E. R.; DE SOUZA, A. A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilisation of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 1003–1010, 2009.

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. de F.; CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E. Biochar: Carbono pirogênico para uso agrícola - Uma revisão crítica. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 321–344, 2015.

OBIA, A.; MARTINSEN, V.; CORNELISSEN, G.; BØRRESEN, T.; SMEBYE, A. B.; MUNERA-ECHEVERRI, J. L.; MULDER, J. Biochar Application to Soil for Increased Resilience of Agroecosystems to Climate Change in Eastern and Southern Africa. **Climate Change Management**, [s. l.], p. 129–144, 2019.

OGUNTUNDE, P. G.; ABIODUN, B. J.; AJAYI, A. E.; GIESEN, N. Van De. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. [s. l.], p. 591–596, 2008.

OMONDI, M. O.; XIA, X.; NAHAYO, A.; LIU, X.; KORAI, P. K.; PAN, G. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. **Geoderma**, [s. l.], v. 274, p. 28–34, 2016.

PANWAR, N. L.; PAWAR, A.; SALVI, B. L. Comprehensive review on production and utilization of biochar. **SN Applied Sciences**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 1–19, 2019.

PIMENTEL, D.; WILLIAMSON, S.; ALEXANDER, C. E.; GONZALEZ-PAGAN, O.; KONTAK, C.; MULKEY, S. E. Reducing Energy Inputs in the US Food System. [s. l.], p. 459–471, 2008.

POURHASHEM, G.; HUNG, S. Y.; MEDLOCK, K. B.; MASIELLO, C. A. Policy support for biochar: Review and recommendations. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 364–380, 2019.

POZZA, S. A.; PENTEADO, C. S. G.; CRISCUOLO, V. G. A greenhouse gas inventory in the municipal landfill of the City of Limeira, Brazil. **Chemical Engineering Transactions**, [s. l.], v. 43, n. September, p. 2083–2088, 2015.

RAJKOVICH, S.; ENDERS, A.; HANLEY, K.; HYLAND, C.; ZIMMERMAN, A. R.; LEHMANN, J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, [s. l.], v. 48, n. 3, p. 271–284, 2012.

SALETNIK, B.; ZAGULA, G.; BAJCAR, M.; TARAPATSKYY, M.; BOBULA, G.; PUCHALSKI, C. Biochar as a multifunctional component of the environment-a review. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2019.

SANTANA, G. Terra preta de índio na região amazônica. [s. l.], n. 1, p. 1–8, 2012.

SARANDÓN, S. J.; FLORES, C. C. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. **Agroecología**, [s. l.], v. 4, p. 19–28, 2009.

SCHULZ, H.; DUNST, G.; GLASER, B. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 817–827, 2013.

SCHULZ, H.; GLASER, B. 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**, [s. l.], v. 175, n. 3, p. 410–422, 2012.

SINGH, B. P.; HATTON, B. K.; SINGH, B.; COWIE, A. .; KATHURIA, A. Influence of Biochars on Nitrous Oxide Emission and Nitrogen Leaching from two Contrasting Soils. [s. l.], 2010.

SINGH, B. P.; SAINJU, U. M. **Soil Physical and Morphological Properties and Root Growth**1998.

SINGH, J.; SALARIA, A.; KAUL, A. Impact of soil compaction on soil physical properties and root growth: A review. **International Journal of Food**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 23–32, 2015.

SMITH, P.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTENKO, O.; HOWDEN, S.; MCALLISTER, T. Chapter 8 Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture. **Philos. Trans. R. Soc. B**, [s. l.], v. 363, n. January, 2007. a.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; MARA, F. O.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTENKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. [s. l.], v. 118, p. 6–28, 2007. b.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, [s. l.], v. 105, n. 1, p. 47–82, 2010.

SOMBROEK, W. Amazon Soils. [s. l.], p. 303, Record number 421842, 1965.

SPARREVIK, M.; FIELD, J. L.; MARTINSEN, V.; BREEDVELD, G. D.; CORNELISSEN, G. Life cycle assessment to evaluate the environmental impact of biochar implementation in conservation agriculture in Zambia. **Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 47, n. 3, p. 1206–1215, 2013.

STREUBEL, J. D.; COLLINS, H. P.; GARCIA-PEREZ, M.; TARARA, J.; GRANATSTEIN, D.; KRUGER, C. E. Influence of Contrasting Biochar Types on Five Soils at Increasing Rates of Application. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 75, n. 4, p. 1402–1413, 2011.

TAMMEORG, P.; BASTOS, A. C.; JEFFERY, S.; REES, F.; KERN, J.; GRABER, E. R.; VENTURA, M.; KIBBLEWHITE, M.; AMARO, A.; BUDAI, A.; CORDOVIL, C. M. d. S.; DOMENE, X.; GARDI, C.; GASCÓ, G.; HORÁK, J.; KAMMANN, C.; KONDRLOVA, E.; LAIRD, D.; LOUREIRO, S.; MARTINS, M. A. S.; PANZACCHI, P.; PRASAD, M.; PRODANA, M.; PUGA, A. P.; RUYSSCHAERT, G.; SAS-PASZT, L.; SILVA, F. C.; TEIXEIRA, W. G.; TONON, G.; DELLE VEDOVE, G.; ZAVALLONI, C.; GLASER, B.; VERHEIJEN,

F. G. A. Biochars in soils: towards the required level of scientific understanding. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 192–207, 2017.

TRAZZI, P. A.; HIGA, ANTONIO RIOYEI HIGA DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. BIOCÁRVÃO: REALIDADE E POTENCIAL DE USO NO MEIO FLORESTAL. [s. l.], p. 2018, 2018.

TUBIELLO, F. N.; SALVATORE, M.; GOLEC, R. D. C.; FERRARA, A.; ROSSI, S.; BIANCALANI, R.; FEDERICI, S.; JACOBS, H.; FLAMMINI, A. FAO Statistics Division Working Paper Series Agriculture , Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks 1990-2011 Analysis. [s. l.], n. March, 2014.

VAN DER WERF, G. R.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; OLIVER, J. G. .; KASIBHATLA, P. S.; JACKSON, R. B.; COLLATZ, G. .; RANDERSON, J. T. CO₂ Emissions from forest loss. **Nature Geoscience**, [s. l.], v. 52, n. 4, p. 769–839, 2009.

VELENTURF, A. P. M.; PURNELL, P. Principles for a sustainable circular economy. **Sustainable Production and Consumption**, [s. l.], v. 27, p. 1437–1457, 2021.

WARA, M. Is the global carbon market working? **Nature**, [s. l.], v. 445, n. 7128, p. 595–596, 2007.

WEZEL, A.; BELLON, S.; DORÉ, T.; FRANCIS, C.; VALLOD, D.; DAVID, C. Review article Agroecology as a science , a movement and a practice . A review. [s. l.], v. 29, p. 503–515, 2009.

WILLIS, A. D. Rarefaction, alpha diversity, and statistics. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 10, n. OCT, 2019.

WOOLF, D.; AMONETTE, J. E.; STREET-PERROTT, F. A.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**, [s. l.], v. 1, n. 5, 2010.

WU, H.; LAI, C.; ZENG, G.; LIANG, J.; CHEN, J.; XU, J.; DAI, J.; LI, X.; LIU, J.;

CHEN, M.; LU, L.; HU, L.; WAN, J. The interactions of composting and biochar and their implications for soil amendment and pollution remediation: a review.

Critical Reviews in Biotechnology, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 754–764, 2017.

WU, P.; ATA-UL-KARIM, S. T.; SINGH, B. P.; WANG, H.; WU, T.; LIU, C.; FANG, G.; ZHOU, D.; WANG, Y.; CHEN, W. A scientometric review of biochar research in the past 20 years (1998–2018). **Biochar**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 23–43, 2019.

YAO, Q.; LIU, J.; YU, Z.; LI, Y.; JIN, J.; LIU, X.; WANG, G. Changes of bacterial community compositions after three years of biochar application in a black soil of northeast China. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 113, p. 11–21, 2017.

YUSUF A.S; ADEYEMI T.O; ADELEYE A.S; BAKPOLOR V.R; ADEGBOYEGA D.A; ADETOLA O.O. Impacts of agriculture and forestry in the control of climate change: The role of extension services. **International Journal on Integrated Education**, [s. l.], v. 3, n. 10, p. 71–75, 2020.

ZAMA, E. F.; REID, B. J.; ARP, H. P. H.; SUN, G. X.; YUAN, H. Y.; ZHU, Y. G. Advances in research on the use of biochar in soil for remediation: a review. **Journal of Soils and Sediments**, [s. l.], v. 18, n. 7, p. 2433–2450, 2018.

ZHANG, C.; ZENG, G.; HUANG, D.; LAI, C.; CHEN, M.; CHENG, M.; TANG, W.; TANG, L.; DONG, H.; HUANG, B.; TAN, X.; WANG, R. Biochar for environmental management: Mitigating greenhouse gas emissions, contaminant treatment, and potential negative impacts. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 373, n. May, p. 902–922, 2019.

ZHENG, W. Using Biochar as a Soil Amendment for Sustainable Agriculture. ... **the Sustainable Agriculture ...**, [s. l.], v. 7276, n. December, 2010.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do impacto ambiental, social e econômico do uso do biochar no contexto agrológico foi realizada em um cenário agroecológico ideal, no qual os materiais e tecnologias necessários para produzir o biochar estão disponíveis aos agricultores e não ao revés.

Para fornecer sustentabilidade em um sistema agrícola, o biochar terá que ser benéfico não apenas para o armazenamento de carbono, mas também econômica e socialmente compatível, portanto, os efeitos na saúde humana, a produtividade das culturas e o uso de recursos devem ser considerados (SPARREVIK et al., 2013).

É necessário que o Estado tenha um papel ativo na promoção de projetos que permitam aos agricultores a autoprodução de biochar seja por meio de capacitação, ou incentivos para aqueles que praticam uma agricultura que não degrada os recursos naturais. Ter mais informações sobre experiências onde o biocarvão, derivado da autoprodução, foi aplicado nos territórios será essencial para desenvolver novos projetos e superar as limitações que surgem. Porque para evitar que esses projetos falhem, é essencial considerar as propostas, preocupações e pontos fortes que os agricultores têm desde a fase de formulação. Nesse sentido, existem muitas possibilidades de os projetos fracassarem se não se consideram cuidadosamente as comunidades e sistemas complexos nos quais o biochar está sendo introduzido (LEACH; FAIRHEAD; FRASER, 2012; NDAMEU; BIOFUELWATCH, 2011).

5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELJAOUED, E.; BRULÉ, M.; TAYIBI, S.; MANOLAKOS, D.; OUKARROUM, A.; MONLAU, F.; BARAKAT, A. **Bibliometric analysis of the evolution of biochar research trends and scientific production.** [s.l.] : Springer Berlin Heidelberg, 2020. v. 22
- ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, [s. l.], v. 202–203, p. 183–191, 2013.
- ALMEIDA PRADO, F.; ATHAYDE, S.; MOSSA, J.; BOHLMAN, S.; LEITE, F.; OLIVER-SMITH, A. How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 53, p. 1132–1136, 2016.
- ALTIERI, M. A. Agroecology: principles and strategies for designing sustainable farming systems. [s. l.], n. 1, p. 1–5, 2004.
- ALTIERI, M. A. Agroecología : principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. [s. l.], n. June, 2015.
- ARIZPE, N.; GIAMPIETRO, M.; RAMOS-MARTIN, J. Critical Reviews in Plant Sciences Food Security and Fossil Energy Dependence : An International Comparison of the Use of Fossil Energy in Agriculture (1991-2003) Food Security and Fossil Energy Dependence : An Agriculture (1991-2003). [s. l.], n. February 2015, p. 37–41, 2003.
- ASAI, H.; SAMSON, B. K.; STEPHAN, H. M.; SONGYIKHANGSUTHOR, K.; HOMMA, K.; KIYONO, Y.; INOUE, Y.; SHIRAIWA, T.; HORIE, T. Field Crops Research Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1 . Soil physical properties , leaf SPAD and grain yield. [s. l.], v. 111, p. 81–84, 2009.
- ASTIER, M.; ARGUETA, J. Q.; OROZCO-RAMÍREZ, Q.; V. GONZALES, M.;

MORALES, J.; GERRITSEN, P. R. W.; ESCALONA, M. A.; ROSADO-BARRERA, J.; CASTREJÓN, F.; MORALES, H.; SOTO, L.; MARIACA, R.; FERGUSON, B.; ROSSET, P.; RAMIREZ, H.; JARQUÍN, R.; GARCÍA-MOYA, F.; AMBROSION, M.; GONZALEZ-ESQUIVEL, C. Back to the roots : understanding current agroecological movement , science , and practice in Mexico. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 41, n. 3–4, p. 329–348, 2017.

ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 337, n. 1, p. 1–18, 2010.

BANDARA, N. J. G. J.; HETTIARATCHI, J. P. A. Environmental impacts with waste disposal practices in a suburban municipality in Sri Lanka. **International Journal of Environment and Waste Management**, [s. l.], v. 6, n. 1–2, p. 107–116, 2010.

BEZERRA, J.; TURNHOUT, E.; VASQUEZ, I. M.; RITTL, T. F.; ARTS, B.; KUYPER, T. W. The promises of the Amazonian soil: shifts in discourses of Terra Preta and biochar. **Journal of Environmental Policy and Planning**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 623–635, 2019.

BIS, Z.; KOBYLECKI, R.; ŚCISŁOWSKA, M.; ZARZYCKI, R. Biochar – Potential tool to combat climate change and drought. **Ecohydrology and Hydrobiology**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 441–453, 2018.

BLANCO-CANQUI, H. Biochar and Soil Physical Properties. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 81, n. 4, p. 687–711, 2017.

BLESH, J.; WOLF, S. A. Transitions to agroecological farming systems in the Mississippi River Basin: toward an integrated socioecological analysis. **Agriculture and Human Values**, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 621–635, 2014.

BORGES DE SOUZA, C.; CAUME, D. J.; BRASIL, M. S. CRÉDITO RURAL E AGRICULTURA FAMILIAR NO BRASIL. In: 2008, **Anais...** [s.l: s.n.]

BREWER, C. E.; SCHMIDT-ROHR, K.; SATRIO, J. A.; BROWN, R. C.

Characterization of Biochar from Fast Pyrolysis and Gasification Systems.

Environmental Progress & Sustainable Energy, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 386–396, 2009.

BROCKHOFF, S. R.; CHRISTIANS, N. E.; KILLORN, R. J.; HORTON, R.; DAVIS, D. D. Physical and Mineral-Nutrition Properties of Sand-Based Turfgrass Root Zones Amended with Biochar. [s. l.], p. 1627–1631, 2010.

BRUUN, E. W.; AMBUS, P.; EGSGAARD, H.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 46, p. 73–79, 2012.

BUDAI, A.; ZIMMERMAN, A. R.; COWIE, A. L.; WEBBER, J. B. W.; SINGH, B. P.; GLASER, B.; MASIELLO, C. A.; ANDERSSON, D.; SHIELDS, F.; LEHMANN, J.; CAMPS ARBESTAIN, M.; WILLIAMS, M.; SOHI, S.; JOSEPH, S. Biochar Carbon Stability Test Method : An assessment of methods to determine biochar carbon stability. **International Biochar Initiative**, [s. l.], p. 1–10, 2013.

CARNEIRO, J. S. D. S.; LUSTOSA FILHO, J. F.; NARDIS, B. O.; RIBEIRO-SOARES, J.; ZINN, Y. L.; MELO, L. C. A. Carbon Stability of Engineered Biochar-Based Phosphate Fertilizers. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, [s. l.], v. 6, n. 11, p. 14203–14212, 2018.

CHAN, K. Y.; OATES, A.; SWAN, A. D.; HAYES, R. C.; DEAR, B. S.; PEOPLES, M. B. Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 89, n. 1, p. 13–21, 2006.

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

CLARE, A.; BARNES, A.; MCDONAGH, J.; SHACKLEY, S. From rhetoric to reality: Farmer perspectives on the economic potential of biochar in China. **International Journal of Agricultural Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 440–458, 2014.

CLARE, A.; SHACKLEY, S.; JOSEPH, S.; HAMMOND, J.; PAN, G.; BLOOM, A. Competing uses for China's straw: The economic and carbon abatement potential of biochar. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 1272–1282, 2015.

COOMES, O. T.; MILTNER, B. C. Indigenous Charcoal and Biochar Production: Potential for Soil Improvement under Shifting Cultivation Systems. **Land Degradation and Development**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 811–821, 2017.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. de M.; SANTOS, G. de A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 85–93, 2009.

CURAQUEO, G.; MEIER, S.; KHAN, N.; CEA, M.; NAVIA, R. Use of biochar on two volcanic soils: Effects on soil properties and barley yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 911–924, 2014.

DE GISI, S.; PETTA, L.; WENDLAND, C. History and technology of Terra Preta sanitation. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 1328–1345, 2014.

DEFRIES, R.; ROSENZWEIG, C. Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 107, n. 46, p. 19627–19632, 2010.

DEVEREUX, R. C.; STURROCK, C. J.; MOONEY, S. J. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. **Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, [s. l.], v. 103, n. 1, p. 13–18, 2012.

DING, Y.; LIU, Y.; LIU, S.; LI, Z.; TAN, X.; HUANG, X.; ZENG, G.; ZHOU, L.; ZHENG, B. Biochar to improve soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 36, n. 2, 2016.

DONTHU, N.; KUMAR, S.; MUKHERJEE, D.; PANDEY, N.; LIM, W. M. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, [s. l.], v. 133, n. March, p. 285–296, 2021.

DURENKAMP, M.; LUO, Y.; BROOKES, P. C. Impact of black carbon addition to soil on the determination of soil microbial biomass by fumigation extraction.

Soil Biology and Biochemistry, [s. l.], v. 42, n. 11, p. 2026–2029, 2010.

EL-NAGGAR, A.; LEE, S. S.; RINKLEBE, J.; FAROOQ, M.; SONG, H.; SARMAH, A. K.; ZIMMERMAN, A. R.; AHMAD, M.; SHAHEEN, S. M.; OK, Y. S. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. **Geoderma**, [s. l.], v. 337, n. May 2018, p. 536–554, 2019.

ERNESTO MÉNDEZ, V.; BACON, C. M.; COHEN, R. Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 3–18, 2013.

FACTURA, H.; BETTENDORF, T.; BUZIE, C.; PIEPLOW, H.; RECKIN, J.; OTTERPOHL, R. Terra Preta sanitation: Re-discovered from an ancient Amazonian civilisation - Integrating sanitation, bio-waste management and agriculture. **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 61, n. 10, p. 2673–2679, 2010.

FAO. Los 10 Elementos de la agroecología, guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles. **L**, [s. l.], p. 12, 2018.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; CONNELL, C. O.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRO, J.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated planet. [s. l.], 2011.

FOWLES, M. Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], v. 31, n. 6, p. 426–432, 2007.

FRANCIS, C. A.; JORDAN, N.; PORTER, P.; BRELAND, T. A.; LIEBLEIN, G.; SALOMONSSON, L.; SRISKANDARAJAH, N.; WIEDENHOEFT, M.; DEHAAN, R.; BRADEN, I.; LANGER, V. Innovative education in agroecology: Experiential learning for a sustainable agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**, [s. l.], v. 30, n. 1–2, p. 226–237, 2011.

FURTADO, G. F.; CHAVES, L. H. G. Growth Rates and Sunflower Production in Function of Fertilization with Biochar and NPK. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 260, 2018.

FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Circular Economy Synergistic Opportunities of Decentralized Thermochemical Systems for Bioenergy and Biochar Production Fueled with Agro-industrial Wastes with Environmental Sustainability and Social Acceptance : a Review. [s. l.], 2018.

GALINDO-SEGURA, L. A.; PÉREZ VÁZQUEZ, A.; LANDEROS SÁNCHEZ, CESÁREO GÓMEZ-MERINO, F. C. Bibliometric analysis of scientific research on biochar Galindo-Segura,. **Journal of Fruit Science**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 723–733, 2020.

GAO, S.; HOFFMAN-KRULL, K.; DELUCA, T. H. Soil biochemical properties and crop productivity following application of locally produced biochar at organic farms on Waldron Island, WA. **Biogeochemistry**, [s. l.], v. 136, n. 1, p. 31–46, 2017.

GARCIA-POLO, J.; FALKOWSKI, T. B.; MOKASHI, S. A.; LAW, E. P.; FIX, A. J.; DIEMONT, S. A. W. Restoring ecosystems and eating them too: guidance from agroecology for sustainability. **Restoration Ecology**, [s. l.], p. 1–7, 2021.

GAUNT, J. L.; LEHMANN, J. **Abstracts of the International Agrichar Initiative 2007 Conference, Terrigal, Australia, 2007**. [s.l: s.n.].

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 143, p. 757–768, 2017.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: A model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s. l.], v. 362, n. 1478, p. 187–196, 2007.

GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de

índio). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, [s. l.], v. 82, p. 39–51, 2012.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, [s. l.], v. 88, n. 1, p. 37–41, 2001.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. [s. l.], p. 219–230, 2002.

GOMIERO, T. Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 1–41, 2016.

GURWICK, N. P.; MOORE, L. A.; KELLY, C.; ELIAS, P. A Systematic Review of Biochar Research, with a Focus on Its Stability in situ and Its Promise as a Climate Mitigation Strategy. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 8, n. 9, 2013.

IBRAHIM, H. M.; AL-WABEL, M. I.; USMAN, A. R. A.; AL-OMRAN, A. Effect of conocarpus biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. **Soil Science**, [s. l.], v. 178, n. 4, p. 165–173, 2013.

IPCC. **Mitigation of Climate Change** **The Daunting Climate Change**. [s.l: s.n.].

IPPOLITO, J. A.; LAIRD, D. A.; BUSSCHER, W. J. Environmental Benefits of Biochar. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 41, n. 4, p. 967–972, 2012.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources 2014 (update 2015). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. [s.l: s.n.].

JATAV, H. S.; JAYANT, H.; KUMAR, S.; KUMAR, V.; CHATTOPADHYA, A.; DHAWAL, S.; SINGH, Y. Role of Biochar: In agriculture sector its implication and perspective. ~ **14** ~ **International Journal of Chemical Studies**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 14–18, 2017.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 144, n. 1, p. 175–187, 2011.

JOSEPH, S. D.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; LIN, Y.; MUNROE, P.; CHIA, C. H.; HOOK, J.; VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; COWIE, A.; SINGH, B. P.; LEHMANN, J.; FOIDL, N.; SMERNIK, R. J.; AMONETTE, J. E. An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal of Soil Research**, [s. l.], v. 48, n. 6–7, p. 501–515, 2010.

KALUS, K.; KOZIEL, J. A.; OPALIŃSKI, S. A review of biochar properties and their utilization in crop agriculture and livestock production. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 17, 2019.

KAMALI, M.; JAHANINAFARD, D.; MOSTAFAIE, A.; DAVARAZAR, M.; GOMES, A. P. D.; TARELHO, L. A. C.; DEWIL, R.; AMINABHAVI, T. M. Scientometric analysis and scientific trends on biochar application as soil amendment. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 395, n. April, p. 125128, 2020.

KAMARA, A.; SORIE KAMARA, H.; SAIMAH KAMARA, M. Effect of Rice Straw Biochar on Soil Quality and the Early Growth and Biomass Yield of Two Rice Varieties. **Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 06, n. 08, p. 798–806, 2015.

KÄMPF, N.; KERN, D. . O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. **Tópico em Ciência do Solo**, [s. l.], n. 2, p. 277–320, 2005.

KING, M. F.; GUTBERLET, J. Contribution of cooperative sector recycling to greenhouse gas emissions reduction: A case study of Ribeirão Pires, Brazil. **Waste Management**, [s. l.], v. 33, n. 12, p. 2771–2780, 2013.

KLOSS, S.; ZEHETNER, F.; WIMMER, B.; BUECKER, J.; REMPT, F.; SOJA, G. Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [s. l.], v. 177, n. 1, p. 3–15, 2014.

KOIDE, R. T.; NGUYEN, B. T.; SKINNER, R. H.; DELL, C. J.; PEOPLES, M. S.; ADLER, P. R.; DROHAN, P. J. Biochar amendment of soil improves resilience to climate change. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 7, n. 5, p. 1084–1091, 2015.

LAGHARI, M.; NAIDU, R.; XIAO, B.; HU, Z.; MIRJAT, M. S.; HU, M.; KANDHRO, M. N.; CHEN, Z.; GUO, D.; JOGI, Q.; ABUDI, Z. N.; FAZAL, S. Recent developments in biochar as an effective tool for agricultural soil management: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 96, n. 15, p. 4840–4849, 2016.

LAIRD, D. A. The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. [s. l.], 2008.

LAUREANO, P. Ancient water catchment techniques for proper management of Mediterranean ecosystems. **Water Science and Technology: Water Supply**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 237–244, 2007.

LEACH, M.; FAIRHEAD, J.; FRASER, J. Green grabs and biochar: Revaluing African soils and farming in the new carbon economy. **Journal of Peasant Studies**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 285–307, 2012.

LEHMAN, R. M.; ACOSTA-MARTINEZ, V.; BUYER, J. S.; CAMBARDELLA, C. A.; COLLINS, H. P.; DUCEY, T. F.; HALVORSON, J. J.; JIN, V. L.; JOHNSON, J. M. F.; KREMER, R. J.; LUNDGREN, J. G.; MANTER, D. K.; MAUL, J. E.; SMITH, J. L.; STOTT, D. E. Soil biology for resilient, healthy soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, [s. l.], v. 70, n. 1, p. 12A-18A, 2015.

LEHMANN, J. Terra preta nova - Where to from here? **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision**, [s. l.], p. 473–486, 2009.

LEHMANN, J.; DA SILVA, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **PLANT AND SOIL**, VAN GODEWIJCKSTRAAT 30, 3311 GZ DORDRECHT, NETHERLANDS, v. 249, n. 2, p. 343–357, 2003.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 403–427, 2006.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZÃO, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 70, n. 5, p. 1719–1730, 2006.

LIANG, C.; ZHU, X.; FU, S.; MÉNDEZ, A.; GASCÓ, G.; PAZ-FERREIRO, J. Biochar alters the resistance and resilience to drought in a tropical soil. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2014.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R. J.; KER, J. C. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, [s. l.], v. 110, n. 1–2, p. 1–17, 2002.

LÓPEZ SÁNCHEZ, R.; PIÑANGO CRESPO, K.; SUAREZ PIÑA, R. LAS SELVAS ANTROPOGÉNICAS DE LOS INDÍGENAS AMAZONICOS The anthropogenic jungle of the amazon indigenous. **Revista de Ciencias Humanas y Sociales**, [s. l.], v. 93, p. 271–286, 2020.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 333, n. 1, p. 117–128, 2010.

MANGRICH, A. S.; CARDOSO, E. M. C.; DOUMER, M. E.; ROMÃO, L. P. C.; VIDAL, M.; RIGOL, A.; NOVOTNY, E. H. Improving the Water Holding Capacity of Soils of Northeast Brazil by Biochar Augmentation. **ACS Symposium Series**, [s. l.], v. 1206, p. 339–354, 2015.

MARTIN, J. F.; ROY, E. D.; DIEMONT, S. A. W.; FERGUSON, B. G. Traditional Ecological Knowledge (TEK): Ideas, inspiration, and designs for ecological engineering. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 36, n. 7, p. 839–849, 2010.

MEKURIA, W.; NOBLE, A. The Role of Biochar in Ameliorating Disturbed Soils

- and Sequestering Soil Carbon in Tropical Agricultural Production Systems International Water Management Institute (IWMI), 127 Sunil Mawatha , Pelawatte ., **Applied and Environmental Soil Science**, [s. l.], v. 2013, 2013.
- MIA, S.; UDDIN, N.; AL MAMUN HOSSAIN, S. A.; AMIN, R.; METE, F. Z.; HIEMSTRA, T. Production of Biochar for Soil Application: A Comparative Study of Three Kiln Models. **Pedosphere**, [s. l.], v. 25, n. 5, p. 696–702, 2015.
- MORSELETTO, P. Targets for a circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 153, n. October 2019, p. 104553, 2020.
- NDAMEU, B. A.; BIOFUELWATCH. **Biochas Fund Trials In Cameroon Hype And Unfulfilled Promises**. [s.l: s.n.].
- NOGUERA, D.; LAOSSI, K. R.; LAVELLE, P.; CRUZ DE CARVALHO, M. H.; ASAKAWA, N.; BOTERO, C.; BAROT, S. C ommunications C ommunications. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 21, n. 7, p. 2349–2356, 2011.
- NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; DEAZEVEDO, E. R.; DE SOUZA, A. A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilisation of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 1003–1010, 2009.
- NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. de F.; CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E. Biochar: Carbono pirogênico para uso agrícola - Uma revisão crítica. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 321–344, 2015.
- OBIA, A.; MARTINSEN, V.; CORNELISSEN, G.; BØRRESEN, T.; SMEBYE, A. B.; MUNERA-ECHEVERRI, J. L.; MULDER, J. Biochar Application to Soil for Increased Resilience of Agroecosystems to Climate Change in Eastern and Southern Africa. **Climate Change Management**, [s. l.], p. 129–144, 2019.
- OGUNTUNDE, P. G.; ABIODUN, B. J.; AJAYI, A. E.; GIESEN, N. Van De. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. [s. l.], p. 591–596, 2008.
- OMONDI, M. O.; XIA, X.; NAHAYO, A.; LIU, X.; KORAI, P. K.; PAN, G.

Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. **Geoderma**, [s. l.], v. 274, p. 28–34, 2016.

PANWAR, N. L.; PAWAR, A.; SALVI, B. L. Comprehensive review on production and utilization of biochar. **SN Applied Sciences**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 1–19, 2019.

PIMENTEL, D.; WILLIAMSON, S.; ALEXANDER, C. E.; GONZALEZ-PAGAN, O.; KONTAK, C.; MULKEY, S. E. Reducing Energy Inputs in the US Food System. [s. l.], p. 459–471, 2008.

POURHASHEM, G.; HUNG, S. Y.; MEDLOCK, K. B.; MASIELLO, C. A. Policy support for biochar: Review and recommendations. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 364–380, 2019.

POZZA, S. A.; PENTEADO, C. S. G.; CRISCUOLO, V. G. A greenhouse gas inventory in the municipal landfill of the City of Limeira, Brazil. **Chemical Engineering Transactions**, [s. l.], v. 43, n. September, p. 2083–2088, 2015.

RAJKOVICH, S.; ENDERS, A.; HANLEY, K.; HYLAND, C.; ZIMMERMAN, A. R.; LEHMANN, J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, [s. l.], v. 48, n. 3, p. 271–284, 2012.

SALETNIK, B.; ZAGULA, G.; BAJCAR, M.; TARAPATSKYY, M.; BOBULA, G.; PUCHALSKI, C. Biochar as a multifunctional component of the environment-a review. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2019.

SANTANA, G. Terra preta de indio na região amazônica. [s. l.], n. 1, p. 1–8, 2012.

SARANDÓN, S. J.; FLORES, C. C. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. **Agroecología**, [s. l.], v. 4, p. 19–28, 2009.

SCHULZ, H.; DUNST, G.; GLASER, B. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 817–827, 2013.

SCHULZ, H.; GLASER, B. 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**, [s. l.], v. 175, n. 3, p. 410–422, 2012.

SINGH, B. P.; HATTON, B. K.; SINGH, B.; COWIE, A. .; KATHURIA, A. Influence of Biochars on Nitrous Oxide Emission and Nitrogen Leaching from two Contrasting Soils. [s. l.], 2010.

SINGH, B. P.; SAINJU, U. M. **Soil Physical and Morphological Properties and Root Growth**1998.

SINGH, J.; SALARIA, A.; KAUL, A. Impact of soil compaction on soil physical properties and root growth: A review. **International Journal of Food**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 23–32, 2015.

SMITH, P.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLE, B.; SIROTKO, O.; HOWDEN, S.; MCALLISTER, T. Chapter 8 Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture. **Philos. Trans. R. Soc. B**, [s. l.], v. 363, n. January, 2007. a.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; MARA, F. O.; RICE, C.; SCHOLE, B.; SIROTKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. [s. l.], v. 118, p. 6–28, 2007. b.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, [s. l.], v. 105, n. 1, p. 47–82, 2010.

SOMBROEK, W. Amazon Soils. [s. l.], p. 303, Record number 421842, 1965.

SPARREVIK, M.; FIELD, J. L.; MARTINSEN, V.; BREEDVELD, G. D.; CORNELISSEN, G. Life cycle assessment to evaluate the environmental impact of biochar implementation in conservation agriculture in Zambia. **Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 47, n. 3, p. 1206–1215,

2013.

STREUBEL, J. D.; COLLINS, H. P.; GARCIA-PEREZ, M.; TARARA, J.; GRANATSTEIN, D.; KRUGER, C. E. Influence of Contrasting Biochar Types on Five Soils at Increasing Rates of Application. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 75, n. 4, p. 1402–1413, 2011.

TAMMEORG, P.; BASTOS, A. C.; JEFFERY, S.; REES, F.; KERN, J.; GRABER, E. R.; VENTURA, M.; KIBBLEWHITE, M.; AMARO, A.; BUDAI, A.; CORDOVIL, C. M. d. S.; DOMENE, X.; GARDI, C.; GASCÓ, G.; HORÁK, J.; KAMMANN, C.; KONDRLOVA, E.; LAIRD, D.; LOUREIRO, S.; MARTINS, M. A. S.; PANZACCHI, P.; PRASAD, M.; PRODANA, M.; PUGA, A. P.; RUYSSCHAERT, G.; SAS-PASZT, L.; SILVA, F. C.; TEIXEIRA, W. G.; TONON, G.; DELLE VEDOVE, G.; ZAVALLONI, C.; GLASER, B.; VERHEIJEN, F. G. A. Biochars in soils: towards the required level of scientific understanding. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 192–207, 2017.

TRAZZI, P. A.; HIGA, ANTONIO RIOYEI HIGA DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. BIOCÁRVÃO: REALIDADE E POTENCIAL DE USO NO MEIO FLORESTAL. [s. l.], p. 2018, 2018.

TUBIELLO, F. N.; SALVATORE, M.; GOLEC, R. D. C.; FERRARA, A.; ROSSI, S.; BIANCALANI, R.; FEDERICI, S.; JACOBS, H.; FLAMMINI, A. FAO Statistics Division Working Paper Series Agriculture , Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks 1990-2011 Analysis. [s. l.], n. March, 2014.

VAN DER WERF, G. R.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; OLIVER, J. G. .; KASIBHATLA, P. S.; JACKSON, R. B.; COLLATZ, G. .; RANDERSON, J. T. CO₂ Emissions from forest loss. **Nature Geoscience**, [s. l.], v. 52, n. 4, p. 769–839, 2009.

VELENTURF, A. P. M.; PURNELL, P. Principles for a sustainable circular economy. **Sustainable Production and Consumption**, [s. l.], v. 27, p. 1437–1457, 2021.

WARA, M. Is the global carbon market working? **Nature**, [s. l.], v. 445, n. 7128, p. 595–596, 2007.

WEZEL, A.; BELLON, S.; DORÉ, T.; FRANCIS, C.; VALLOD, D.; DAVID, C. Review article Agroecology as a science , a movement and a practice . A review. [s. l.], v. 29, p. 503–515, 2009.

WILLIS, A. D. Rarefaction, alpha diversity, and statistics. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 10, n. OCT, 2019.

WOOLF, D.; AMONETTE, J. E.; STREET-PERROTT, F. A.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**, [s. l.], v. 1, n. 5, 2010.

WU, H.; LAI, C.; ZENG, G.; LIANG, J.; CHEN, J.; XU, J.; DAI, J.; LI, X.; LIU, J.; CHEN, M.; LU, L.; HU, L.; WAN, J. The interactions of composting and biochar and their implications for soil amendment and pollution remediation: a review. **Critical Reviews in Biotechnology**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 754–764, 2017.

WU, P.; ATA-UL-KARIM, S. T.; SINGH, B. P.; WANG, H.; WU, T.; LIU, C.; FANG, G.; ZHOU, D.; WANG, Y.; CHEN, W. A scientometric review of biochar research in the past 20 years (1998–2018). **Biochar**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 23–43, 2019.

YAO, Q.; LIU, J.; YU, Z.; LI, Y.; JIN, J.; LIU, X.; WANG, G. Changes of bacterial community compositions after three years of biochar application in a black soil of northeast China. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 113, p. 11–21, 2017.

YUSUF A.S; ADEYEMI T.O; ADELEYE A.S; BAKPOLOR V.R; ADEGBOYEGA D.A; ADETOLA O.O. Impacts of agriculture and forestry in the control of climate change: The role of extension services. **International Journal on Integrated Education**, [s. l.], v. 3, n. 10, p. 71–75, 2020.

ZAMA, E. F.; REID, B. J.; ARP, H. P. H.; SUN, G. X.; YUAN, H. Y.; ZHU, Y. G. Advances in research on the use of biochar in soil for remediation: a review. **Journal of Soils and Sediments**, [s. l.], v. 18, n. 7, p. 2433–2450, 2018.

ZHANG, C.; ZENG, G.; HUANG, D.; LAI, C.; CHEN, M.; CHENG, M.; TANG,

W.; TANG, L.; DONG, H.; HUANG, B.; TAN, X.; WANG, R. Biochar for environmental management: Mitigating greenhouse gas emissions, contaminant treatment, and potential negative impacts. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 373, n. May, p. 902–922, 2019.

ZHENG, W. Using Biochar as a Soil Amendment for Sustainable Agriculture. ... **the Sustainable Agriculture ...**, [s. l.], v. 7276, n. December, 2010.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.