

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MARIA JÚLIA BONFIM SANTANA**

**SÍNTESE DE DADOS SOBRE AS PROPRIEDADES DE BIOCARVÕES  
BRASILEIROS E INFLUÊNCIA SOBRE A DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM  
SOLOS**

**MEDIANEIRA**

**2022**

**MARIA JÚLIA BONFIM SANTANA**

**SÍNTESE DE DADOS SOBRE AS PROPRIEDADES DE BIOCARVÕES  
BRASILEIROS E INFLUÊNCIA SOBRE A DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM  
SOLOS**

**Data synthesis of the properties of Brazilian biochars and influence on  
the phosphorus availability in soils**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Tecnologias  
Ambientais da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR).

Orientadora: Profª Dra. Giovana Clarice Poggere

**MEDIANEIRA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Medianeira**



MARIA JULIA BONFIM SANTANA

**SÍNTESE DE DADOS SOBRE AS PROPRIEDADES DE BIOCARVÕES BRASILEIROS E INFLUÊNCIA  
SOBRE A DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Tecnologias Ambientais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologias Ambientais.

Data de aprovação: 13 de Maio de 2022

Dra. Giovana Clarice Poggere, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Ismael Laurindo Costa Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Julierme Zimmer Barbosa, Doutorado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (Ifsemg)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 13/05/2022.

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
em especial minha mãe, que sempre  
me apoiou de todas as formas possíveis!*

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente, agradeço a Deus pela força e garra depositada em mim para que eu chegasse até aqui, me guiando da melhor forma possível.

Aos meus pais, Clarice e Luiz Carlos, por estarem sempre do meu lado, embarcando mais uma vez comigo em mais uma etapa da minha vida. As minhas irmãs, Gisely e Juliana, que juntamente com nossos pais, estiveram sempre me apoiando, incentivando e ajudando no que estava ao alcance.

A minha orientadora Professora Giovana, que em tão pouco tempo pode transmitir conhecimentos e disponibilizou seu tempo. A todos os professores do PPGTAMB da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira, demais funcionários e aqueles que compõem a minha banca, meus sinceros agradecimentos.

As amigadas que essa nova cidade me trouxe, o apoio de vocês foi fundamental, afinal, ninguém é feliz sozinho. Agradeço também as velhas amigadas que estiveram presentes nesse tempo me apoiando e torcendo para que tudo ocorresse da melhor forma e principalmente, entenderam minha ausência, a vocês, meu muito obrigada pela amizade.

A todos os meus amigos e colegas de mestrado, que por conta das circunstâncias não podemos nos aproximar da forma que esperávamos, obrigada.

Aqueles que acreditaram em mim, mostrando apoio, força e carinho, passados direta ou indiretamente, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

O biocarvão é um material que tem sido intensamente pesquisado em todo o mundo. No Brasil, a motivação atual para pesquisar o biocarvão é a reciclagem de subprodutos de commodities bem como desenvolver condicionadores de solo com alto desempenho. No entanto, os avanços na pesquisa do biocarvão não têm sido avaliados sistematicamente no Brasil e possíveis lacunas podem direcionar pesquisas futuras. Assim, avaliou-se neste trabalho a influência da temperatura e do material nas principais propriedades dos biocarvões com base em dados coletados em pesquisas brasileiras e determinou-se a influência do biocarvão na disponibilidade de fósforo em solos com mineralogia contrastante. Para isso, o trabalho foi dividido em duas etapas: na primeira etapa realizou-se uma revisão sistemática a partir da seleção e análise de informações obtidas em 57 publicações. Na segunda etapa, foram produzidos biocarvões de bagaço de cana-de-açúcar e de laranja nas temperaturas de 300 °C e 500 °C, com e sem lavagem para retirada das cinzas. Esses biocarvões foram misturados em solos com composição mineralógica variada no qual avaliou-se a interação com o fosfato, a partir da metodologia do fósforo remanescente. Os resultados da primeira etapa indicaram que a maioria das pesquisas realizou a caracterização e avaliou o biocarvão como um condicionador de solo. A temperatura de pirólise e a matéria-prima determinam a maior parte das propriedades dos biocarvões. Pesquisas futuras devem priorizar avaliações de longo prazo do biocarvão em condições de campo e o desenvolvimento de aplicações tecnológicas. Os resultados da segunda etapa indicaram que o biocarvão de cana-de-açúcar obtido a uma temperatura de 300 °C quando adicionado ao solo foi mais eficiente na diminuição do fosfato retido, sobretudo em solos com maiores teores de goethita, indicando potencial como melhorador de solo sob o aspecto da eficiência da utilização do fosfato pelas plantas.

**Palavras-chave:** revisão sistemática; temperatura de pirólise; reciclagem; aproveitamento de resíduos; óxidos de Fe.

## ABSTRACT

Biochar is a material that has been intensively researched around the world. In Brazil, the current motivation for studying biochar is to recycle commodity by-products and develop high-performance soil conditioners. However, advances in biochar research have not been systematically evaluated in Brazil, and possible gaps may guide future research. Thus, in this work, the influence of temperature and material on the main properties of biochars was evaluated based on data collected in a Brazilian study, and the effect of biochar on phosphorus availability in soils with contrasting mineralogy was determined. The work was divided into two stages: in the first stage, a systematic review was carried out based on the selection and analysis of information obtained from 57 publications. In the second stage, sugarcane and orange bagasse biochars were produced at 300 °C and 500 °C, with and without washing to remove the ash. Biochars were mixed in soils with varied mineralogical compositions in which the interaction with phosphate was evaluated from the remaining phosphorus methodology. The first stage results indicated that most research carried out the characterization and considered biochar a soil conditioner. The pyrolysis temperature and the raw material determine most biochars' properties. Future research should prioritize long-term evaluations of biochar under field conditions and the development of technological applications. The second stage results indicated that sugarcane biochar obtained at a temperature of 300 °C when added to the soil was more efficient in reducing retained phosphate, especially in soils with higher goethite contents. Thus, biochars have the potential as a soil improver under the efficiency of the use of phosphate by plants.

**Keywords:** systematic review; pyrolysis temperature; recycling; use of waste; Fe oxides.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produtos gerados no processo de pirólise .....	31
Figura 2 - Processos da pesquisa literária.....	39
Figura 3 - Processo produtivo dos biocarvões de bagaço de laranja .....	41
Figura 4 - Percentual de cada objetivo identificado nos estudos selecionados (n = 198).....	46
Figura 5 - Resíduos utilizados para a obtenção de biocarvões em estudos brasileiros (n = 198).....	51
Figura 6 - Categoria de resíduos utilizados nos estudos brasileiros (n = 198) .	52
Figura 7 - Métodos de pirólise para a produção de biocarvões no Brasil (n = 198).....	53
Figura 8 – Número de estudos por faixa de temperatura utilizada no processo de pirólise (n = 198).....	54
Figura 9 - Regressão e correlação de Person entre rendimento de (A) biocarvão, (B) bio-óleo e (C) gás de síntese em função da temperatura .....	55
Figura 10 - Regressão e correlação de Person entre (A) carbono fixo, (B) teor de voláteis e (C) teor de cinzas em função da temperatura .....	57
Figura 11 - Regressão e correlação de Person entre (A) carbono total, (B) hidrogênio total e (C) oxigênio total em função da temperatura .....	59
Figura 12 - Regressão e correlação de Person entre nitrogênio total (A), enxofre total (B) e pH (C) em função da temperatura .....	61
Figura 13 - Teores de P adsorvido em solos com mineralogia contrastantes misturados com biocarvão.....	66
Figura 14 - Teores de P desorvido em solos com mineralogia contrastantes misturados com biocarvão.....	70



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rampa de aquecimento para a obtenção de biocarvão nas temperaturas de 300 °C e 500 °C ± 10 °C .....	41
Tabela 2 - Identificação do local de coleta, material de origem e teores de óxidos por ataque sulfúrico, granulometria e Mineralogia da fração argila dos Latossolos que serão utilizados no experimento .....	44
Tabela 3 - Porcentagem de material volátil, carbono fixo e cinza de biocarvões conforme cada tratamento aplicado.....	62
Tabela 4 - pH e condutividade elétrica dos biocarvões conforme cada tratamento aplicado .....	63
Tabela 5 - Rendimento dos biocarvões conforme rampa de aquecimento.....	64

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 - Tecnologias de reatores para o processo de pirólise.....</b>	<b>32</b>
<b>Quadro 2 - Tratamento experimentais .....</b>	<b>45</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ct	Caulinita
Mh	Maghemita
ANOVA	Análise de Variância
ASE	Área de Superfície Específica
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
C/N	Carbono/Nitrogênio
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de Silício
Gb	Gibssita
Gt	Goethita
ha	Hectare
Hm	Hematita
H/C	Hidrogênio/Carbono
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
L	Litro
MO	Matéria Orgânica
Mg	Mega grama
mg	Miligrama
O/C	Oxigênio/Carbono
O/H	Oxigênio/Hidrogênio
PVC	Policloreto de Vinila
VBP	Valor Bruto da Produção

## LISTA DE SÍMBOLOS

$P_2O_5$	Pentóxido de difósforo
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
KCl	Cloreto de Potássio
$CO_2$	Dióxido de Carbono
Fe	Ferro
P	Fósforo
$^{\circ}C$	Graus Celsius
$H_2$	Hidrogênio
Mg	Magnésio
$CH_4$	Metano
CO	Monóxido de Carbono
$Al_2O_3$	Óxido de Alumínio
$Fe_2O_3$	Óxido de Ferro
$N_2O$	Óxido Nitroso
$O_2$	Gás Oxigênio
K	Potássio

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>28</b>
<b>2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>28</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Históricos com Pesquisas sobre Biocarvão no Brasil .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 Obtenção de Biocarvão e Subprodutos .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 Biocarvão: Alternativa para Aproveitamentos de Resíduos e Melhoria do Solo .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4 Dinâmica do Fósforo no Solo.....</b>	<b>35</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 Coleta de Dados em Bases de Publicação.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2 Definição dos Dados de Interesse .....</b>	<b>39</b>
<b>4.3 Análise e Apresentação dos Dados.....</b>	<b>39</b>
<b>4.4 Obtenção e Caracterização dos Biocarvões.....</b>	<b>40</b>
<b>4.5 Efeito do Tipo de Resíduo e da Temperatura de Pirólise do Biocarvão na Sorção de Fósforo em Latossolos com Mineralogia Contrastante .....</b>	<b>43</b>
<b>4.6 Delineamento Experimental e Análises Estatísticas .....</b>	<b>45</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1 Panorama Sobre as publicações com Biocarvão no Brasil.....</b>	<b>46</b>
<b>5.2 Resíduos Utilizados para a Produção de Biocarvão no Brasil.....</b>	<b>48</b>
<b>5.3 Método de Pirólise .....</b>	<b>53</b>
<b>5.4 Temperatura de Pirólise.....</b>	<b>54</b>
<b>5.5 Relações entre Temperatura de Pirólise e Rendimento.....</b>	<b>55</b>
<b>5.6 Relações entre Temperatura de Pirólise e Carbono Fixo, Teor de Voláteis e Teor de Cinzas.....</b>	<b>56</b>
<b>5.7 Relações entre Temperatura de Pirólise e Carbono Total, Oxigênio Total e Hidrogênio Total.....</b>	<b>58</b>
<b>5.8 Relações entre Temperatura de Pirólise e Nitrogênio Total, Enxofre Total e pH .....</b>	<b>60</b>
<b>5.9 Caracterização dos Biocarvões .....</b>	<b>62</b>

<b>5.10 Características Mineralógicas dos Solos .....</b>	<b>64</b>
<b>5.11 Adsorção de Fósforo em Solos com Mineralogia Contrastante .....</b>	<b>66</b>
<b>5.12 Dessorção de Fósforo em Solos com Mineralogia Contrastante .....</b>	<b>69</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE A – Planilha com dados da Revisão Sistemática .....</b>	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial na produção de alimentos, fibras e energia. Nesse processo são utilizadas anualmente grandes quantidades de fertilizantes no solo, bem como são geradas grandes quantidades de resíduos.

Uma das alternativas para mitigar esses dois impactos é a produção de biocarvão, que consiste em um material poroso rico em carbono preparado por meio de reações termoquímicas (pirólise) de materiais orgânicos em um ambiente limitado em oxigênio (RONSSE *et al.*, 2013; CROMBIE *et al.*, 2013). Este material, vem sendo estudado devido sua ação como um corretivo do solo, melhoria da fertilidade do solo e sequestro de carbono (SULIMAN *et al.*, 2016).

O biocarvão é um material que remonta às Terras Negras da Amazônia ou Terra Preta de Índio, localizado em regiões na bacia amazônica, no qual os solos apresentam características de fertilidade elevada. Dessa forma, existe uma ampla gama de matéria-prima disponível para a fabricação de biocarvão, incluindo materiais lenhosos, resíduos agrícolas, resíduos florestais e resíduos de processamento de alimentos, açúcar e/ou suco (NOVAK *et al.*, 2009; SULIMAN *et al.*, 2016). Dependendo do material utilizado e da temperatura de pirólise, os biocarvões obtidos podem apresentar propriedades distintas. As pesquisas sobre biocarvão vêm aumentando rapidamente no Brasil, apesar de serem escassas revisões sistemáticas de literatura que avaliem os avanços dessas pesquisas em nível nacional.

O Brasil em sua grande extensão territorial apresenta solos tropicais intemperizados, os quais possuem alta capacidade de fixação de Fósforo (P), o que ocasiona um baixo aproveitamento deste nutriente pelas plantas (RONQUIM, 2010) e, conseqüentemente, a altas aplicações de fertilizantes para suprir as necessidades de P, uma vez que ele é o nutriente mais limitante de produção nos trópicos.

A grande quantidade de fertilizantes, tanto organomineral, quanto mineral, aplicados anualmente nos solos, somadas ao uso indevido do mesmo, práticas inadequadas de manejo, rotação incorreta de cultivos, pode ocasionar o desequilíbrio do solo (FERRAREZI, 2009).

Além desses problemas, podem ocorrer ainda processos de erosão e lixiviação, promovendo o carreamento desse nutriente até os corpos hídricos, desencadeando o processo de eutrofização (JESUZ; CABRAL, 2019), que consiste num processo de enriquecimento por meio de nutrientes no meio aquático (especialmente compostos a base de fósforo e nitrogênio), levando a um crescimento exacerbado de microalgas que conseqüentemente aumentam a turbidez da água, depleção da concentração de oxigênio e reduzem a biodiversidade do corpo hídrico (PINTO; ANTUNES 2020).

Dessa forma, pesquisas que buscam alternativas para a melhoria da eficiência de adubação fosfatada são fundamentais para melhoria desses solos, tanto em termos econômicos, quanto ambientais.

Uma das alternativas para essa problemática é a utilização de materiais que promovam a interação organo-mineral e que possam diminuir a capacidade das argilas presentes no solo de adsorver de forma específica o P (HANKE *et al.*, 2015; HANKE; DICK, 2019). Estes materiais quando adicionados ao solo tem a finalidade de diminuir a interação entre argila, sobretudo óxidos de Ferro (Fe) e Alumínio (Al), e P melhorando a disponibilidade deste nutriente para as plantas (RHEINHEIMER *et al.*, 2020).

Um exemplo de material capaz de realizar esse processo é o biocarvão, que pode minimizar a adsorção dos íons de P no solo, por meio do rearranjo dos átomos de carbono que acontece no processo de formação do biocarvão. Sendo assim há um aumento da porosidade do material, o que ocasiona melhorias nas propriedades químicas, uma vez que há um aumento da superfície específica, afetando diretamente a capacidade de troca de cátions e adsorção de nutrientes (TRAZZI *et al.*, 2018).

Nesse sentido, o biocarvão, pode ser definido como um subproduto resultante da combustão incompleta de resíduos orgânicos em oxigênio limitado que apresenta estrutura aromática condensada resistente a decomposição (LEHMANN; JOSEPH, 2015), porosa e com inúmeros grupos funcionais (JOSEPH *et al.*, 2013).

Uma vez aplicado ao solo, o biocarvão pode interagir com a fração mineral (sobretudo as argilas) fazendo com que a ligação entre o P e o complexo organo-mineral seja menor, o que leva a uma maior disponibilidade de P na solução do solo (LI *et al.*, 2019).



Como consequência, menores doses de fertilizantes fosfatados seriam necessárias, trazendo como benefício a diminuição de perdas por erosão e consequentemente a eutrofização de corpos hídricos próximos a essas regiões agrícolas, além da utilização de resíduos provenientes das agroindústrias, caracterizando como uma alternativa de reaproveitamento de resíduos e de melhoria da qualidade dos solos.

Desta forma, conhecer as propriedades dos biocarvões produzidos a partir de biomassas regionais é fundamental, pois eles podem apresentar características diferenciadas e potenciais de usos diversos. Para um maior aprofundamento no tema, esta pesquisa contempla duas etapas de pesquisa, sendo a primeira uma revisão sistemática de dados da literatura sobre os biocarvões brasileiros, e a segunda uma etapa experimental relacionada ao efeito do biocarvão na retenção de fósforo em solos com mineralogia contrastante.

A partir da revisão sistemática, verificou-se que a temperatura de pirólise afeta as propriedades dos biocarvões e também que os resíduos agroindustriais são muito utilizados no Brasil como matéria-prima para obtenção de biocarvão. Assim, na segunda etapa experimental, foram selecionados dois resíduos agroindustriais produzidos em grande quantidade no Brasil e testadas duas temperaturas de pirólise, além disso, aplicou-se o biocarvão ao solo com a função de condicionador na melhoria do aproveitamento de fósforo. A hipótese a ser estudada consiste que a adição de biocarvão ao solo, promove interação organo-mineral e, portanto, haverá diminuição da retenção de P. Contudo, essa interação pode variar de acordo com a composição mineralogia dos óxidos presente nos solos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste estudo consiste em identificar as principais características e usos dos biocarvões brasileiros, por meio de uma revisão sistemática e avaliar a influência do biocarvão na retenção de fósforo em solos com mineralogia contrastante.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar os principais materiais utilizados para obtenção de biocarvão no Brasil e suas aplicações;
- Analisar a influência da temperatura de pirólise nas características dos biocarvões produzidos no Brasil.
- Caracterizar biocarvões produzidos a partir de resíduos de bagaço de cana-de-açúcar e laranja, sob diferentes temperaturas de pirólise;
- Determinar a retenção de fósforo em solos com mineralogia contrastantes misturados com biocarvão.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Históricos com pesquisas sobre biocarvão no Brasil

O histórico de pesquisas e estudos científicos relacionados a biocarvões no mundo se deu à priori através de observações a respeito de crescimento de plantas e cultivos, em locais nos quais já haviam sido armazenados carvões vegetais no passado.

Além dessas observações, a aplicação de biocarvão foi introduzida em manuais agrícolas como forma de melhorar características dos solos e da produção agrícola da época, de forma que o assunto começou a ganhar destaque na metade do século XIX, através de Justus Von Liebig (1852), responsável pela demonstração dos dados quantitativos sobre a melhoria de nutrientes disponíveis no solo através de aplicações de biocarvões.

Atualmente, as pesquisas têm sido impulsionadas pelas descobertas e interesses sobre as Terras Negras da Amazônia, ou Terra Preta de Índio (MANN 2002; MARRIS, 2006; SILVA *et al.*, 2021). Essas pesquisas se referem a solos encontrados na Bacia Amazônica, na região anteriormente habitada por ameríndios, que apesar da ocupação, o solo se manteve fértil devido à alta proporção de matéria orgânica. Outro exemplo, é a presença de carvão e a melhoria nos atributos do solo em localidades em que ocorreram incêndios de partes de maciços florestais, como apontam pesquisas nessa temática desenvolvidas no oeste do Estados Unidos (MAO *et al.*, 2012).

No Brasil, diversas pesquisas apontam a altos teores de nutrientes nas Terras Pretas de Índio, sobretudo de Ca e P, além de elevada CTC e carbono orgânico (BARBOSA *et al.*, 2020). Isso se deve, em parte, pela concentração de resíduos orgânicos e ossos (peixes e animais), produzidos pelas populações locais, que foram parcialmente decompostos com o passar dos anos (GLASER *et al.*, 2001; GLASER, 2007; GLASER, BIRK, 2012). Além disso, recentemente uma nova hipótese para a formação dessas terras tem ganhado destaque, trata-se das evidências da formação de Terras Pretas pela influência de sedimentos fluviais (SILVA *et al.*, 2021).

Nesse sentido, pode-se afirmar que muito provavelmente a Terra Preta de Índio não foi uma criação intencional, como uma forma de melhorar a fertilidade do solo, mas que o acúmulo e decomposição da matéria orgânica e resíduos carbonizados, eventualmente combinado com locais de cultivo, refletiu em ambientes mais férteis do que os solos adjacentes.

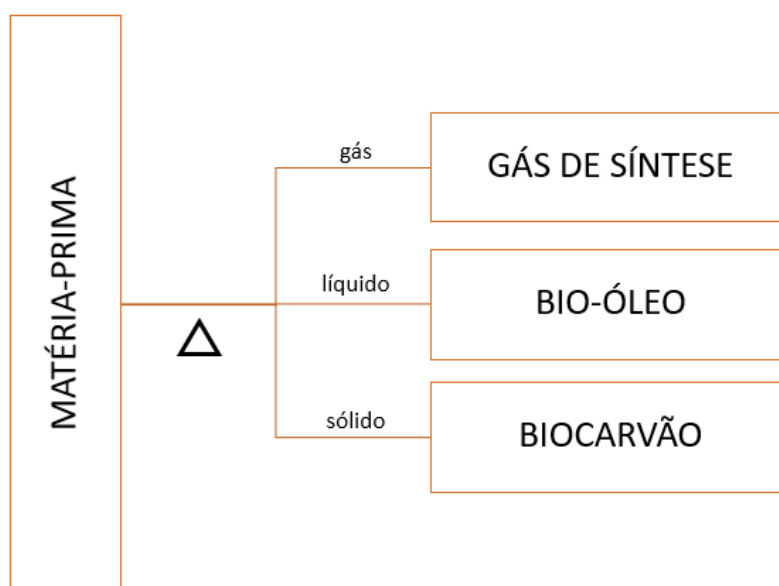
Essa interação com o solo ocorre por meio da preservação do biocarvão ao longo do tempo, e do aumento dos grupos carboxílicos, aumentando a capacidade de ligações iônicas e, assim, há uma redução na lixiviação de nutrientes (LEHMANN; JOSEPH, 2015). De forma que, a partir desses resultados, pode se associar esse tipo de solo ou os materiais que proporcionam características similares com o processo de sequestro de carbono da atmosfera, que é também um fator chave para a alta fertilidade do solo (GLASER *et al.*, 2003; GLASER, 2007; STEWART *et al.*, 2013).

Pesquisas que relacionam solos ricos em carbono pirogênico com materiais que possam reproduzir essa condição tem ganhado, cada vez mais espaço, uma vez que o processo térmico pode ser caracterizado como um tratamento para os resíduos, que posteriormente servirão de matéria prima para a obtenção de biocarvões.

### **3.2 Obtenção de biocarvão e subprodutos**

A obtenção de biocarvões e de seus subprodutos é feita a partir do processo de pirólise. A pirólise pode ser classificada como um processo físico-químico de conversão térmica de diferentes matérias-primas, sendo um método de degradação dos materiais, ocorrendo em um ambiente desprovido de oxigênio e em condições de temperaturas entre 300 °C e 800 °C, formando produtos com maior valor agregado (PAZ *et al.*, 2017).

Para a obtenção de biocarvões, a temperatura que geralmente é utilizada é inferior a 500 °C e a taxa de aquecimento fica em torno de 10 °C min<sup>-1</sup> (DOS SANTOS *et al.*, 2020). Através de processos térmicos, há a produção de biocarvão (sólido), de bio-óleo (líquido) e de syngás (gasoso) (Figura 1).

**Figura 1 - Produtos gerados no processo de pirólise**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

As características do produto formado por este processo térmico são afetadas pelo tipo de reator de pirólise, temperatura, tempo de residência e matéria prima (CORTEZ *et al.*, 2009; SCHWALM *et al.*, 2020). Sendo assim, baixas temperaturas e longos períodos de residência, favorecem a produção de fração sólida, já com altas temperaturas e curto tempo de permanência, há favorecimento da produção da fração líquida. Por consequência, existem dois processos de pirólise, a lenta e a rápida. De forma geral, a pirólise lenta potencializa a produção de biocarvão, enquanto a rápida, leva maiores produção de gás de síntese e bio-óleo (PAZ *et al.*, 2017).

Existem diversos equipamentos que podem realizar o processo de pirólise, os mais comuns são reatores de leito fixo e fluidizado (Quadro 1). Conforme as condições operacionais escolhidas, tem-se uma determinada característica no produto final, de modo que o processo de pirólise preserva significativas quantidades de carbono fixo, sendo esse material definido como o que permanece na estrutura sólida após os compostos voláteis serem eliminados pelo processo de aquecimento. Nesse sentido, inúmeros estudos demonstram que maiores quantidades de carbono fixo presente no biocarvão são provenientes de aquecimento em baixas temperaturas (WEBER; QUICKER, 2018).

**Quadro 1 - Tecnologias de reatores para o processo de pirólise**

<b>Tipo de reator</b>	<b>Características</b>
Leito Fluidizado Borbulhante	Tecnologia mais utilizada, pois o bio-óleo é coletado por meio de resfriamento rápido e os gases da pirólise são queimados e o calor liberado para secagem de matéria-prima.
Leito Fluidizado Circulante	As partículas sólidas entram na coluna principal, onde encontram um fluxo ascendente que transporta em direção ao ciclone.
Pirólise Ablativa	A matéria-prima é prensada na superfície aquecida do reator por meio de um prato rotativo.
Cone Rotativo	Este reator utiliza dois tipos de leitos fluidos; O leito 1 fica no interior do leito cônico e 2 encontra-se ao redor do cone rotativo.
Reatores Vórtices	Pequenas partículas são forçadas, por meio de uma corrente de vapor a elevadas velocidades.
Reator a Vácuo	Utiliza sal fundido como meio de aquecimento para rápida remoção de voláteis.

**Fonte: Adaptado de Cortez et al. (2009)**

Por outro lado, em temperaturas mais altas, maiores são as quantidades de componentes voláteis liberados e menor é o rendimento do biocarvão (AHMAD *et al.*, 2012; CANTRELL *et al.*, 2012; WANG *et al.*, 2017; PAN *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020). O aumento na temperatura de pirólise acelera a formação de poros dentro do biocarvão e ajuda a aumentar a área superficial específica.

A porosidade é uma das características desejáveis do biocarvão, que, quando aplicado ao solo, melhora as propriedades físicas, como a capacidade de retenção de água e o aumento da estabilidade dos agregados. Estes que são indicadores da qualidade do solo em relação ao conteúdo de matéria orgânica, atividade biológica e ciclos de nutrientes (KAVITHA *et al.*, 2018).

Portanto, existem diversas características operacionais possíveis de serem utilizadas para a produção de biocarvão, de forma que estas devem ser escolhidas conforme a finalidade do biocarvão a ser produzido, para que esse forneça os resultados para os objetivos do estudo a que se propõem.

### **3.3 Biocarvão: uma alternativa para aproveitamentos de resíduos e melhoria do solo**

O Brasil está ocupando posições de destaque tanto no comércio nacional, quanto no internacional, quando o tema é agronegócio. Este crescimento acentuado está ligado com o desenvolvimento de tecnologias para o campo, que inclui a mecanização e melhoramento genético de sementes, que geram uma maior

produtividade e o uso de microrganismos para melhoria do aproveitamento de nutrientes (ROSA *et al.*, 2011; BARBOSA *et al.*, 2021).

Dentre as culturas agrícolas no Brasil, pode-se destacar a cana-de-açúcar e a laranja (ERPEN *et al.*, 2018). O Brasil produz cerca de 72.231 kg ha<sup>-1</sup> de cana-de-açúcar (CONAB, 2019) e quanto a laranja, a última safra foi de 17 mil ton (IBGE, 2019).

A área com cana-de-açúcar no Brasil ocupa mais de 1 milhão de hec, sendo considerada a segunda cultura agrícola mais importante. Quando se leva em consideração o Valor Bruto da Produção (VBP), essa produção gera emprego para mais de 100 mil pessoas de forma direta (SIFAEG, 2020). No Paraná, essa produção ocupa o 5° lugar no ranking brasileiro, tendo 29 usinas instaladas em todo o estado (CONAB, 2020).

Quanto a produção de laranjas, essa tornou-se uma das mais importantes culturas agrícolas no Brasil, sendo que o país possui 50% da produção mundial de suco de laranja e exporta 98% da sua produção (CROPLIFE BRASIL, 2020). Tendo o Paraná como responsável por uma parcela de 4,1% referente a safra de 2019, sendo considerado 3° estado com maior produção, atrás apenas de Minas Gerais (5,8%) e São Paulo (77,6%) (EMBRAPA, 2019).

Diante do exposto, a cada safra tem-se aumentado a produção, o que leva a um aumento da quantidade de insumos que são utilizados e a quantidade de resíduos gerados nos processos (ROSA *et al.*, 2011; SCHNEIDER; SCHULZ; LIMA, 2012), de forma que esse aumento ocorre de forma direta, visto que a produção, quantidade de insumos e resíduos estão interligados.

Alternativas sustentáveis têm sido discutidas ao longo dos anos, para a correta gestão ambiental dos resíduos sólidos gerados por todos, essa gestão tem por finalidade diminuir os impactos ambientais que podem ocorrer na natureza (SCHNEIDER; SCHULZ; LIMA, 2012), quanto aos resíduos tem sua disposição inadequada.

Quanto a geração de resíduos, no caso da cana-de-açúcar, o bagaço ou resíduos são descritos como um resíduo fibroso da extração do caldo pelas moendas (NWAJIAKU *et al.*, 2018), de forma que a quantidade produzida está relacionada com o teor de fibra da cana processada, que possui em média 46% de fibra e 50% de umidade, resultando em aproximadamente 280 quilos de bagaço por

tonelada de cana processada (AGEITES, 2020). Quanto a laranja, os resíduos representam cerca de 50% do peso total da fruta antes do processamento (ALEXANDRINO *et al.*, 2007; GONZAGA *et al.*, 2018).

Dessa forma, soluções para reaproveitar desses resíduos vem sendo estudadas e discutidas, como uma forma de mitigar os impactos e valorar estes resíduos. Atualmente, os resíduos da cana-de-açúcar são utilizados na própria indústria sucroalcooleira para alimentar caldeiras e gerar energia (SCHNEIDER; SCHULZ; LIMA, 2012) e quanto aos bagaços de laranja, estes são utilizados para obtenção de pectina, óleos essenciais e enzimas (ALEXANDRINO *et al.*, 2007).

Outra solução que pode utilizar ambos os resíduos e outros tipos de resíduos agroindustriais como sabugo de milho, pinus, etc., é o biocarvão, que consiste em um produto rico em carbono, obtido através das biomassas dos resíduos citados anteriormente, quando aquecido em temperaturas inferiores a 800 °C e em ambientes com baixas concentrações de oxigênio (CHIAM *et al.*, 2020; NWAJIAKU *et al.*, 2018).

O biocarvão pode apresentar grande diversidade de composição, devido o material utilizado, a taxa de aquecimento e variação de temperatura, fazendo com que essa etapa de escolha do material e das condições de obtenção do biocarvão sejam importantes na definição de suas características (GONZAGA *et al.*, 2018; KWON *et al.*, 2020). Outro fator que influencia no comportamento do biocarvão são os traços de celulose e lignina, no qual fazem com que haja comportamentos diferentes durante o tratamento térmico, o que configura diferença no rendimento e composição dos biocarvões (WEBER; QUICKER, 2018).

Este produto tem capacidade de imobilizar pesticidas e herbicidas, metais pesados e hormônios, reduzir a lixiviação de nitratos e prevenir as emissões de óxido de nitrogênio (CHIAM *et al.*, 2020; DA SILVA *et al.*, 2019), levando a uma recuperação do solo degradado.

O processo de remediação de solos contaminados com metais pesado, ocorre por meio do processo de adsorção, uma vez que o biocarvão possui características que levam a imobilização do poluente, através da capacidade sorção. O mesmo processo pode ser verificado em experimentos que visam a utilização do biocarvão para tratamento de água e/ou efluente.



Outra forma de utilização do biocarvão é aplicação junto ao solo, pois este tende a melhorar a retenção de água, podendo absorver nutrientes para o consumo das plantas, de forma a melhorar assim seu crescimento, aumento pH, CTC e carbono orgânico (TRAZZI *et al.*, 2018).

Assim, a aplicação do biocarvão no solo apresenta bons resultados para a melhoria da fertilidade do solo, para o aumento na produção de safras (DELUCA, 2016) e na descontaminação de poluentes (NWAJIAKU *et al.*, 2018), se mostrando um ótimo produto a ser incorporado nos solos e mais uma alternativa de aproveitamento de resíduos.

### **3.4 Dinâmica do fósforo no solo**

O fósforo (P) pode estar presente no solo em diversas formas, sendo assim, distribuídos em diferentes compartimentos. Em alguns casos, a deficiência de P, em solos tropicais está relacionada a predominância de óxidos de Fe e Al na fração argila capazes de adsorvê-lo (HAVLIN *et al.*, 2016).

O P no solo está presente em duas formas, o P inorgânico e o P orgânico. O inorgânico é proveniente dos minerais apatíticos presente nas rochas, que chega ao solo por meio do intemperismo desses minerais e do avanço da pedogênese.

Devido a suas características químicas, o P rapidamente é hidratado por moléculas de água, fazendo com que haja o processo de protonação e seu estado de valência é alterado. Esse processo leva a formação de fosfato mono e bivalente, dos quais são altamente reativos e, portanto, os teores de fosfato remanescente na solução do solo são extremamente baixos (RHEINHEIMER *et al.*, 2020).

Quanto o P orgânico, este ocorre por meio da incorporação do P inorgânico da solução do solo aos tecidos de plantas e microrganismo, levando a uma constante bioreciclagem deste nutriente no sistema com os microrganismos decompondo os materiais orgânicos, de forma que este comportamento é resposta da disponibilidade de substrato para o crescimento microbiana e reciclagem de nutrientes com subsequente morte dos microrganismos (RHEINHEIMER *et al.*, 2020).

A fração orgânica de P no solo pode variar de 30 a 65 % do teor total de P, essa variação ocorre em função da atividade biológica, temperatura e umidade, disponibilidade de substrato para o crescimento microbiano e do próprio teor e disponibilidade de P do solo (CONDRON; TURNER; CADE-MENUN, 2005).

Tudo isso evidencia a importância do conhecimento do ciclo biogeoquímico de P no solo, pois em função disso, sabe-se que mesmo os solos que possuem altos teores de P total, apenas uma pequena parcela está em equilíbrio e pode ser absorvida pelas plantas. Para que haja manejo eficiente de P, é importante compreender as relações e interações das várias formas que ele se encontra no solo e os inúmeros fatores que influenciam a sua disponibilidade (HAVLIN *et al.*, 2016).

Uma vez no solo, o P pode interagir com as plantas, os animais e os microrganismos (LEPSCHE, 2010). Incluem-se nesse processo a absorção pelas plantas, reciclagem pelos resíduos de plantas e animais, reciclagem biológica pelos processos de mineralização-imobilização, reações de sorção pelas argilas e óxidos e hidróxidos do solo e solubilização de fosfatos pela atividade de microrganismos e plantas (ADUAN; VILELA; DOS REIS JÚNIOR, 2005).

O P adicionado ao solo via fertilizante pode interagir com as argilas, como por exemplo a caulinita e os óxidos de Fe (hematita e goethita) e Al (gibbsita) que possuem alta capacidade de adsorção de P (DE SOUZA *et al.*, 2006). As reações de adsorção estão relacionadas com a força de atração entre as moléculas, podendo ser classificadas em reações de adsorção não-específica e específica.

A reação de adsorção não-específica ou de esfera externa se forma quando se tem a presença de pelo menos uma molécula de água entre o grupo funcional de superfície dos minerais do solo e o íon ou molécula da solução do solo, isso faz com que o íon ou molécula seja facilmente absorvido pelas plantas (MEURER, 2017).

Já a reação de esfera interna, forma-se quando não há presença de molécula de água, entre o grupo funcional de superfície dos minerais do solo e o íon ou molécula que se liga a ele, isto é, o íon liga-se diretamente ao grupo funcional de superfície do mineral diminuindo a sua disponibilidade para as plantas (MEURER, 2017; POGGERE *et al.*, 2020).

Sendo assim, solos tropicais em avançado estágio de intemperismo, apresentam altos teores de argila e alta capacidade de adsorver P. No Brasil, extensas áreas apresentam tais condições (BARBOSA *et al.*, 2021).

Com o passar do tempo e o avanço do intemperismo a disponibilidade de P no solo diminui, o que implica na correção dos teores desse nutriente em solos agrícolas. Esta prática é realizada, na maioria dos casos, a partir da aplicação de fertilizantes solúveis, produzidos a partir de rochas fosfáticas.

Por outro lado, as espécies vegetais e os microrganismos, acabam se adaptando às condições de baixa disponibilidade desse nutriente, de forma que conseguem alterar a sua morfologia e metabolismo ou ainda são capazes de provocar alterações indiretas em propriedades do solo, com a finalidade de maximizar a concentração e absorção de P da solução do solo (RHEINHEIMER *et al.*, 2020).

Nesse sentido, a aplicação de materiais, como o biocarvão, que melhorem a dinâmica de P no solo e promovam menores interações entre P e argilas, poderiam de alguma forma, contribuir para a diminuição do aporte anual de P via fertilizante fosfatado. Além do ganho econômico e o ganho ambiental ao se preservar as reservas e diminuir riscos de eutrofização por incremento de P nas águas, ajudaria no desenvolvimento de uma agricultura mais responsável e sustentável, visando a produção ao longo dos anos.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Coleta de Dados em Bases de Publicação

Esta primeira etapa do trabalho consiste em uma síntese de dados sobre as propriedades e aplicações de biocarvões produzidos no Brasil. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em três bases de publicações (Google Acadêmico, *Scopus* e *Web of Science*). A pesquisa foi realizada entre novembro de 2020 e abril de 2021, sem limitação de ano de publicação, sendo que na busca foram utilizados os descritores “biochar” e “Brazil” ou “Brazilian”. Foram reportados um total de 6.650 produções que compuseram o *corpus* da pesquisa.

As publicações foram selecionadas considerando os seguintes critérios:

- 1) Publicação na forma de artigo em periódico científico;
- 2) Estudo conduzido no Brasil;
- 3) Estudo com biocarvão sem aditivos, modificação ou envelhecimento acelerado;
- 4) Possibilidade de extração dos resultados diretamente do texto, tabelas e figuras.

Após a verificação dos critérios estabelecidos e leitura flutuante, foram selecionadas 57 publicações que compuseram o *corpus* de análise, das quais gerou um total de 198 dados (ocorrência). A Figura 2 apresenta as principais etapas da pesquisa bibliográfica utilizada neste estudo.

**Figura 2 - Processos da pesquisa literária**



Fonte: Autoria própria (2022)

## 4.2 Definição dos Dados de Interesse

Os dados que foram selecionados para a análise estão relacionados com as características qualitativas e quantitativas dos biocarvões de estudos brasileiros, sendo verificados os objetivos dos estudos, o tipo de resíduo utilizado, método e temperatura (°C) de pirólise, os rendimentos (%) gravimétricos, do bio-óleo e do syngás, teor de voláteis (%), cinzas (%), carbono fixo (%) e total (%), nitrogênio total (%), hidrogênio total (%), oxigênio total (%), enxofre total (%), fósforo total (%), pH, pH em CaCl<sub>2</sub>, capacidade de troca de cátions (CTC) (cmol<sub>c</sub>), porosidade total (%), macroporosidade (%), mesoporosidade (%), microporosidade (%), volume total de poros (cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup> ou mL g<sup>-1</sup>), área superficial específica (m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) e condutividade elétrica (dS m<sup>-1</sup>).

Todas essas informações foram transcritas e organizadas em planilhas eletrônicas como banco de dados para posterior análise estatística e inferencial.

## 4.3 Análise e Apresentação dos Dados

Devido à grande variação na tipologia de dados encontrados nos estudos selecionados, optou-se por realizar um agrupamento com relação ao tipo de objetivo dos estudos, o tipo de resíduo utilizado e método de pirólise.

Desta forma, as classes de objetivos (categorias de análise) foram definidas como: caracterização; condicionador de solo; condicionador de substrato; fertilizante organomineral; mitigação de gases; remoção de ácido sulfídrico; sensor eletroquímico e tratamento de água.

Quanto as classes de resíduos, devido à grande gama de resíduos existentes, optaram-se por agrupar estes conforme sua tipologia, os grupos formados foram: folha/caule de planta; madeira, pneu/PVC; resíduo agroindustrial e resíduo animal.

A relação entre as propriedades do biocarvão de cada grupo e o conjunto de todos os grupos com a temperatura de pirólise foi avaliada usando a correlação de Pearson, mediante a inspeção do valor de  $r$  e a significância deste pelo  $p$ -valor ( $p < 0,05$ ) à um nível de 95% de confiança. Os dados foram gerados no *software* Sigma Plot.

#### **4.4 Obtenção e Caracterização dos Biocarvões**

Os biocarvões foram produzidos (Figura 3) no laboratório de solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, utilizando bagaços de cana-de-açúcar e laranja, de estabelecimentos comerciais do ramo alimentício do município de Medianeira, localizada no oeste do estado do Paraná.

Ambos os resíduos foram secos em estufa, para que a umidade fosse retirada, por 24 horas a 60 °C. Em seguida, aquecidos em forno tipo mufla em recipientes cilíndricos metálicos fechados que previnem o fluxo de O<sub>2</sub> e permitem a saída dos gases gerados na pirólise, dessa forma a rampa de aquecimento utilizada foi de 35 min para a temperatura de 300 °C ± 10 °C e 28 minutos para a temperatura de 500 °C ± 10 °C, a qual ambos foram mantidos por 1 hora (Tabela 1).

**Tabela 1 - Rampa de aquecimento para a obtenção de biocarvão nas temperaturas de 300 °C e 500 °C ± 10 °C**

Biocarvão de 300 °C		Biocarvão de 500 °C	
Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)
50	5	100	7
100	10	200	7
150	10	300	7
200	10	400	7
300	60	500	60

**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Após o resfriamento, uma parte do biocarvão foi moído com o auxílio de almofariz e armazenado em local seco.

**Figura 3 - Processo produtivo dos biocarvões de bagaço de laranja**



**Fonte: Aatoria própria (2022)**

A outra parte do biocarvão foi lavada, sendo que para cada 10 g de biocarvão adicionou-se 300 mL de água deionizada. A mistura foi agitada manualmente com auxílio de um bastão de vidro e posteriormente peneirada para reter o material lavado. O processo de lavagem foi repetido por 5 vezes com o intuito de eliminar cinzas proveniente do processo de pirólise.

Após a lavagem, os biocarvões foram secos em estufa, a 60 °C. Em seguida, realizou-se o processo de moagem com auxílio de almofariz e os mesmos foram armazenados em local seco, e identificações, de forma que a letra inicial da sigla representa o material utilizado para obtenção do biocarvão:

C = bagaço de cana-de-açúcar;

L = bagaço de laranja.

A segunda letra, quando presente, indica que o material foi lavado (L) e o número indica a temperatura de pirólise:

300 = 300 °C;

500 = 500 °C.

Exemplo: C300 indica biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar pirolisado a 300 °C e LL500 indica biocarvão de bagaço de laranja lavado e pirolisado a 500 °C.

Para a caracterização dos biocarvões produzidos conforme metodologia anterior, optou-se por análises de teor de umidade, material volátil, teor de cinza, carbono fixo, rendimento, pH e condutividade elétrica (IBI, 2015).

Dessa forma, a determinação do teor de umidade se deu por gravimetria usando cadinhos previamente higienizados e descontaminados que continham amostras de biocarvão com cerca de 0,5 g.

As amostras foram secas em estufa com circulação de ar a uma temperatura de  $105 \pm 2$  °C até atingir peso constante. Os cadinhos foram mantidos em dessecador entre as pesagens até a obtenção da massa seca.

O teor de umidade (U %) das amostras, foi calculado por meio da Equação 1, onde, P1 representa a massa em g dos cadinhos com o biocarvão antes da secagem e P2 representa a massa em g dos cadinhos após a secagem e dessecação.

$$U (\%) = \left( \frac{P_1 - P_2}{P_1} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Para a análise de material volátil, as amostras secas (P2) foram submetidas ao forno tipo mufla em uma temperatura de  $950 \pm 2$  °C por um período de 6 min, após esse processo foram colocadas em um dessecador e posteriormente foram aferidas as medidas em balança para obtenção da massa seca. A porcentagem de material volátil (MV) das amostras foi calculada pela equação 2, onde, P3 representa as amostras após a mufla 950 °C.

$$MV(\%) = \left( \frac{P_2 - P_3}{P_2} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Posteriormente as amostras foram colocadas novamente no forno mufla a uma temperatura de  $750 \pm 2$  °C por 6 horas. As amostras foram novamente resfriadas em dessecador e pesados para obtenção da massa de cinza após 750 °C ( $P_{cinza}$ ). A porcentagem de cinzas (TC), foi obtida pela equação 3.



$$TC(\%) = \frac{P_{\text{cinza}} - 100}{P_2} \quad (3)$$

Para o cálculo da concentração fixa de carbono (Equação 4), utilizou os parâmetros calculados anteriormente pelas equações 1, 2 e 3 (IBI, 2015).

$$CF(\%) = 100 - (U + MV + TC) \quad (4)$$

Para a determinação do pH e condutividade elétrica (CE), foi usada a massa de 1 g de biocarvão em triplicata aferida em béquer, em seguida foram adicionados 20 mL de água destilada, realizada agitação por 5 min, e repouso por 60 min. na sequência foram realizadas as medidas de pH da condutividade elétrica.

Para a análise de rendimento, pesaram-se aproximadamente 3 g de cada matéria-prima (bagaço de cana-de-açúcar e laranja) em triplicata, que foram submetidas a pirólise conforme a rampa de aquecimento pré-definida (Tabela 2). Após finalizada as etapas de preparo a quantidade de biocarvão produzido foi aferida para a obtenção do rendimento gravimétrico.

Os dados obtidos na caracterização foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para testar a homogeneidade e posteriormente submetidos ao teste Tukey para comparação de médias a 5% de probabilidade, com auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2014).

#### **4.5 Efeito do Tipo de Resíduo e da Temperatura de Pirólise do Biocarvão na Sorção de Fósforo em Latossolos com Mineralogia Contrastante**

Foram coletadas amostras da camada superficial (0-20 cm) de quatro Latossolos com variação nos teores e qualidade de óxidos de Fe (Tabela 2). A escolha dos solos considerou os conteúdos de Hematita (Hm) e Goethita (Gt), que são os dois principais óxidos de Fe em solos brasileiros, bem como os teores de gibssita (Gb), principal óxido de Al.

Assim, a amostragem contemplou dois Latossolos hematíticos (amostras 1 e 2), sendo um com alto teor de Gb, e dois solos goetíticos (amostras 3 e 4), sendo um com alto teor de Gb.

**Tabela 2 - Identificação do local de coleta, material de origem e teores de óxidos por ataque sulfúrico, granulometria e Mineralogia da fração argila dos Latossolos que serão utilizados no experimento**

Propriedades	Material de origem			
	Tufito	Basalto	Basalto	Micaxisto
	Classes de solos			
	Latossolo Vermelho (Solo 1) *	Latossolo Vermelho (Solo 2) *	Latossolo Bruno (Solo 3) *	Latossolo Bruno (Solo 4) *
SiO <sub>2</sub> (%)	18,6	10,1	23,7	11,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	13,1	28,7	22,9	32,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	36,0	25,4	21,1	16,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,73	0,95	0,15	0,07
Matéria orgânica (%)	2,0	2,0	2,2	2,1
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	450	740	810	660
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	400	170	150	220
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	150	90	40	120
Caulinita (g kg <sup>-1</sup> )	362	217	402	237
Gibbsita (g kg <sup>-1</sup> )	0	260	0	234
Hematita (g kg <sup>-1</sup> )	171	153	34	48
Goethita (g kg <sup>-1</sup> )	87	21	141	112
Maghemita (g kg <sup>-1</sup> )	10	38	2	0

Local de coleta: 1 – Patos de Minas, MG; 2 – Cascavel, PR; 3 – Vargem Bonita, SC; 4 – Nazareno, MG.

**Fonte: Adaptado de Poggere, 2018 (dados não publicados)**

Os solos foram misturados com os biocarvões numa dose equivalente a 10 Mg ha<sup>-1</sup>. A mistura permaneceu em processo de incubação por 7 dias, no qual a umidade foi mantida. Esse processo foi realizado para promover a interação entre os minerais de argila do solo e o biocarvão.

Após a incubação, a mistura de solo + biocarvão foi seca em estufa a 40 °C e finamente macerada. Após esta etapa adicionou-se uma dose única de fósforo, equivalente a 60 ou 120 mg L<sup>-1</sup> preparada a partir do reagente KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, sendo pH padronizado em 5,5. Amostras com 0,3 gramas de material foram misturadas com 10 mL da solução e passou por agitação de 16 h, seguidas pelo processo de centrifugação de 5 min.

O sobrenadante foi coletado para análise do teor de fósforo remanescente. O resíduo foi lavado com 3 mL de água deionizada e centrifugado. Essa etapa foi necessária para evitar superestimação dos teores de fósforo desorvido, devido à solução de adsorção remanescente após centrifugação.

Após esta etapa adicionou-se 10 mL de uma solução de dessorção com KCl 0,02 mol L<sup>-1</sup> com pH 5,5. A solução passou pelo processo de agitação por 16 h seguidas por 5 min de centrifugação (da mesma forma que na etapa de adsorção).

Os teores de fosfato remanescente e dessorvido foram determinados por colorimetria em espectroscopia UV/VIS a partir do método azul de molibdênio (MURPHY; RILEY 1962). Para simplificar, o fosfato será representado pelo símbolo P.

#### 4.6 Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

O arranjo experimental utilizado consistiu em delineamento inteiramente casualizados com três repetições de 9 tratamentos para cada tipo de solo selecionado, conforme o quadro apresentado a seguir.

**Quadro 2 - Tratamento experimentais**

Tratamentos	Combinação
T1	Controle
T2	Biocarvão de cana 300 °C não lavado (C300);
T3	Biocarvão de cana 300 °C lavado (CL300);
T4	Biocarvão de cana 500 °C não lavado (C500);
T5	Biocarvão de cana 500 °C lavado (CL500);
T6	Biocarvão de laranja 300 °C não lavado (L300);
T7	Biocarvão de laranja 300 °C lavado (LL300);
T8	Biocarvão de laranja 500 °C não lavado (L500);
T9	Biocarvão de laranja 500 °C lavado (LL500).

**Fonte: Autoria própria (2022)**

O tratamento dito como controle, apresentava apenas os solos, sem a adição de biocarvão, os tratamentos 2 ao 9, constitui o tipo de solo adicionado ao tipo de variação dos biocarvões. Os dados do percentual de adsorção e dessorção foram avaliados por meio de análise variância (ANOVA) e comparados por teste Tukey para comparação das médias no nível de significância de 5 %. Para melhor compreensão, o valor de P remanescente foi transformado em P adsorvido, usando Equação 5 (POGGERE *et al.*, 2020).

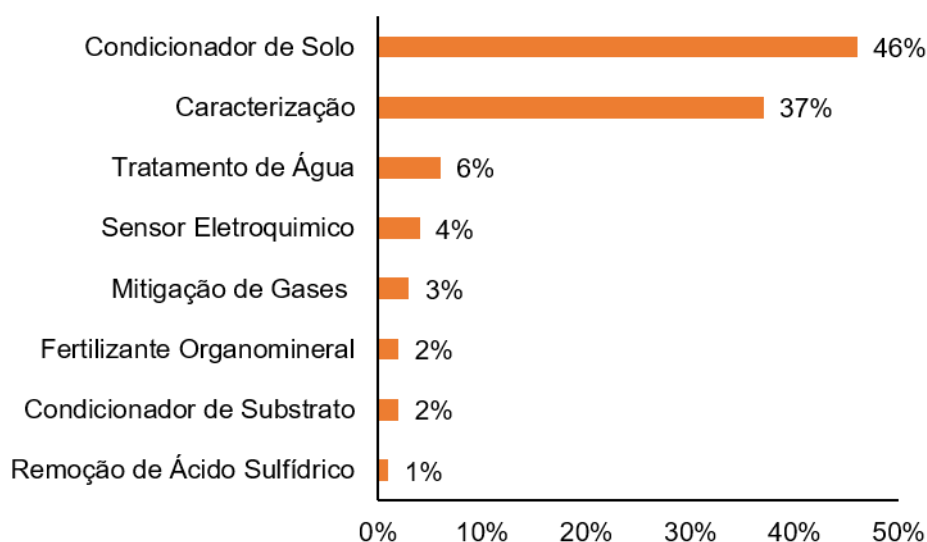
$$P \text{ adsorvido (\%)} = \frac{(P \text{ adicionado} - P \text{ remanescente}) \times 100}{P \text{ adicionado}} \quad (5)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Panorama Sobre as publicações com Bicarvão no Brasil

A utilização de biocarvões no Brasil em escala experimental vem crescendo cada vez mais, e isso está relacionado com a divulgação desse método, com as inúmeras possibilidades de resíduos a serem utilizados, com a diversidade de funcionalidade do mesmo e com os bons resultados observados nas pesquisas. Dessa forma, entre os estudos selecionados dos últimos 7 anos, dentro os diversos objetivos, a caracterização e o uso como condicionador de solo se somados chegam a 83% (Figura 4).

**Figura 4 - Percentual de cada objetivo identificado nos estudos selecionados (n = 198)**



Fonte: Autoria própria (2022)

A caracterização é de suma importância, pois através dela é possível avaliar as propriedades físicas e químicas do biocarvão produzido e avaliar as possíveis aplicações.

Já a utilização como condicionador de solo, está relacionada com melhoria do solo no geral, uma vez que sua aplicação contribui de maneira significativa para

melhoria da estrutura, porosidade e densidade. Além disto, contribui para a fertilidade do solo devido à liberação de nutrientes e a presença de grupos químicos que interagem com os colóides do solo, promovendo a retenção de água, de nutriente e também são capazes de inativar elementos tóxicos presentes no solo (RÓZ, *et al.*, 2015).

Já os estudos de biocarvão como condicionador de substrato representam 2% dos estudos avaliados, essa finalidade promove melhoria nos substratos que são utilizados para obtenção de mudas, uma vez que o substrato é considerado mistura de terra e componentes específicos que garante a sustentação para as raízes da planta, além de melhorar na retenção de líquidos, o que contribui para a melhor absorção de nutrientes pela planta.

A utilização do biocarvão para tratamento de água também foi um dos objetivos verificados nos estudos (6%). Isso se deve ao fato de alguns resíduos apresentarem biomassas que são capazes de adsorver substâncias inorgânicas e orgânicas que são consideradas poluentes. Esse tipo de utilização apresenta vantagens financeiras quando comparados aos adsorventes convencionais (JESUS *et al.*, 2019), uma vez que há uma reutilização de resíduos.

Quanto a essa utilização, a temperatura pode ser considerada um dos fatores que possuem influência, isso porque quanto maior a temperatura de pirólise, maior a área de superfície específica do biocarvão, o que facilita a adsorção de compostos químicos, realizando assim o tratamento da água (FRANCISKI *et al.*, 2018; JESUS *et al.*, 2019)

Os biocarvões podem ser produzidos com o objetivo de sensor eletroquímico e representam 4% do total de estudos analisados. Essa finalidade contribui para a construção e utilização destes como sensores eletroquímicos, pois há a possibilidade do biocarvão ser utilizado como eletrodo altamente eficaz na modificação para a pré-concentração de contaminantes orgânicos (KALINKE *et al.*, 2016) e posteriormente ser utilizado em dispositivos de armazenamento de energia, uma vez que os biocarvões dependendo do seu material de origem, possuem características semelhantes ao grafeno (ENDLER *et al.*, 2020).

A aplicação de biocarvão como um meio de mitigar gases (3%) é uma forma de realizar o sequestro de carbono (C) quando o material é aplicado no solo (GRUTZMACHER *et al.*, 2018), principalmente em regiões tropicais. De forma que

essa adição do biocarvão no solo, pode afetar as emissões de óxido nitroso ( $N_2O$ ), alterando o amônio do solo e as concentrações de nitrato, facilitando o consumo de  $N_2O$  na etapa terminal de desnitrificação e adicionando compostos lábeis de carbono e nitrogênio ao solo (RITTI *et al.*, 2021).

A aplicação de biocarvão ao solo mostrou resultados que indicam aumento da disponibilidade de P devido à redução da adsorção de P em óxidos de ferro (SANTOS *et al.*, 2019), dessa forma tem-se utilizado biocarvões para serem incorporados ao solo como fertilizantes organomineral (2%).

Essa alternativa surgiu uma vez que apenas 15 a 30% do todo o P aplicado em solos via o fertilizante é absorvido pelas lavouras no primeiro ano de aplicação. Essa situação pode ser mais crítica em casos de solos intemperizados de regiões tropicais úmidas, devido à forte interação de ânions de fosfato com óxidos de Fe e Al presente no solo, levando à fixação de P (SANTOS *et al.*, 2019), sendo necessário maiores quantidade de fertilizantes ao longo dos anos, para suprir as necessidades do solo e do cultivo.

Dentre os estudos analisados, o que apresentou uma menor porcentagem com relação ao total, foram aqueles relacionados a remoção de ácido sulfídrico. Cerca de 1% dos estudos selecionados utilizam desse objetivo que prevê a remoção de ácidos e gases a base de enxofre, os quais podem causar problemas de corrosão em tubulações em processo de produção de biogás.

Tecnologias simples e inovadoras têm obtido destaque na realização de processo, dentre eles, o biocarvão surge como alternativa promissora, devido seu custo-benefício e questões de sustentabilidade ambiental (SCHEUFELE *et al.*, 2021).

## **5.2 Resíduos Utilizados para a Produção de Biocarvão no Brasil**

Além do objetivo do estudo que visa identificar a funcionalidade do biocarvão, é necessário escolher o tipo de resíduo adequado, uma vez que os resíduos possuem teores de componentes diferentes e quando sofrem o processo de carbonização, esses componentes em maiores quantidades fornecem características marcantes do biocarvão.

Sendo assim, os resíduos mais utilizados para a produção de biocarvão no Brasil, com base na revisão aqui proposta, são apresentados na Figura 5. O resíduo com maior utilização para a obtenção de biocarvões é a madeira de eucalipto (10,6%), isso pode ter relação com o fato de da alta produção de madeira proveniente do eucalipto, que no ano de 2019, segundo o IBGE foi de 43.816.460 m<sup>3</sup> (IBGE, 2020), demonstrando que durante esse processo entre a supressão e o corte da lenha, há uma grande quantidade de resíduos, que pode ser utilizado para produzir biocarvão.

Em seguida vem a utilização do bagaço da cana-de-açúcar (8,1%), este é proveniente na maioria das vezes da indústria sucroalcooleira, além disso a produção brasileira varia em torno de 642,1 milhões de toneladas de cana-de açúcar na safra 2020/21 (VIDAL, 2020).

Com 5,1% o bagaço de laranja, também é um dos resíduos que se destaca para a utilização de matéria prima para a obtenção dos biocarvões, sendo considerado outro resíduo proveniente da agroindústria, que gera cerca de 50% do peso total da fruta em resíduos (ALEXANDRINO *et al.*, 2007; GONZAGA *et al.*, 2018). Em alguns estudos, utiliza-se somente a casca da laranja (1,5%), de forma que essa escolha varia com a finalidade do estudo ou disponibilidade do resíduo.

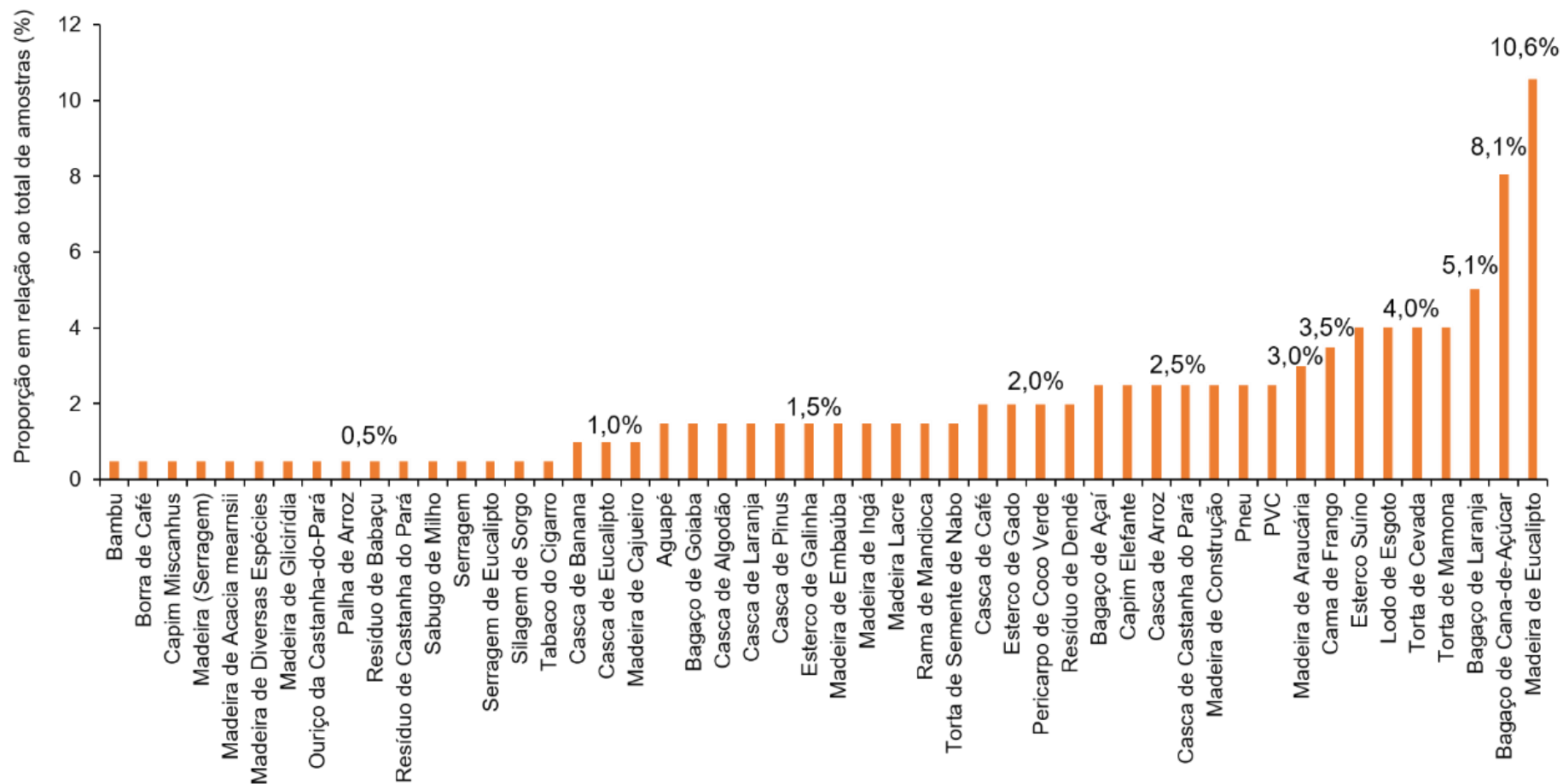
Outros resíduos como esterco suíno, bovino e de aves também são utilizados para a obtenção de biocarvões, somados eles chegam a 7,5%. Um dos motivos é porque o Brasil é um dos maiores produtores de carne bovina (GRIGOL *et al.*, 2019), com isso a criação de animais em confinamento gera quantidade significativa de efluente e sólidos que podem ser utilizados como matéria prima dos biocarvões.

Outro efluente utilizado para a obtenção de carvão no Brasil é o lodo de esgoto (4,0%). Este resíduo tem poucas alternativas de utilização, uma vez que ele precisa ser estabilizado, sendo assim, ao passar pelo processo de carbonização, o lodo sofre o processo de esterilização, podendo ser utilizado no solo. Contudo, a quantidade de nutrientes ou elementos potencialmente tóxicos aplicada via biocarvão deve levar em conta os teores já existentes no solo para que não haja maiores impactos no solo.

Os demais resíduos são bem variados, uma vez que em diferentes regiões do Brasil há inúmeros cultivos e indústrias, favorecendo a variedade desses materiais.



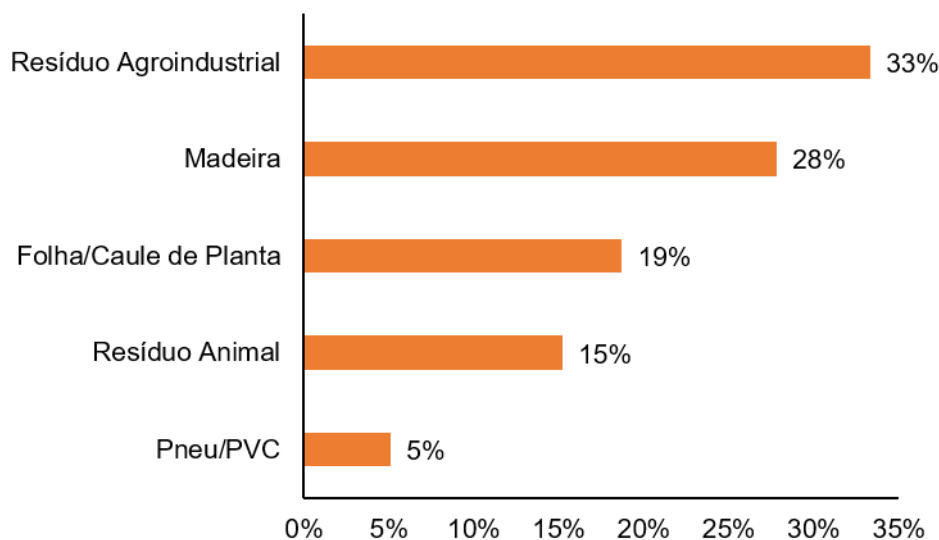
Figura 5 - Resíduos utilizados para a obtenção de biocarvãos em estudos brasileiros (n = 198)



Fonte: Autoria própria (2022)

Diante disso, categorizar estes subprodutos se tornou um aparato de otimização para analisá-los e melhor compreendê-los. Nesse sentido, os resíduos foram divididos em 5 grandes classes (Figura 6).

**Figura 6 - Categoria de resíduos utilizados nos estudos brasileiros (n = 198)**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

O grupo que mais se destaca é o de resíduos que são provenientes da agroindústria com 33%, neste grupo está presente resíduos do tipo casca de banana, de laranja, de castanha do Pará, de café, de algodão, de arroz, torta de mamona, de semente de nabo, de cevada, pericarpo de coco verde, também, bagaço de goiaba, de laranja, de açaí, silagem de sorgo, resíduo de dendê, de babaçu, borra de café, tabaco de cigarro e sabugo de milho.

O grupo das madeiras compreende os resíduos provenientes de eucalipto, cajueiro, pinus, araucária, bambu, embaúba, lacre, ingá, acácia, além de serragem e madeira utilizadas na construção civil, este grupo representa 28%, sendo a segunda classe de resíduos mais utilizado. Os resíduos agrupados em folha/caule de planta, são bagaço de cana-de-açúcar, capins variados, bagaço de laranja, rama de mandioca, aguapé, palha de arroz, estes somados representam 19%. Os resíduos de animais, são aqueles provenientes de cama de frango, lodo de esgoto, esterco de gado/bovino, de galinha/aves e de suínos. Somados compreendem 15% dos estudos analisados. A última categoria engloba apenas pneu e PVC, estes são

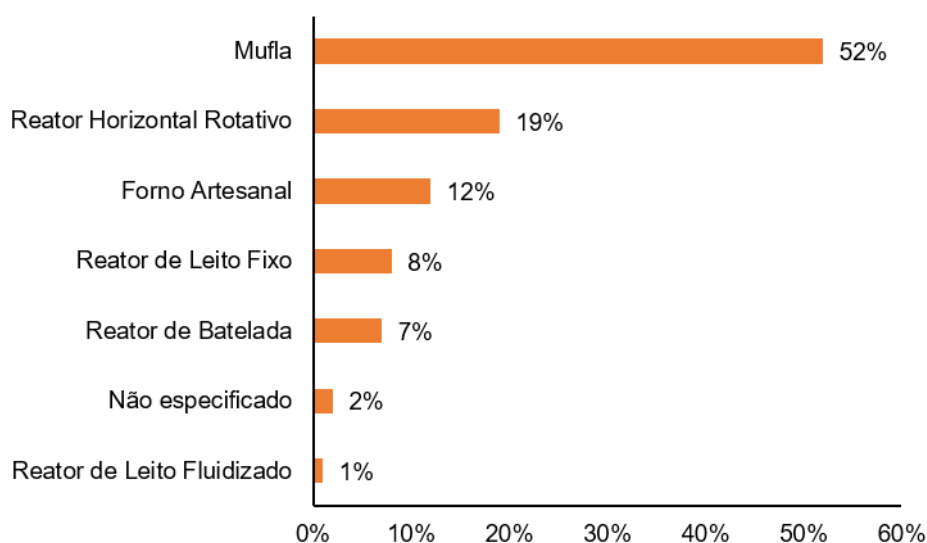
resíduos pneumáticos e de policloreto de vinila, sendo basicamente borracha e plástico e representam os resíduos menos utilizados nos estudos selecionados (5%).

### 5.3 Método de Pirólise

Além do resíduo, é necessário escolher o método de pirólise para a produção de biocarvão, uma vez que possuem diversos equipamentos que podem ser utilizados para carbonizar resíduos, de forma que o volume que esses equipamentos podem produzir e a disponibilidade deles, é o que influencia na escolha.

Os métodos de pirólise para a produção de biocarvões no Brasil são apresentados na Figura 7, conforme estudos selecionados.

**Figura 7 - Métodos de pirólise para a produção de biocarvões no Brasil (n = 198)**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

O método mais utilizado é a pirólise através do forno mufla, com 52%. Este método consiste em aquecimento dos resíduos em recipientes cilindros fechados que previnem o fluxo de  $O_2$  e permitem a saída dos gases gerados na pirólise, criando uma atmosfera livre de  $O_2$ .

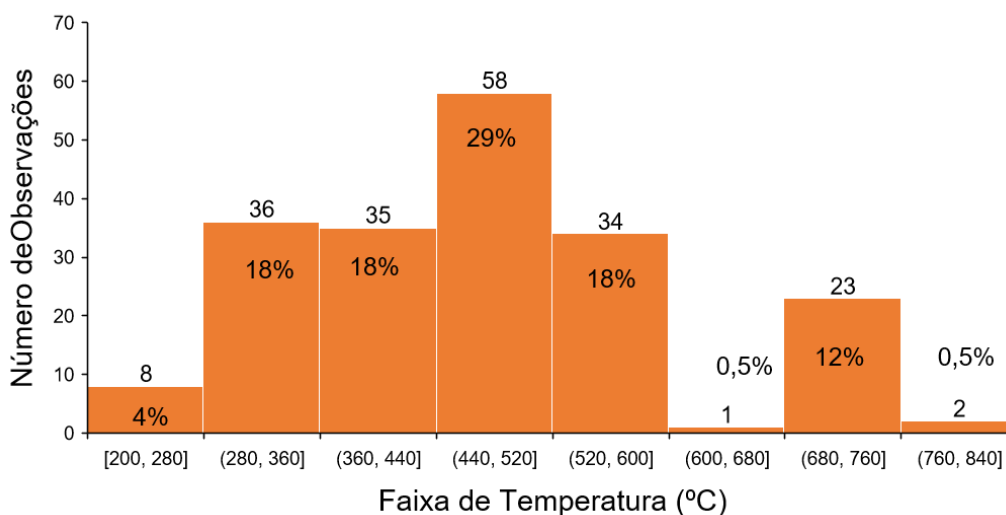
Considerando a escala experimental da maioria dos trabalhos, o forno mufla é um dos mais utilizados devido a maior facilidade de operação e por ser um equipamento muito comum em laboratórios de universidade. O mesmo processo de

produção pode ser aplicado em forno artesanal (12%), reator de batelada (7%), leito fluidizado (1%), horizontal rotativo (19%), de leito fixo (8%) e não especificados (2%).

#### 5.4 Temperatura de Pirólise

Além do método de pirólise, é necessário verificar a temperatura utilizada no processo, uma vez que ela influencia nas características dos biocarvões e no teor de carbono fixo e material volátil (PAN *et al.*, 2020). O aumento na temperatura de pirólise diminui o teor de carbono fixo e favorece a formação de poros dentro do biocarvão e ajuda a aumentar a área superficial específica. Os dados sumarizados e categorizados são apresentados na Figura 8.

**Figura 8 – Número de estudos por faixa de temperatura utilizada no processo de pirólise (n = 198)**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

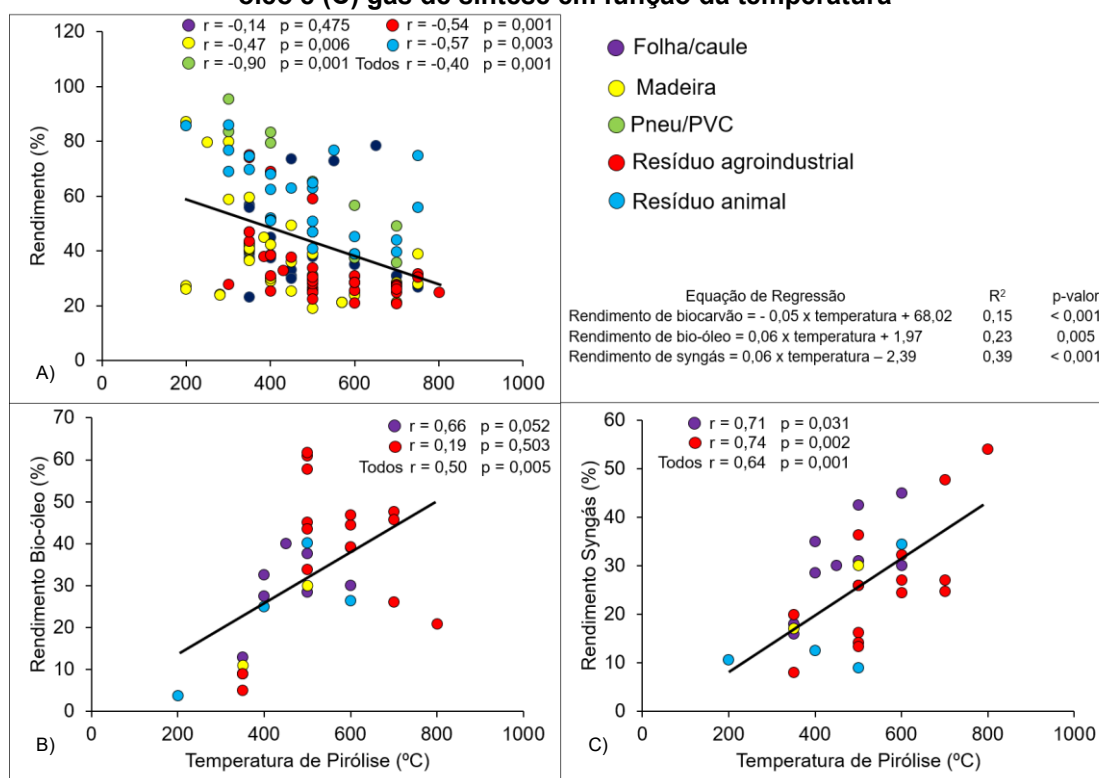
As temperaturas mais utilizadas variam de 280 a 440 °C e 520 a 600 °C, as temperaturas mais altas ou mais baixas são menos utilizadas na produção de biocarvão. A escolha da temperatura influencia nos rendimentos, pois estes são menores quando a carbonização é feita à maior temperatura (SANTOS *et al.*, 2015; PAULINO *et al.*, 2019; PAN *et al.*, 2020).

A estabilidade térmica do material também aumenta com a temperatura de pirólise, outros efeitos que são verificados influenciados pela pirólise é a diminuição da relação H/C e aumento da relação C/N, em alguns casos (PAN *et al.*, 2020).

## 5.5 Relações entre Temperatura de Pirólise e Rendimento

A relação entre a temperatura de pirólise e os atributos dos biocarvões é apresentada na Figura 9A. Ao analisar o conjunto de dados totais, tem-se uma correlação de - 0,40 entre temperatura e rendimento ( $p < 0,05$ ). Essa correlação negativa ocorre na maioria dos grupos (madeira = - 0,47; pneu/PVC = - 0,90; resíduo agroindustrial = - 0,54 e resíduo animal = - 0,57) e reflete sobretudo a perda de material volátil, que aumenta conforme a temperatura de pirólise aumenta (PAULINO, *et al.*, 2019).

**Figura 9 - Regressão e correlação de Person entre rendimento de (A) biocarvão, (B) bio-óleo e (C) gás de síntese em função da temperatura**



Fonte: Autoria própria (2022)

Quanto ao rendimento do bio-óleo (Figura 9B), houve apenas correlação no conjunto total de dados de 0,50 ( $p < 0,05$ ). Para o gás de síntese (Figura 9C) a

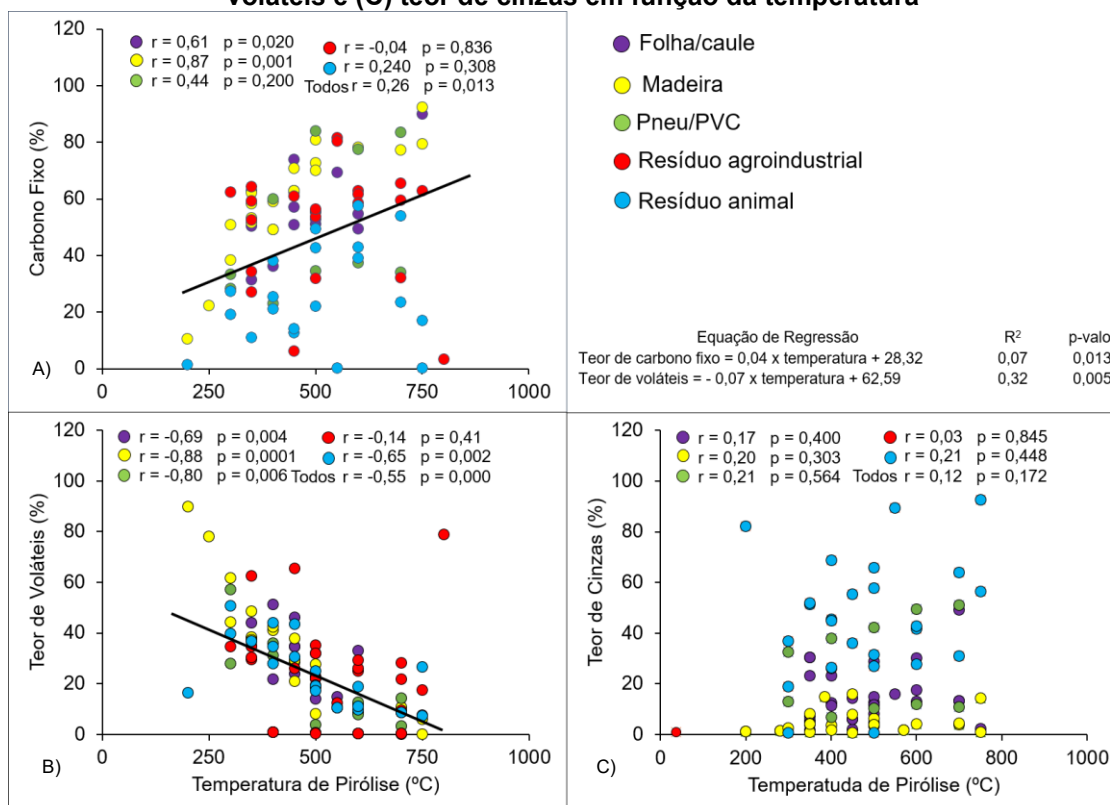
correlação com todos os dados foi de 0,64 ( $p < 0,05$ ), enquanto nos demais grupos houve uma correlação positiva (folha/caule = 0,71 e resíduo agroindustrial = 0,74). Uma vez que o aumento de temperatura propiciou o aumento no rendimento de líquido e do gás, concomitante com a diminuição no rendimento de carvão, para melhor verificar essa relação, uma vez a que a mesma depende da tipologia do resíduo, seria necessário entender o perfil termogravimétrico para verificar o comportamento da degradação do resíduo (GONÇALVES *et al.*, 2014).

Estudos indicam que a composição do bio-óleo tem como origem composto principalmente celulose, hemicelulose, lignina e pequenas quantidades de outros orgânicos que são determinados como os elementos de carbono, hidrogênio e oxigênio e possui um alto conteúdo de energia, levando a um produto com características de compostos orgânicos que pertencem aos alcanos, hidrocarbonetos aromáticos, derivados de fenol e pequenas quantidades de cetonas, ésteres, éteres, açúcares, aminas e álcoois (ISAHAK *et al.*, 2012). De forma que a quantidade e qualidade deste produto depende da tecnologia empregada (ÁLVAREZ-CHÁVEZ *et al.*, 2019), podendo ser empregado como um dos substitutos do petróleo, participando diretamente da geração de energia (elétrica e térmica) e como componente na produção de combustíveis e uma série de produtos químicos (BASU, 2018). Enquanto o gás de síntese, este apresenta compostos majoritariamente por CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, podendo ser aproveitado como agente fluidizante ou equivalente do gás natural (ÁLVAREZ *et al.*, 2015).

## **5.6 Relações entre Temperatura de Pirólise e Carbono Fixo, Teor de Voláteis e Teor de Cinzas**

A relação entre temperaturas de pirólise e carbono fixo são apresentadas na Figura 10A. O conjunto total de dados apresentou correlação positiva de 0,26 ( $p < 0,05$ ), o mesmo sendo observado nas classes de folha/caule = 0,61 e madeira = 0,87.

**Figura 10 - Regressão e correlação de Person entre (A) carbono fixo, (B) teor de voláteis e (C) teor de cinzas em função da temperatura**



Fonte: Autoria própria (2022)

Para o de teor de voláteis (Figura 10B), ao analisar o conjunto de dados totais tem-se uma correlação de -0,55 quando comparado com a temperatura ( $p > 0,05$ ). Essa correlação negativa é observada na maioria dos grupos (folha/caule = -0,69; madeira = -0,88; pneu/PVC = -0,80 e resíduo animal = -0,65). O material volátil está ligado com a facilidade da queima dos componentes da matéria prima, de forma que isso produz biocarvões com menores teores de carbono fixo, que por sinal, este possui uma relação direta com a temperatura de pirólise, logo altas temperaturas levam a altos índices de carbono fixo (RÓZ *et al.*, 2015). As respostas positivas quanto aos valores de carbono fixo em relação à temperatura de pirólise ocorrem porque, no processo térmico além da perda de água, outros compostos não condensáveis também são desprendidos em altas temperaturas, tais como o monóxido e o dióxido de carbono. Além de que os principais constituintes da biomassa que são carbono, hidrogênio e oxigênio são volatilizados durante a desidratação e a pirólise, resultando em um aumento do teor fixo de carbono (YANG *et al.*, 2007; RÓZ *et al.*, 2015).

Ao aplicar a análise de correlação nos dados referente ao teor de cinza, todas as classes apresentaram  $p > 0,05$ , de forma que não há correlação da temperatura com os valores desses atributos.

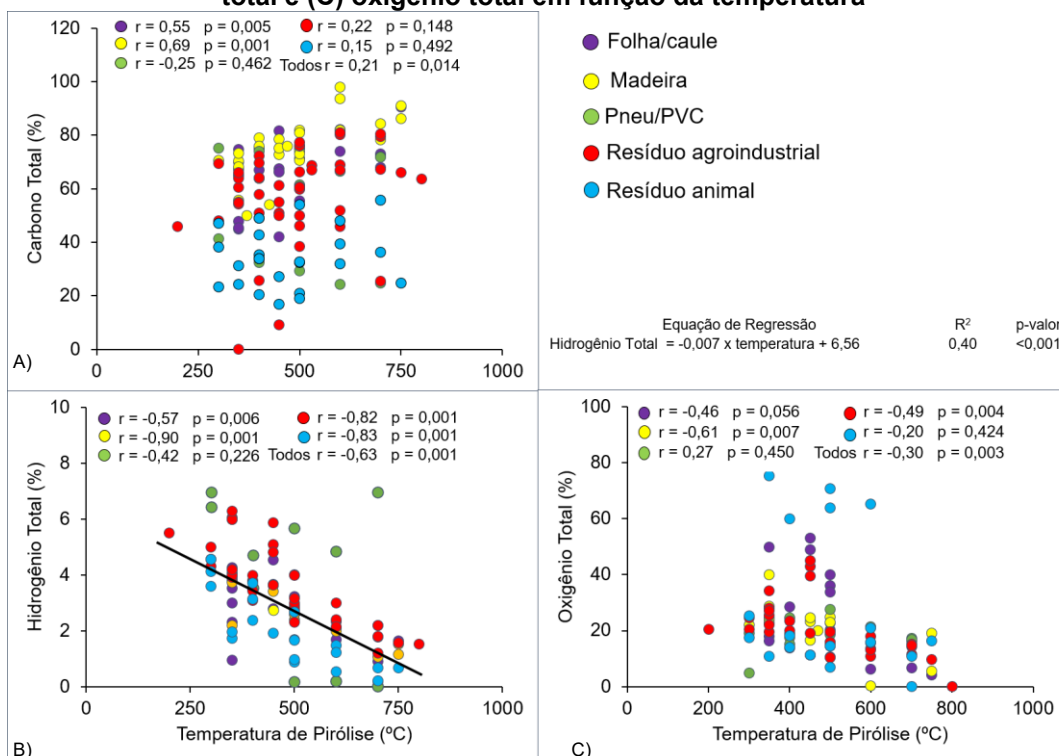
### **5.7 Relações entre Temperatura de Pirólise e Carbono Total, Oxigênio Total e Hidrogênio Total**

Referente ao carbono total (Figura 11A), as mesmas classes referentes ao carbono fixo que apresentaram correlação ( $p < 0,05$ ), sendo folha/caule = 0,65, madeira = 0,69 e todos os grupos = 0,21. O hidrogênio total (Figura 11B) apresenta correlação negativa ( $p < 0,05$ ) para todos os grupos ( $r = - 0,63$ ), o mesmo é observado nos demais grupos (folha/caule = - 0,57; madeira = - 0,90; resíduos agroindustriais = - 0,82 e animais = - 0,83). A presença de H no biocarvão após sofrer o processo térmico diminui, entretanto, esse material quando presente no biocarvão aumenta a resistência à degradação microbiana no solo (FIGUEREDO *et al.*, 2017).

No gráfico é possível verificar que entre nas temperaturas de 300 °C e 500 °C, é a faixa que apresenta maiores concentrações de H, de forma que o teor de H varia inversamente com o aumento da temperatura de pirólise.



**Figura 11 - Regressão e correlação de Person entre (A) carbono total, (B) hidrogênio total e (C) oxigênio total em função da temperatura**



Fonte: Autoria própria (2022)

O oxigênio total (Figura 11C), apresentou correlação negativa ( $p < 0,05$ ) no conjunto de todos os dados ( $r = -0,30$ ), as demais classes que apresentaram correlação foram madeira =  $-0,61$  e resíduos agroindustriais =  $-0,49$ , os teores dessas classes que apresentam correlação ficaram acima de 20% para temperaturas que variaram de 300 °C e 500 °C.

Nesse sentido, a remoção de diferentes elementos (C, H, O) e outros compostos voláteis resulta em proporções O/C e H/C variáveis no biocarvão, uma vez que as proporções desses elementos se correlacionam diretamente com a aromaticidade, biodegradabilidade e polaridade, que são propriedades altamente desejáveis para a remoção de poluentes orgânicos (CROMBIE *et al.*, 2013).

Tal como, biocarvões produzidos em temperatura mais alta, possuem proporções de H/C e O/C mais baixas do que em uma temperatura mais baixa, indicando um aumento gradual na aromaticidade e diminuição na polaridade com o aumento da temperatura.

De forma, que em menores proporções de H/C, ocasionam uma alta na aromaticidade, e os biocarvões apresentam maior residência a degradação quando

comparado com a matéria prima inicial sem o processo térmico (TRAZZI *et al.*, 2018).

Como consequência disso, o biocarvão se torna um material mais estável (recalcitrante), favorável ao processo denominado sequestro de carbono. Outro fator relacionado a aromaticidade é a composição da biomassa, uma vez que materiais mais lignificados tendem a apresentar maior aromaticidade, dessa forma os biocarvões provenientes de madeira e resíduos agroindústrias apresentam melhor essa característica (VALERO *et al.*, 2011). Enquanto que menores frações de (O+N)/C, apresentam diminuição nos teores de grupos polares.

Assim, menores temperaturas de pirólise favorecem o aumento da relação O/C (SULIMAN *et al.*, 2016; JESUS *et al.*, 2019) e facilitam as interações hidrofóbicas, enquanto o aumento da razão O/H favorece interações com compostos orgânicos polares (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Esse tipo de informação é verificado através do diagrama de Van Krevelen, uma vez que este método consiste em avaliação gráfica entre o índice de hidrogênio em função do índice de oxigênio (VAN KREVELEN, 1950).

Alguns materiais são mais propensos a produzir óleo durante processos térmicos. Um exemplo são algas que possuem alto teores de hidrogênio e baixo de oxigênio, em oposição a materiais lenhosos que são ricos em oxigênio e pobres em hidrogênio, sendo consideradas boas fontes para a obtenção de carvão (SPIGOLON *et al.*, 2011).

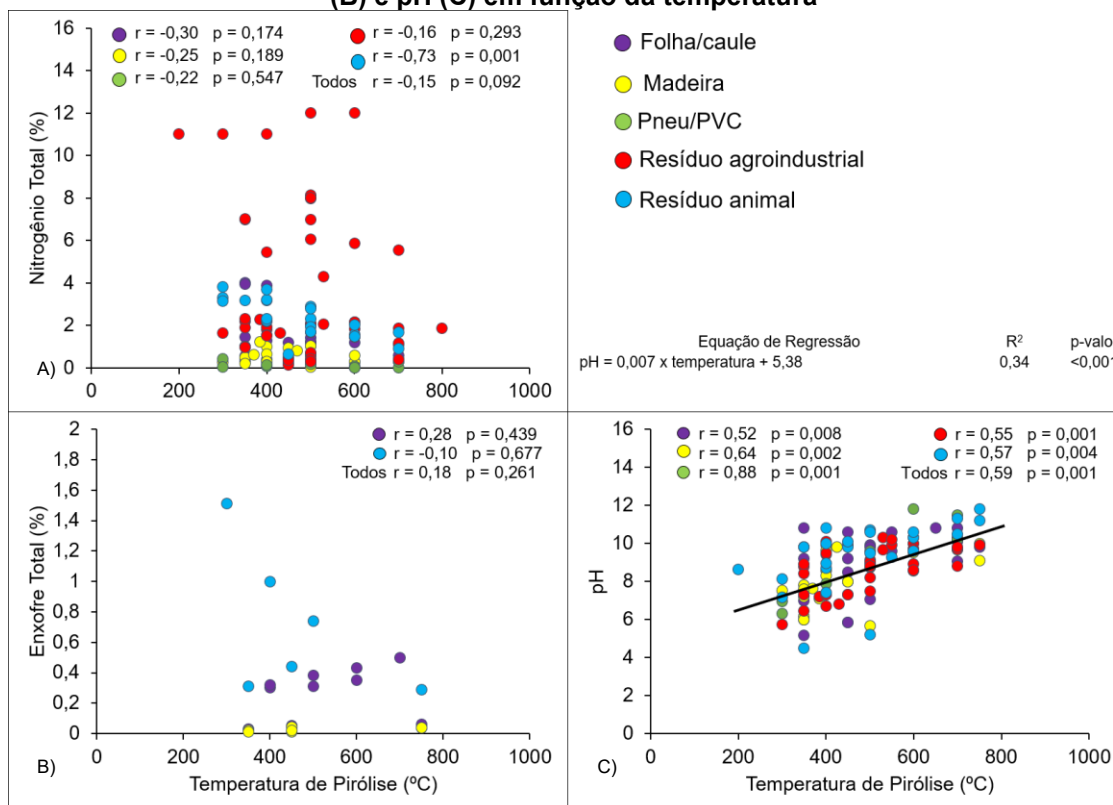
Logo, essas características são importantes para a caracterização dos biocarvões à medida que indica o conteúdo orgânico e sua interação com moléculas ou compostos polares e não polares.

## **5.8 Relações entre Temperatura de Pirólise e Nitrogênio Total, Enxofre Total e pH**

A variação nos teores de nitrogênio (Figura 12A) pode estar relacionada com a composição da matéria prima, uma vez que resíduos animais apresentem maiores concentrações de nitrogênio, sendo esta a única classe que apresentou correlação ( $p > 0,05$ ) entre temperatura e nitrogênio total ( $r = - 0,73$ ).

Dessa forma, altas temperaturas de pirólise levam a baixas concentrações N, nos biocarvões produzidos, esta baixa concentração indica a presença de compostos de nitrogênio com estruturas dificilmente decomposto na temperatura de pirólise escolhida (FIGUEREDO, *et al.*, 2017).

**Figura 12 - Regressão e correlação de Pearson entre nitrogênio total (A), enxofre total (B) e pH (C) em função da temperatura**



Fonte: Autoria própria (2022)

Em relação ao pH (Figura 12C), todas as classes apresentam uma correlação ( $r = 0,59$  e  $p < 0,05$ ), de forma que a temperatura influencia no pH, uma vez que baixas temperaturas durante o processo de pirólise resultou em biocarvões com pH ácido, enquanto materiais alcalinos são obtidos quando altas temperaturas são empregadas.

Como na maioria dos estudos, tende-se melhorar as qualidades de solos, opta-se por biocarvões de pH alcalino para que possa ser um aliado na correção da acidez do solo, sendo assim quase todos os pH dos estudos selecionados se encontram na faixa acima de 7.

Ao aplicar a análise de correlação nos dados referente ao enxofre total (Figura 12B), todas as classes apresentaram  $p > 0,05$ , de forma que não há correlação da temperatura com os valores desses atributos.

### 5.9 Caracterização dos Biocarvões

Dentre os parâmetros avaliados, os resultados observados para o material volátil não mostraram uma tendência clara quanto a influência da lavagem. Os biocarvões que apresentaram maiores teores de material volátil, superior a 50%, foram biocarvão de bagaço de laranja a 300 °C independente do pós-tratamento e o biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar a 300 °C com lavagem (Tabela 3).

O material volátil tende a ser liberado em temperaturas mais elevadas (PAULINO, *et al.*, 2019) e apresenta relação com a facilidade de queima do material, resultando em biocarvões com menor teor de carbono fixo. Assim, quanto maior a temperatura definida para o processo de pirólise, maior a liberação de materiais voláteis.

**Tabela 3 – Valores médios de porcentagem de material volátil, carbono fixo e cinza de biocarvões conforme cada tratamento aplicado**

Tratamento	Material volátil	Carbono fixo	Cinza
	----- % -----		
C300	40,5 ab	54,1 ab	3,6 e
CL300	50,8 a	43,5 ab	3,6 e
C500	39,8 ab	53,4 ab	4,9 de
CL500	32,9 ab	61,4 a	4,2 e
L300	53,6 a	38,3 b	6,4 cd
LL300	54,8 a	35,9 b	7,2 bc
L500	32,1 ab	57,7 ab	8,4 ab
LL500	24,5 b	64,1 a	9,3 a

**Fonte: Autoria própria (2022)**

No geral, o teor de carbono fixo atingiu valores altos em todas as amostras, tendo como destaque a amostra de biocarvão produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar e laranja, ambos produzidos a 500 °C com lavagem, cujos teores foram superiores a 60% (Tabela 3).

Observa-se que os valores de carbono fixo em biocarvões são diretamente relacionados à temperatura de pirólise, tal como verificado no trabalho de Roz *et al.*

(2015), e também a partir dos dados obtidos na revisão sistemática, ou seja, quanto maior a temperatura utilizada, maiores são os teores de carbono fixo.

A resposta positiva do carbono fixo em relação à temperatura ocorre porque com o aumento da temperatura ocorre a perda de água higroscópica e compostos como CO e CO<sub>2</sub> que são volatilizados durante o processo de pirólise (YANG *et al.*, 2007).

Sobre os teores de cinza, a variação foi de 3,6 a 9,3 % (Tabela 3). Na maioria dos casos houve aumento do teor de cinza com o aumento da temperatura para ambos os resíduos, e a lavagem não apresentou efeito na diminuição deste parâmetro. As cinzas estão relacionadas com o conteúdo de óxidos, sobretudo os de Ca, Mg e K, que apresentam a capacidade de neutralizar o pH (WOICIECHOWSKI *et al.*, 2018), além de sais solúveis presentes no material. Entretanto, o pH observado nos diferentes biocarvões apresentou pouca variação (9,1 – 10,0) (Tabela 4), não refletindo o teor de cinza, uma vez que em amostras com menores teores de cinza esperava-se menor valor de pH.

A condutividade elétrica aumentou em todos os casos com o aumento da temperatura e diminuiu após a lavagem dos biocarvões (Tabela 4). Isso pode estar relacionado com a composição das cinzas, formadas em grande parte por sais solúveis (FEITOSA, *et al.*, 2020) que geram condução de corrente elétrica.

**Tabela 4 – Valores médios de pH e condutividade elétrica dos biocarvões conforme cada tratamento aplicado**

Tratamento	pH	Condutividade elétrica (us cm <sup>-1</sup> )
C300	9,1 b	610 bc
CL300	9,1 b	412 c
C500	9,9 a	1.201 b
CL500	10,2 a	662 bc
L300	9,7 ab	929 b
LL300	9,9 a	741 bc
L500	9,5 ab	2.280 a
LL500	10,0 a	1.954 a

**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Quanto ao rendimento gravimétrico (Tabela 5), os biocarvões que foram submetidos a uma rampa de aquecimento de 300 °C apresentam um rendimento superior a 40%, enquanto nos biocarvões produzidos a 500 °C o rendimento foi de 23 e 29%.

**Tabela 5 – Valores médios do rendimento dos biocarvões conforme rampa de aquecimento**

Tratamento	Rendimento (%)
C 300	40,8 a
C 500	23,0 b
L 300	44,1 a
L 500	29,1 b

Fonte: Aatoria própria (2022)

Isso se deve ao fato do tipo de material e, sobretudo, da temperatura uma vez que há perda de substâncias químicas de maneira gradativa quando o material é submetido ao aquecimento Róz *et al.* (2015), também observaram menores rendimentos quando os materiais utilizados para a obtenção dos biocarvões foram submetidos a temperaturas mais elevadas, conformando que a perda de material volátil tende a ser maior quanto maior for a temperatura (PAULINO, et al., 2019).

### 5.10 Características Mineralógicas dos Solos

Pode-se definir o solo como sendo corpos naturais formados pela desagregação das rochas, de forma que isso confere características únicas a cada tipo de solo. Sendo assim, eles são classificados de diversas formas, como quanto à textura e à presença de areia ou argila em sua composição, e esta é influenciada pelos elementos presentes neles (MEURER, 2017).

Devido à grande extensão territorial do Brasil é possível verificar diversos tipos de solos. Dessa forma, para o desenvolvimento desta pesquisa optou-se por utilizar 4 amostragens de solos cuja composição mineralógica favorece a retenção de fósforo.

Esses solos são classificados como Latossolos, que são constituídos predominantemente por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm ou 300 cm da superfície do solo. Os Latossolos são distribuídos por todo território nacional, sendo a principal classe de solo de ocorrência no Brasil. São encontrados em ambientes tropicais (quente e úmido) e de forma que no geral apresentam altas quantidades de óxidos e tem uma alta capacidade de adsorção de P (POGGERE *et al.*, 2020).

Esses óxidos são principalmente óxidos de Fe e de Al. Como principal representantes dos óxidos de Fe temos a hematita e a goethita e como representante dos óxidos de Al a gibssita. Portanto, o solo 1 e solo 2 apresentam maior proporção de hematita por serem desenvolvidos de rochas mais ricas em Fe, uma vez que a formação de hematita e goethita (ambos óxidos de Fe) segue rotas diferentes. Enquanto para a formação de hematita é necessário maior teor de Fe no material de origem, boa drenagem e menor teor de matéria orgânica (KÄMPF *et al.*, 2012) a formação de goethita é favorecida em condições contrárias às descritas.

Além disso, os demais componentes desses solos, fazem com que eles sejam diferentes, de forma que o no solo 1 não há presença de gibssita (Gb), um oxido de alumínio e apresenta menor teor de argila.

Já o solo 3 e 4, apresentam maiores proporções de goethita (Gt), também sendo considerado um óxido de ferro, de forma que o componente que os diferencia é a que no solo 3 não há gibssita (Gb) e os teores de argilas são maiores, quando comparado aos solos 1 e 2.

Como já citado anteriormente, os solos objetos de pesquisa deste estudo, são considerados solos tropicais e/ou subtropicais, nos quais apresentam quantidades significativas de óxidos, que fazem com que possuem uma alta capacidade de adsorção de fósforo (P).

Nesse sentido, os principais responsáveis pela adsorção de P, são goethita (Gt) e hematita (Hm) (FINK *et al.*, 2016). Dessa forma, os teores desses óxidos de ferro nos solos, dependem de teor de ferro no material de origem e do grau de alteração dos solos.

Quanto mais avançado o estágio de intemperismo, maior a concentração de óxido de ferro no solo, sendo o caso dos 4 solos selecionados para este estudo. Portanto, os solos das regiões tropicais e subtropicais fixam quantidades apreciáveis de fósforo, por apresentarem como minerais predominantes hematita, goethita, gibssita e caulinita.

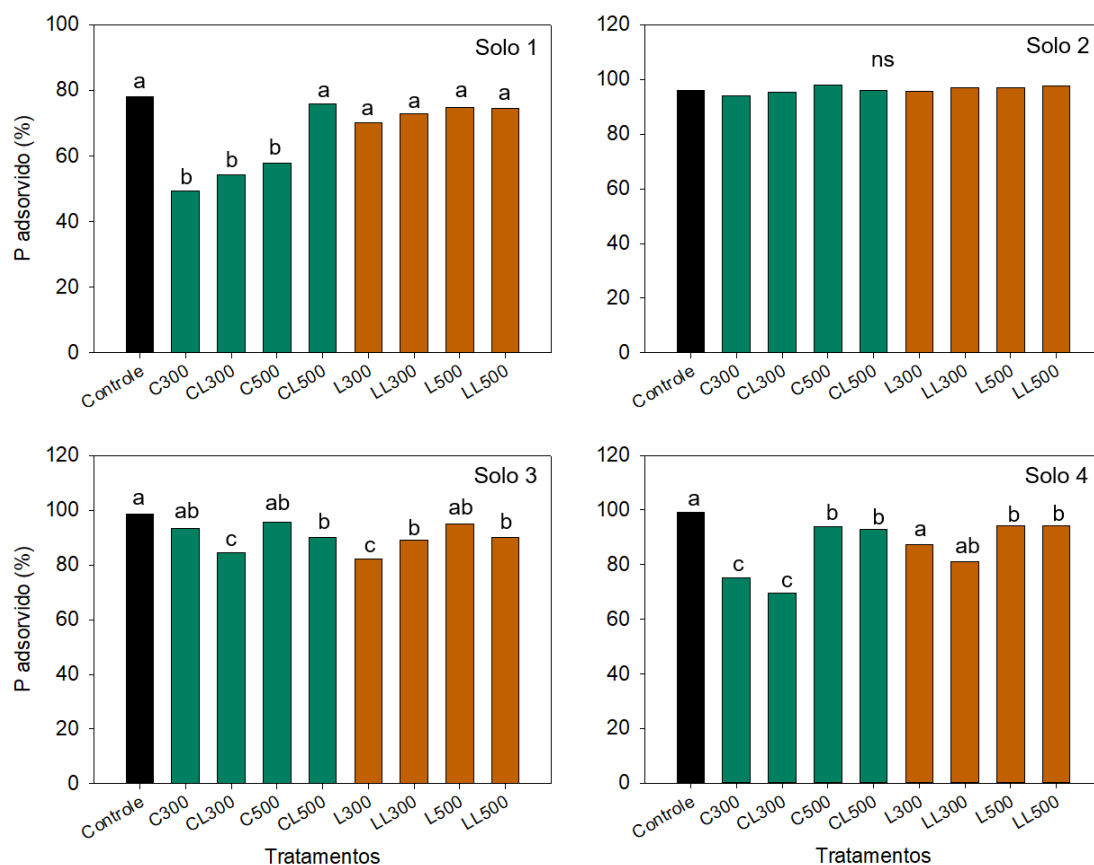
As características da adsorção específica do ânion fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ou  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) nos solos ácidos ocorre por meio do complexo de esfera-interna nas superfícies dos óxidos de ferro e alumínio. Essas reações adquirem maior importância à medida que mais sítios entram em contato com o fósforo e aumenta o tempo de reação (MEURER, 2017).

### 5.11 Adsorção de Fósforo em Solos com Mineralogia Contrastante

O processo de adsorção pode ser entendido como um processo físico-químico em que as moléculas, átomos ou íons ficam retidos na superfície de uma substância, em geral, substâncias sólidas, neste caso o biocarvão ou os colóides do solo.

A porcentagem de P adsorvido nos diferentes solos e suas respectivas diferenças estatística são apresentadas na Figura 13. Com exceção do solo 2, os demais apresentaram diferença na retenção de P após aplicação de biocarvão.

**Figura 13 - Teores de P adsorvido em solos com mineralogia contrastantes misturados com biocarvão**



Fonte: Autoria própria (2022)

Médias seguidas da mesma letra não diferirem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo.

Observa-se que há diferenças no P adsorvido com aplicação de biocarvão e essa resposta variou de acordo com o solo, indicando influência da mineralogia.



O processo de adsorção de P em solos com mineralogia contrastante apresentou os seguintes resultados, para o solo 1, que apresenta teores de Hm e não há presença de Gb, os biocarvões de cana-de-açúcar produzidos a 300 °C e 500 °C, demonstram diminuir a retenção de P comparado ao controle. No solo 2, que é um solo com presença de Hm e Gb, não houve efeito da aplicação de biocarvão, indiferente do material e da temperatura.

O solo 3 que em sua composição apresenta teores de Gt e não há presença de Gb, houve respostas mais variáveis, de forma que os biocarvões CL300 e L300, apresentaram os melhores resultados no que se refere a diminuição no processo de retenção de P. Por fim, tem-se o solo 4, os biocarvões que apresentaram os melhores resultados no processo de diminuição da retenção de P, são o C300 e CL300.

No aspecto temperatura, observa-se que os solos misturados aos biocarvões produzidos a 300 °C, apresentam maiores concentrações de P remanescente, e como consequência menor retenção de P do que os demais.

Esse bom resultado, está relacionado ao fato de que menores temperaturas de pirólise, tendem a aumentar o teor de carbono fixo e desfavorecer a formação de poros nos biocarvões, conforme apresentado na revisão sistemática do capítulo anterior.

Outro fator que pode influenciar, é que o P existente no biocarvão predomina na forma de P inorgânico, sendo ligado diretamente ao teor de cinza, uma vez que no processo de pirólise há a transformação do P orgânico em inorgânico, além de aumento de temperatura resulta no enriquecimento de sais de P solúveis em ácido, exceto em temperaturas superiores em 700 °C, onde começa a ocorrer volatilização de P (DE LUCA, *et al.*, 2009). Esse fato pode explicar os resultados variados quando se considera os biocarvões lavados.

Além do mais, a disponibilidade de P produzida no processo de degradação do biocarvão no solo, tende a diminuir com o aumento de temperatura de pirólise, devido ao aumento da resistência a mineralização (LEHMANN; JOSEPH, 2015). Sendo assim, 300 °C, se torna uma temperatura ideal para que não haja diminuição no processo de disponibilidade de P.

Contudo, cabe ressaltar que o tempo de contato do biocarvão com o solo neste experimento foi de apenas uma semana, sendo assim esse efeito de liberação de P oriundo do próprio biocarvão pode ser considerado nulo.

Quanto ao material utilizado para a obtenção dos biocarvões, aqueles produzidos a partir da cana-de-açúcar apresentaram maiores eficiências, quando comparado com os de bagaço de laranja. Nesse sentido, a natureza da matéria-prima utilizada na pirólise interfere no tipo de complexo formado entre fosfato-cation, importante para a solubilidade e disponibilidade de elementos para as plantas.

Quanto a interação com os óxidos, notou-se que solos que possuem Gt (solos 3 e 4) como principal óxido de Fe, o processo de adsorção ocorre de forma a reter mais P comparado com solos que apresentem a hematita como principal óxido de ferro (CAMARGO *et al.*, 2016) e a aplicação de biocarvão é mais eficiente na diminuição da interação dentre o óxido e o P. Além disso, fatores como o teor de cinza, pH e a temperatura de pirólise dos biocarvões utilizados, podem interferir nessas respostas (XIAO *et al.*, 2018).

A interação com óxidos de Fe ocorre por meio do mecanismo denominado como adsorção por esfera interna através do ânion fosfato com os minerais presentes no solo, uma vez que os solos utilizados são solos intemperizados e a adsorção de P acontece de forma intensa.

Entre os compostos desses solos, tem-se a argila que é a porção mais ativa para esse fenômeno devido a sua alta área superficial específica, ocorrendo em razão da maior densidade de sítios ácidos de Lewis na superfície dos colóides (VILAR *et al.*, 2010).

Nesse contexto, o processo de adsorção de P pela Gt vem sendo estudado por diversos autores que neste aspecto têm encontrado elevação da capacidade máxima de adsorção de P com o aumento do teor de Gt.

Por exemplo, Torrent *et al.* (1990) propõe que a adsorção de P pela Gt é simples e ocorre principalmente na face do cristal. Já para a Hm, alguns autores atribuem a adsorção de P às faces não basais do mineral.

No geral, os estudos apontam que, a presença de Gt eleva mais a adsorção de P quando comparada a de Hm (TORRENT *et al.*, 1994; FONTES, WEED, 1996; VILAR *et al.*, 2010).

Por outro lado, a equiparação dos teores de óxidos de Al com o processo de adsorção de P pode ser maior ou equivalente a dos óxidos de Fe (EBERHARDT *et al.*, 2008; BARBIERI *et al.*, 2009; POZZA *et al.*, 2009).

Surgindo assim, outro mineral que se torna importante nestes processos e solos, a caulinita, que pode apresentar baixa ou elevada participação na adsorção de P (ROLIM NETO, *et al.*, 2004; MOREIRA, *et al.*, 2006). Contudo, os solos utilizados neste experimento variaram essencialmente quanto ao conteúdo de óxidos.

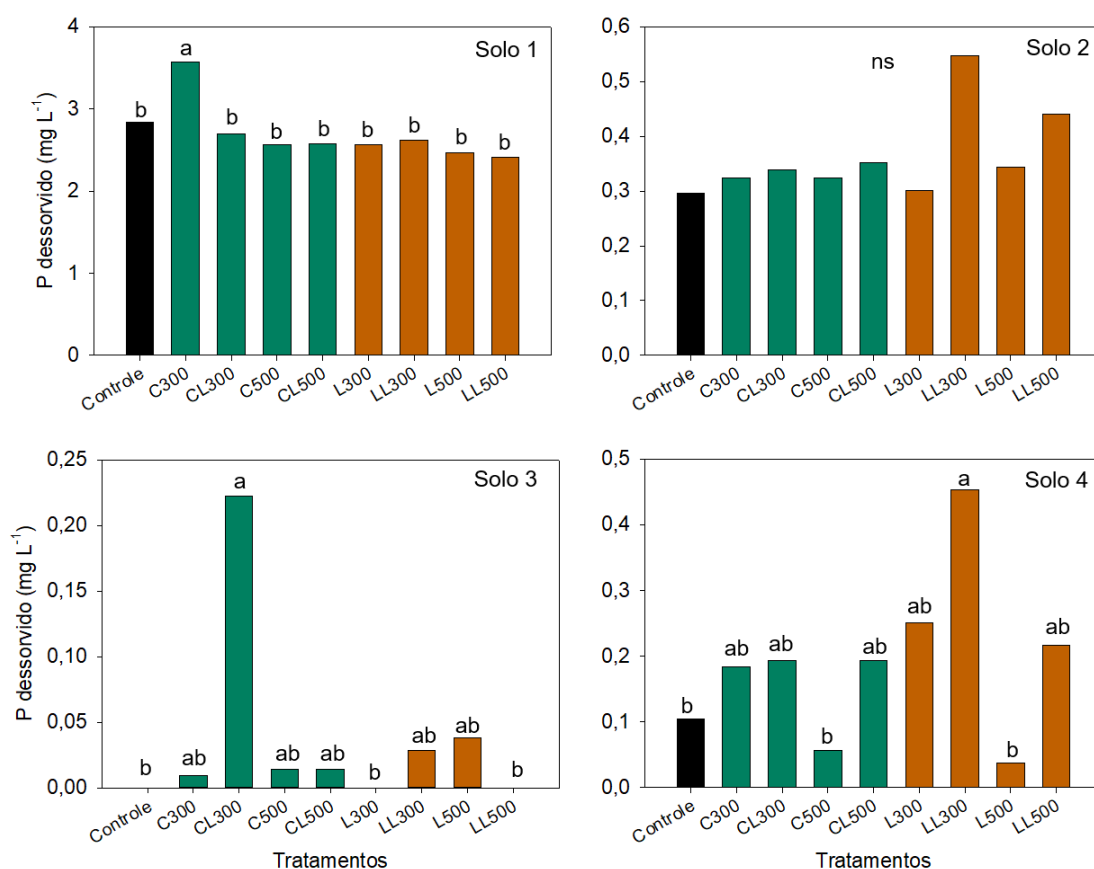
Na literatura, há indicações de que os óxidos de Fe são os principais participantes na elevada da capacidade máxima de adsorção de P dos solos (VILAR, *et al.*, 2010), todavia, os resultados do presente estudo reforçam que solos com presença de Gt adsorvem mais P e, portanto, devem ser áreas prioritárias para aplicação de biocarvão, uma vez que observou-se a diminuição nos teores de P retidos, tornando um solo mais eficiente com relação ao aproveitamento de P pelos cultivos (plantas).

### **5.12 Dessorção de Fósforo em Solos com Mineralogia Contrastante**

O processo de dessorção pode ser definido como a liberação de uma substância ou material de uma interface entre uma superfície sólida e uma solução, sendo também considerado o fenômeno oposto à adsorção.

Seu principal objetivo consiste em analisar a possível reutilização do material adsorvente, bem como a capacidade de liberação do adsorvato. Dessa forma, a porcentagem de P dessorvido nas amostras de solo somadas ao biocarvão são apresentadas na Figura 14.

**Figura 14 - Teores de P desorvido em solos com mineralogia contrastantes misturados com biocarvão**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

**Médias seguidas da mesma letra não diferirem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo.**

Nesse sentido, ao observar a figura anterior é possível indicar que os efeitos de desorção ocorreram com maior variação nos solos 3 e 4, que são solos que possuem maiores quantidade de Gt.

Quanto aos biocarvões são de ambos os resíduos obtidos a 300 °C e lavados (CL 300 e LL300). Independente da presença de frações de Gb, a resposta dos biocarvões nesses dois solos, são as melhores em relação ao conjunto.

Esses bons resultados, indicam uma interação mais clara, indicando uma melhor resposta no processo de desorção de P em solos intemperizados que houve a aplicação de biocarvão, de forma a melhorar a dinâmica do P nesses solos, uma vez que o P fica mais disponível e a longo prazo sua liberação em forma de íons ocorre de forma mais fácil.

A dessorção de fósforo é um processo mais importante do que a adsorção para definir a biodisponibilidade de P inorgânico.

Solos dominados por caulinita, Gt e Gb, como os solos utilizados neste estudo, são particularmente suscetíveis ao mecanismo citado acima. Sendo assim, a dessorção de P pode ser definida com um controle primário da biodisponibilidade de P inorgânico (SATO; COMEFORD, 2005).

Contudo cabe ressaltar que outros fatores como o teor de matéria orgânica do solo e o pH, que não foram contemplados pelo presente estudo, também influenciam na dinâmica do P no solo.

Senti falta de um balanço de massas para o fósforo considerando o experimento a fim de explorar mais a partição desse elemento entre a solução e o solo contendo o biocarvão

## 6. CONCLUSÃO

Com base nos estudos selecionados, os principais materiais utilizados para a obtenção de biocarvões no Brasil são aqueles classificados como resíduos agroindústrias, nos quais se destacam cascas e bagaços de frutas, resíduos de dendê, de babaçu, borras de café, sabugos de milho, entre outros. Destes, a aplicação mais comum é a utilização como condicionador de solo, seguida de caracterização.

Os biocarvões mais utilizados para condicionador de solo são provenientes de resíduos caracterizado como agroindustrial, seguido de madeira. Esse tipo de informação vem de encontro com dados que relaciona o Brasil como um dos maiores exportadores de grãos e madeira.

Durante o processo de produção dos biocarvões, a temperatura é um fator que influencia diretamente nas características desse material, sendo está a principal responsável pela variação no rendimento, teor de voláteis, de carbono fixo, carbono total, hidrogênio total, oxigênio total, nitrogênio e pH, verificado por meio da relação estatística com a aplicação da correlação de Pearson, de forma que estas são as características mais estudadas, uma vez que elas determinam a qualidade do biocarvão e seus usos. Sendo assim, a faixa de temperatura mais usual varia de 300 °C a 700 °C, conforme objetivos de produção e utilização.

O aumento de temperatura de pirólise diminuiu o rendimento dos biocarvões, aumentou o teor de carbono fixo, de cinza e da condutividade elétrica, enquanto a lavagem influenciou apenas na diminuição da condutividade elétrica.

Os resultados indicam que em solos com predomínio de goethita à aplicação de biocarvão é mais eficiente no aumento do P remanescente, e pode melhorar a eficiência da utilização do P pelas plantas.

Considerando o material e a temperatura, o biocarvão de cana-de-açúcar obtido a uma temperatura de 300° C quando adicionado ao solo foi o mais eficiente na diminuição do P retido, sobretudo em solos com maiores teores de goethita.

## REFERÊNCIAS

- ABBRUZZINI, T. F.; DAVIES, C. A.; TOLEDO, F. H.; CERRI, C. E. P. Dynamic biochar effects on nitrogen use efficiency, crop yield and soil nitrous oxide emissions during a tropical wheat-growing season. **Journal of environmental management**, v. 252, p. 109638, 2019.
- ADUAN, R. E.; VILELA, M. DE F.; DOS REIS JÚNIOR, F. B. **Os Grandes Ciclos Biogeoquímicos do Planeta**. Embrapa Cerrados, v. 1, p. 1–23, 2005.
- AGEITES - AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. Cana-de-açúcar. **Árvore do Conhecimento**. 2020. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_108\\_22122006154841.html#](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_108_22122006154841.html#)>. Acesso em: 23 out. 2020.
- AHMAD, M.; LEE, S. S.; DOU, X.; MOHAN, D.; SUNG, J.; YANG, J. E.; OK, Y. S. Effects of pyrolysis temperature on soybean stover- and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. **Bioresource Technology**, v. 118, p. 536–544, 2012.
- ALEXANDRINO, A. M.; DE FARIA, H. G.; DE SOUZA, C. G. M.; PERALTA, R. M. Aproveitamento do resíduo de laranja para a produção de enzimas lignocelulolíticas por *Pleurotus ostreatus* (Jack:Fr). **Food Science and Technology**, v. 27, n. 2, p. 364–368, 2007.
- ALVAREZ, J.; AMUTIO, M.; LOPEZ, G.; BILBAO, J.; OLAZAR, M. Fast co-pyrolysis of sewage sludge and lignocellulosic biomass in a conical spouted bed reactor. **Fuel**, v. 159, p. 810-818, 2015.
- ÁLVAREZ-CHÁVEZ, B. J.; GODBOUT, S.; LE ROUX, É.; PALACIOS, J. H.; RAGHAVAN, V. Bio-oil yield and quality enhancement through fast pyrolysis and fractional condensation concepts. **Bio fuel Res. J**, v. 6, n. 4, p. 1054-1064, 2019.
- ANDRADE, C. A. de, BIBAR, M. P. S., COSCIONE, A. R., PIRES, A. M. M., SOARES, Á. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 407-416, 2015.
- BARBIERI, D. M.; JÚNIOR, J. M.; ALLEONI, L. R. F.; GARBUIO, F. J. Hillslope curvature, clay mineralogy, and phosphorus adsorption in an Alfisol cultivated with sugarcane. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 6, p. 819-826, 2009.
- BARBOSA, J. Z.; HUNGRIA, M.; DA SILVA SENA, J. V.; POGGERE, G.; DOS REIS, A. R.; CORRÊA, R. S. **Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil**. *Applied Soil Ecology*, 163, 103913, 2021.

BARBOSA, J. Z.; MOTTA, A. C. V.; CORRÊA, R. S.; MUNIZ, A. W.; MARTINS, G. C.; SILVA L. D. C. R.; TEIXEIRA, W.G.; SCOTT, D.Y.; BROADLEY, M. R. **Elemental signatures of an Amazonian Dark Earth as result of its formation process**. *Geoderma*, 361, 114085, 2020.

BARBOSA, J. Z., POGGERE, G., SILVA, S. H. G., MANCINI, M., MOTTA, A. C. V., & CURTI, N. **National-scale spatial variations of soil magnetic susceptibility in Brazil**. *Journal of South American Earth Sciences*, 108, 103191, 2021.

BASU, P. **Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory**. Academic press, 2018.

CABRINI, M. P.; NARDI, M. C. C. Produção de biocarvão de resíduos de laranja aplicado como adsorvente no tratamento de águas contaminadas com o corante fucsina básica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 101028-101035, 2020.

CAMARGO, L. A., MARQUES JR, J., PEREIRA, G. T., ALLEONI, L. R. F., BAHIA, A. S. R. de S., TEIXEIRA, D. de B. Pedotransfer functions to assess adsorbed phosphate using iron oxide content and magnetic susceptibility in an Oxisol. **Soil Use and Management**, v. 32, n. 2, p. 172-182, 2016.

CANTRELL, K. B.; HUNT, P. G.; UCHIMIYA, M.; NOVAK, J. M.; RO, K. S. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. **Bioresource Technology**, v. 107, p. 419–428, 2012.

CASTRO, A.; BATISTA, N. S.; LATAWIEC, A. E.; RODRIGUES, A.; STRSSBURG, B.; SILVA, D.; ARAUJO, E.; DE MORAES, L. F. D.; GUERRA, J. G.; GALVÃO, G.; ALVES-PINTO, H.; MENDES, M.; DOS SANTOS, J. S.; RANGEL, M. C.; FIGUEREDO, M.; CORNELISSEN, G.; HALE, S. The effects of Gliricidia-derived biochar on sequential maize and bean farming. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 578, 2018.

CHIAM, P. C.; DETRAS, M. C.; MIGO, V. P.; ALFAFARA, C. G. Parametric and optimization studies on the production of nanoscale biochar-NPK fertilizer using sugarcane bagasse-derived biochar as carrier. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 778, n. 1, p. 012079, 2020.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Cana-de-açúcar: Acompanhamento da safra brasileira 2018/2019**. v. 5, n. 4, p. 75, 2019.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTOS. **Levantamento sobre produção de cana-de-açúcar tem início nesta segunda-feira**. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3286-parana-levantamento-sobre-producao-de-cana-de-acucar-tem-inicio-nesta-segunda-feira>>. Acesso em: 9 fev. 2021.



CONDON, L. M.; TURNER, B. L.; CADE-MENUN, B. J. Chemistry and dynamics of soil organic phosphorus. **Phosphorus: Agriculture and the environment**, v. 46, p. 87-121, 2005.

CORTEZ, L. A.; PEREZ, J. M. M.; ROCHA, J. D.; JORDAN, R. A.; MESA, H. R. M. Processamento De Casca E Fibra De Coco Verde Por Carbonização Para Agregação De Valor. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 3, n. 1, p. 21-30, 2009.

CROMBIE, K.; MASEK, O.; SOHI, S. P.; BROWNSORT, P.; CROSS, A. The effect of pyrolysis conditions on biochar stability as determined by three methods. **GcbBioenergy**, v. 5, n. 2, p. 122-131, 2013.

CROPLIFE BRASIL. **Produção de laranjas: Brasil é líder nesse negócio**. 2020. Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/noticias/producao-de-laranjas-brasil-e-lider-nesse-negocio/>>. Acesso em: 9 fev. 2021.

DA SILVA, M. R. F.; QUEIROZ, M. E. L. R.; NEVES, A. A.; DA SILVA, A. A.; DE OLIVEIRA, A. F.; DE OLIVEIRA, R. L.; AZEVEDO, M. M.; PEREIRA, G. A. M. Effect of the incorporation of sugarcane bagasse biochar in leaching and bioavailability of clomazone in soil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 30, n. 11, p. 2386–2394, 2019.

DAMACENO, J. B. D.; LOBATO, A. C. N.; DA GAMA, R. T.; DE OLIVEIRA, D. M.; FALCÃO, N. P. S. Biochar as Phosphorus Conditioner in Substrate for Brazil Nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) Seedling Production in the Central Amazon. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 6, 2019.

DE FIGUEIREDO, C. C.; CHAGAS, J. K. M.; DA SILVA, J.; PÁZ-FERREIRO, J. Short-term effects of a sewage sludge biochar amendment on total and available heavy metal content of a tropical soil. **Geoderma**, v. 344, p. 31-39, 2019.

DE LUCA, T. H. I.; MACKENZIE, M. D.; GUNDALE, M. J. Biochar effects on soil nutrient transformations. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**; London, 2009.

DE SOUZA, R. F.; FAQUIM, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 975–983, 2006.

DELUCA, T. Influence of Biochar on Soil Nutrient Transformations, Nutrient Leaching, and Crop Yield. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 4, n. 5, p. 1-16, 2016.

DEVENS, K. U.; PEREIRA NETO, S., OLIVEIRA, D. L. do A., GONÇALVES, M. S. Characterization of biochar from green coconut shell and Orange peel wastes. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 2, p. 288-294, 2018.

DIAS, Y. N.; SOUZA, E. S.; DA COSTA, H. S. C.; MELO, L. C. A.; PENIDO, E. S.; DO AMARANTE, C. B.; TEIXEIRA, O. M. M.; FERNANDES, A. R. Biochar produced from Amazonian agro-industrial wastes: properties and adsorbent potential of Cd 2+ and Cu 2+. **Biochar**, v. 1, n. 4, p. 389-400, 2019.

DOMINGUES, R. R.; TRUGIHO, P. F.; SILVA, C. A.; DE MELO, I. C. N. A.; MELO, L. C. A.; MAGRIOTIS, Z. M.; SÁNCHEZ-MINEDERO, M. A. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **PloSone**, v. 12, n. 5, p. e0176884, 2017.

DOS SANTOS, S. T. O.; VIEIRA JÚNIOR, C. M.; DA SILVA, A. N.; DO NASCIMENTO JÚNIOR, A. F.; DRUMMOND, A. R. F.; DA SILVA, S. P. R. Potencial energético do biocarvão de pirólise a partir da borra de café. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 48662-48670, 2020.

DOUMER, M. E., RIGOL, A., VIDAL, M., MANGRICH, A. S. Removal of Cd, Cu, Pb, and Zn from aqueous solutions by biochars. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 3, p. 2684-2692, 2016.

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1009-1016, 2008.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA. **TABELA - Produção brasileira de laranja em 2019**. 2019. Disponível em: <[http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/dados/brasil/laranja/b1\\_la\\_ranja.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/laranja/b1_la_ranja.pdf)>. Acesso em: 08 mar. 2021.

ENDLER, L. W.; WOLFART, F.; MANGRICH, A. S.; VIDOTTI, M.; MARCHESI, L. F. Facile method to prepare biochar–NiO nanocomposites as a promisor material for electro chemical energy storage devices. **Chemical Papers**, v. 74, n. 5, p. 1471-1476, 2020.

ERPEN, L.; MUNIZ, F. R.; MORAES, T. S.; TAVANO, E. C. R. Análise do cultivo da laranja no Estado de São Paulo de 2001 a 2015. **Revista IPecege**, v. 4, n. 1, p. 33–43, 2018.

FEITOSA, A. A., TEIXEIRA, W. G.; RITTER, E., REZENDE, F. A. de; KERN, J. Caracterização química de amostras de biocarvão de casca de banana e bagaço de laranja carbonizados a 400 e 600° C. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 4, 2020.

FERRAREZI, R. S. **Uso, ocupação e conservação do solo**. Campinas: Conplant, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.

- FERREIRA, S. D.; MANERA, C.; SILVESTRE, W. P.; PAULETTI, G. F.; ALTAFINI, C. R.; GODINHO, M. Use of biochar produced from elephant grass by pyrolysis in a screw reactor as a soil amendment. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 10, p. 3089-3100, 2019.
- FERREIRA, T.; HANSEL, F. A.; MAIA, C. M. B. F.; GUIOTOKU, M.; CUNHA, L.; BROWN, G. G. Earthworm-biochar interactions: A laboratory trial using *Pontoscolex corethrurus*. **Science of The Total Environment**, v. 777, p. 146147, 2021.
- FIGUEREDO, N. A.; DA COSTA, L. M.; MELO, L. C. A.; SIEBENEICHLERD, E. A.; TRONTO, J. Characterization of biochars from different sources and evaluation of release of nutrients and contaminants1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 3-403, 2017.
- FINK, J. R.; INDA, A. V.; BAVARESCO, J.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAYER, C. Phosphorus adsorption and desorption in undisturbed samples from subtropical soils under conventional tillage or no-tillage. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 179, 198–205, 2016.
- FLEIG, O. P.; RAYMUNDO, L. M.; TRIERWEILER, L. F.; TRIERWEILER, J. O. Study of rice husk continuous torrefaction as a pretreatment for fast pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 154, p. 104994, 2021.
- FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, v. 72, n. 1-2, p. 37-51, 1996.
- FRANCISKI, M. A.; PERES, E. C.; GODINHO, M.; PERONDI, D.; FOLETTI, E. L.; COLLAZZO, G. C.; DOTTO, G. L. Development of CO<sub>2</sub> activated biochar from solid wastes of a beer industry and its application for methylene blue adsorption. **Waste Management**, v. 78, p. 630-638, 2018.
- GARCIA, A. C.; TAVARES, O. C. H.; DE OLIVEIRA, D. F. Biochar as agricultural alternative to protect the rice plant growth in fragile sandy soil contaminated with cadmium. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 29, p. 101829, 2020.
- 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**, 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**, v. 82, p. 39-51, 2012.
- GLASER, B.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W.; RUIVO, M. L. Soil organic matter stability in Amazonian Dark Earths. In: **Amazonian dark earths**. Springer, Dordrecht, p. 141-158, 2003.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, n. 1, p. 37-41, 2001.

GONÇALVES, G. C., FRANZ, R., NAKAMURA, P.K., VEIT, M.T., FIAMETTI, K.G., SILVA, G.M.C. Estudo da pirólise do bagaço de malte para a obtenção de bio-óleo e carvão. In: **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química-COBEQ**. 2014.

GONZAGA, M. I. S.; MACKOWIAK, C.; DE ALMEIDA, A. Q.; DE CARVALHO JUNIOR, J. I. T.; ANDRADE, K. R. Positive and negative effects of biochar from coconut husks, orange bagasse and pine wood chips on maize (*Zea mays* L.) growth and nutrition. **Catena**, v. 162, p. 414–420, 2018.

GRIGOL, N. S.; DOS SANTOS, M. C., BATISTA, M. A. T., DA SILVEIRA, J. P. F., MONTEIRO, C. A. D. S. M. Bovinocultura de corte e SAN: percepção de sustentabilidade de agentes da cadeia. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 26, 2019.

GRUTZMACHER, P.; PUGA, A. P.; BIBAR, M. P. S.; CONSCIONE, A. R.; PACKER, A. P.; ANDRADE, C. A. Carbon stability and mitigation of fertilizer induced N<sub>2</sub>O emissions in soil amended with biochar. **Science of the Total Environment**, v. 625, p. 1459-1466, 2018.

HANKE, D.; DICK, D. P. Estoque de carbono e mecanismos de estabilização da matéria orgânica do solo: uma revisão. **Revista Científica Agropampa**, v. 2, n. 2, p. 171-190, 2019.

HANKE, D.; MELO, V. F.; DIECKOW, J.; DICK, D. P.; BOGNOLA, I. A. Influência da matéria orgânica no diâmetro médio de minerais da fração argila de solos desenvolvidos de basalto no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1611-1622, 2015.

HAVLIN, Jonh L., HAVLIN, J. L., TISDALE, S. L., NELSON, W. L., BEATON, J. **D.Soil Fertility and Fertilizers**. 8. ed. Pearson India, 2016.

HERNANDEZ-MENA, L. E.; PÉCORAA, A. A.; BERALDOB, A. L. Slow pyrolysis of bamboo biomass: analysis of biochar properties. **Chemical Engineering**, v. 37, 2014.

IBGE. **Tabela 1613: Área destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras permanentes**. 2019 Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>>. Acesso em: 23 out. 2020.

IBGE. **Tabela 291: Quantidade produzida e valor da produção na silvicultura, por tipo de produto da silvicultura**. 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/291#resultado>>. Acessoem: 27 abr. 2021.

IBI – INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE. **Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil**. 2015.

ISAHAK, W. N. R. W.; HISHAM, M. W. M.; YARMO, M. A.; YUN HIN, T. A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 16, n. 8, p. 5910-5923, 2012.

JESUZ, C. R.; DE; CABRAL, I. L. L. Análise da erosão laminar em áreas com uso agrícola e pastagem: bacia hidrográfica do rio Tenente Amaral – MT. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 254–279, 2019.

JOSEPH, S., GRABER, ER., CHIA, C., MUNROE, P., DONNE, S., THOMAS, T., NIELSEN, S., MARJO, C., RUTLIDGE, H., PAN, GX, LI, L., TAYLOR, P., RAWAL, A., HOOK, J. Shifting paradigms: development of high-efficiency biochar fertilizers based on nano-structures and soluble components. **Carbon Management**, v. 4, n. 3, p. 323-343, 2013.

KALINKE, C.; MANDRICH, A. S., MARCOLINO-JUNIOR, L. H., BERGAMINI, M. F. Carbon paste electrode modified with biochar for sensitive electrochemical determination of paraquat. **Electroanalysis**, v. 28, n. 4, p. 764-769, 2016.

KÄMPF, N.; MARQUES, J.J.; CURI, N. Mineralogia de solos brasileiros. In: KER, J.C. et al. (eds). **Pedologia - Fundamentos**, Viçosa: SBCS, 2012, p. 81-146.

KAVITHA, B.; REDDY, P. V. L.; KIM, B.; LEE, S. S.; PANDEY, S. K.; KIM, K. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 227, p. 146–154, 1 dez. 2018.

KWON, G.; BHATNAGAR, A.; WANG, H.; KWON, E. E.; SONG, H. A review of recent advancements in utilization of biomass and industrial wastes into engineered biochar. **Journal of Hazardous Materials**, v. 400, n. April, p. 123242, 2020.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: an introduction**. Routledge, 2015.

LEPSCHE, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LI, F.; LIANG, X.; NIYUNGEKO, C.; SUN, T.; LIU, F.; ARAI, Y. Effects of biochar amendments on soil phosphorus transformation in agricultural soils. **Advances in Agronomy**, v. 158, p. 131-172, 2019.

LIMA, J. R. S.; DE GOES, M. C. C.; HAMMECKER, C.; ANTONINO, A. C. D.; DE MEDEIROS, É. V.; SAMPAIO, E. V. S. B.; LEITE, M. C. B. S.; DA SILVA, V. P.; DE SOUZA, E.; SOUZA, R. Effects of Poultry Manure and Biochar on Acrisol Soil Properties and Yield of Common Bean. A Short-Term Field Experiment. **Agriculture**, v. 11, n. 4, p. 290, 2021.

LIMA, S. L.; TAMIOZZO, S.; PETTER, F.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B. Desenvolvimento de mudas de beterraba em substratos comerciais tratados com biochar. **Agrotropica**, v. 25, p. 181-186, 2013.

LIU, J.; JIANG, S.; CHEN, D.; DAI, G.; WEI, D.; SHU, Y. Activation of persulfate with biochar for degradation of bisphenol A in soil. **Chemical Engineering Journal**, v. 381, p. 122637, 2020.

MACHADO, L. M.M.; LUTKE, S. F.; PERONDI, D.; GODINHO, M.; OLIVEIRA, M. L. S.; COLAZZO, G. C.; DOTTO, G. L. Simultaneous production of mesoporous biochar and palmitic acid by pyrolysis of brewing industry wastes. **Waste Management**, v. 113, p. 96-104, 2020.

MANFRIN, J.; GONÇALVES JR., A. C.; SCHWANTES, D.; CONRADI JR., E.; ZIMMERMANN, J.; ZIEMER, G. L. Development of biochar and activated carbon from cigarettes wastes and their applications in Pb<sup>2+</sup> adsorption. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 2, p. 104980, 2021.

MANN, C. C. **The real dirt on rainforest fertility**. 2002.

MAO, J. D.; JOHNSON, R. L.; LEHMANN, J.; OLK, D. C.; NEVES, E.G.; THOMPSON, M. L.; SCHMIDT-ROHR, K. Abundant and stable char residues in soils: implications for soil fertility and carbon sequestration. **Environmental science & technology**, v. 46, n. 17, p. 9571-9576, 2012.

MARRIS, E. Putting the carbon back: Black is the new green. **Nature**, v. 442, n. 7103, p. 624-626, 2006.

MATOS, T. T. S.; MANGRICH, A. S.; CARDOSO, E. M. C.; SCHULTZ, J.; FORNARI, M. R.; WISNIEWSKI JR., A.; CARREGOSA, I. S. Electronpara magneti cresonance (EPR) spectroscopy as a tool for the characterization of biochar from guava waste. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, n. 1, p. 286-295, 2019.

MELO, L. C. A.; COSCIONE, A. R.; ABREU, C. A.; PUGA, A. P.; CAMARGO, O. A. Influence of pyrolysis temperature on cadmium and zinc sorption capacity of sugar cane straw-derived biochar. **Bio Resources**, v. 8, n. 4, p. 4992-5004, 2013.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 6<sup>a</sup> edição, 2017.

MORALES, M. M.; COMEFORD, N.; GUERRINI, I. A.; FALCÃO, N. P. S.; REEVES, J. B. Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar-soil mixtures. **Soil Use and Management**, v. 29, n. 3, p. 306-314, 2013.

MOREIRA, F. L. M.; MOTA, F. O. B.; CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, B. M.; DO BONFIM, G. V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 1, p. 7-12, 2006.

MURPHY, J. A. M. E. S.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica chimica acta**, 27, 31-36. 1962

NOVAK, J. M.; BUSSCHER, W. J.; LAIRD, D. L.; AHMEDNA, M.; WATTS, D. W.; NIANDOU, M. A. S. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. **Soil science**, v. 174, n. 2, p. 105-112, 2009.

NWAJIAKU, I. M.; OLANREWaju, J. S.; SATO, K.; TOKUNARI, T.; KITANO, S.; MASUNAGA, T. Change in nutrient composition of biochar from rice husk and sugarcane bagasse at varying pyrolytic temperatures. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 7, n. 4, p. 269–276, 2018.

OLIVEIRA, D. M., FALCÃO, N. P. S., DAMACENO, J. B. D., GUERRINI, I. A. Biochar Yield From Shell of Brazil Nut Fruit and Its Effects on Soil Acidity and Phosphorus Availability in Central Amazonian Yellow Oxisol. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, n. 3, 2020.

OLIVEIRA, F. R.; PATEL, A. K.; JAISI, D. P.; ADHIKARI, S.; LU, H.; KHANAL, S. Environmental application of biochar: Current status and perspectives. **Bioresource technology**, v. 246, p. 110-122, 2017.

PAN, X.; GU, Z.; CHEN, W.; LI, Q. Preparation of biochar and biochar composites and their application in a Fenton-like process for wastewater decontamination: A review. **Science of the Total Environment**, v. 754, p. 142104, 2020.

PAULINO, E. K.; PINTO, M. A.; MACENA, D. Â.; LIMA, A. C.; SANTANA, E. M. L.; DE SOUZA, J. G.; ALVES, M. R. Biocarvão do biossólido da estação de tratamento de esgoto de Presidente Prudente-SP. In: **Colloquium Exactarum**, p. 46-61, 2019.

PAZ, E. C. S.; PEDROZA, M. M.; DE OLIVEIRA, L. R. A. Alternativa de exploração sustentável dos resíduos do coco verde para a produção de energia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 2, 2017.

PIMENTA, A. S.; MIRANDA, N. O.; DE CARVALHO, M. A. B.; DA SILVA, G. G. C.; OLIVEIRA, E. M. M. Effects of biochar addition on chemical properties of a sandy soil from northeast Brazil. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 12, n. 3, p. 70, 2019.

PINTO, F.; ANTUNES, S. C. Biomanipulação para o controle da eutrofização. **Revista de Ciência Elementar**, v. 8, n. 1, 2020.

POGGERE, G. C.; BARRÓN, V.; INDA, A.; BARBOSA, J. Z.; DE BRITO, A. D. B.; CURTI, N. Linking phosphorus sorption and magnetic susceptibility in clays and tropical soils. **Soil Research**, v. 58, n. 5, p. 430-440, 2020.

POZZA, A. A. A.; CURTI, N.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. G. S. M.; COSTA, E. T. S.; ZULIANI, D. Q.; MOTTA, P. E. F.; MARTINS, R. S.; OLIVEIRA, L. C. A. Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsita pedogenética. **Química Nova**, v. 32, p. 99-105, 2009.

PUGA, A. P., ABREU, C. A., MELO, L. C. A., BEESLEY, L. Biochar application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium. **Journal of environmental management**, v. 159, p. 86-93, 2015.

REZENDE, F. A.; DOS SANTOS, V. A. H. F.; MAIA, C. M. B. F.; MORALES, M. M. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1449-1456, 2016.

RHEINHEIMER, D. S.; SOMAVILLA, A.; OLIVEIRA, L. B.; TIECHER, T. **Ciclo biogeoquímico do fósforo, diagnóstico de disponibilidade e adubação fosfatada**. Porto Alegre: Ed. Autores. p. 71, 2020.

RITTL, T. F.; OLIVEIRA, D. M. S.; CANISARES, L. P.; SAGRILO, E.; BUTTERBACH-BAHL, K.; DANNEMANN, M.; CERRI, C. E. P. High application rates of biochar to mitigate N<sub>2</sub>O emissions from a N-fertilized tropical soil under warming conditions. **Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2021.

RODRIGUEZ, J. A.; FILHO, J. F. L.; MELO, L. C. A.; DE ASSIS, I. R.; DE OLIVEIRA, T. S. Influence of pyrolysis temperature and feedstock on the properties of biochars produced from agricultural and industrial wastes. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 149, p. 104839, 2020.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógico sem solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 953-964, 2004.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2010.

RONSSSE, F.; HECKE, S.; DICKISON, D.; PRINS, W. Production and characterization of slow pyrolysis biochar: influence of feedstock type and pyrolysis conditions. **Gcb Bioenergy**, v. 5, n. 2, p. 104-115, 2013.

ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; SANTAELLA, S.T.; LEITÃO, R.C. Valorização de resíduos da agroindústria. **II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais-II SIGERA**. Foz do Iguaçu, PR, v. 1, p. 98-105, 2011.

RÓZ, A. L.; RICARDO, J. F. C.; NAKASHIMA, G. T.; SANTOS, L. R. O.; YAMAJI, F. M. Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 810-814, 2015.

SANT'ANNA, M. V. S.; CARVALHO, S. W. M. M.; GEVAERD, A.; SILVA, J. O. S.; SANTOS, E.; CARREGOSA, I. S. C., WISNIEWSKI JR., A.; MARCOLINO-JUNIOR,



L. H.; BERGAMINI, M. F.; SUSSUCHI, E. M. Electrochemical sensor based on biochar and reduced graphene oxide nanocomposite for carbendazim determination. **Talanta**, v. 220, p. 121334, 2020.

SANTANA, K. V. R.; APOLÔNIO, F. C. S. O.; WISNIEWSKI, A. Valorization of cattle manure by thermo conversion process in a rotary kiln reactor to produce environmentally friendly products. **Bio Energy Research**, v. 13, n. 2, p. 605-617, 2019.

SANTOS, L. B.; STRIEBECK, M. V.; CRESPI, M. S.; RIBEIRO, C. A.; DE JULIO, M. Characterization of biochar of pine pellet. **Journal of thermal analysis and calorimetry**, v. 122, n. 1, p. 21-32, 2015.

SANTOS, S. R.; FILHO, J. F. L.; VERGUTZ, L.; MELO, L. C. A. Biochar association with phosphate fertilizer and its influence on phosphorus use efficiency by maize. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, 2019.

SATO, M. K.; DE LIMA, H. V.; COSTA, A. N.; RODRIGUES, S.; MOONEY, S. J.; CLARKE, M.; PEDROSO, A. J. S.; MAIA, C. M. B. F. Biochar as a sustainable alternative to açai waste disposal in Amazon, Brazil. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 139, p. 36-46, 2020.

SATO, S.; COMERFORD, N. B. Influência do pH do solo na adsorção e dessorção de fósforo numultisol úmido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 685-694, 2005.

SCHEUFELE, F. B.; DA SILVA, E. S.; CAZULA, B. B.; MARINS, D. S.; SEQUINEL, R.; BORDA, C. E.; PATUZZO, G. S.; LOPEZ, T. F. M.; ALVES, H. J. Mathematical modeling of low-pressure H<sub>2</sub>S adsorption by babassu biochar in fixed bed column. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 1, p. 105042, 2021.

SCHNEIDER, C. F.; SCHULZ, D. G.; LIMA, P. R. Formas De Gestão E Aplicação De Resíduos Da Cana-De-Açúcar Visando Redução De Impactos Ambientais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 2, 2012.

SCHWALM, P. C.; RANGEL, N. L. S. V.; MACIEL, G. P. S. Pirólise de pneus inservíveis para fins energéticos: uma revisão dos produtos de pirólise e suas aplicações. **Revista Liberato: educação, ciência e tecnologia**. Novo Hamburgo, RS. Vol. 21, n. 36 (2020), p. 143-157., 2020.

SEVERO, F. F.; DA SILVA, L. S.; MOSCÔSO, J. S. C.; SARFARAZ, O.; RODRIGUES JÚNIOR, L. F.; LOPES, A. F.; MARZARI, L. B.; MOLIN, G. D. Chemical and physical characterization of rice husk biochar and ashes and their iron adsorption capacity. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 7, p. 1-9, 2020.

SIFAEG – SINDICATO DA INDÚSTRIA DE FABRICAÇÃO DE ETANOL NO ESTADO DE GOIÁS. **Cultivo e Produção de Cana-de-Açúcar**. 2020 Disponível em: <<http://sifaeg.com.br/cursos/cultivo-e-producao-de-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 9 fev. 2021.

SILVA, I. C. B.; BASÍLIO, J. J. N.; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R. A.; FRAZÃO, L. A. Biochar from different residues on soil properties and common bean production. **Scientia Agricola**, v. 74, p. 378-382, 2018.

SILVA, L. C.; CORRÊA, R. S.; WRIGHT, J. L.; BOMFIM, B.; HENDRICKS, L.; GAVIN, D. G.; MUNIZ, A.W.; MARTINS, G.C.; MOTTA, A.C.V.; BARBOSA, J.Z.; MELO, V.F.; YOUNG, S.D.; BROADLEY, M.R.; SANTOS, R. V. **A new hypothesis for the origin of Amazonian Dark Earths**. *Nature communications*, 12(1), 1-11, 2021.

SILVESTRE, W. P.; GALAFASSI, P. L.; FERREIRA, S. D.; GODINHO, M.; PAULETTI, G F.; BALDASSO, C. Fodder radish seed cake biochar for soil amendment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 25, p. 25143-25154, 2018.

SPERATTI, A. B.; JOHNSON, M. S.; SOUZA, H. M.; TORRES, G. N.; COUTO, E. G. Impact of different agricultural waste biochars on maize biomass and soil water content in a Brazilian Cerrado Arenosol. **Agronomy**, v. 7, n. 3, p. 49, 2017.

SPIGOLON, A. L. D.; DOS REIS, R. P. B. P.; PIMENTEL, N. L.; DE MATOS, V. G. A. E. Geoquímica orgânica de rochas potencialmente geradoras de petróleo no contexto evolutivo da Bacia Lusitânica, Portugal. **BolGeoci Petrobras**, v. 19, p. 131-162, 2011.

STEWART, C. E.; ZHENG, J.; BOTTE, J.; COTRUFO, M. F. Co-generated fast pyrolysis biochar mitigates green-house gas emissions and increases carbon sequestration in temperate soils. **Gcb Bioenergy**, v. 5, n. 2, p. 153-164, 2013.

SULIMAN, W.; HARSH, J. B.; ABU-LAIL, N. I.; FORTUNA, A.; DALLMEYER, I.; GARCIA-PEREZ, M. Influence of feedstock source and pyrolysis temperature on biochar bulk and surface properties. **Biomass and Bioenergy**, v. 84, p. 37-48, 2016.

TORRENT, J.; BARRON, V.; SCHWERTMANN, U. Phosphate adsorption and desorption by goethites differing in crystal morphology. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, n. 4, p. 1007-1012, 1990.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRÓN, V. Phosphate sorption by natural hematites. **European Journal of Soil Science**, v. 45, n. 1, p. 45-51, 1994.

TORRES, W. G. A.; COLEN, F.; PANDEY, S.; FRAZÃO, L. A.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A. Phosphorus availability in soil amended with biochar from rice rusk and cattle manure and cultivated with common bean. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, 2020.

TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. V. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 875–887, 2018.

VALERO, N. O. V.; CARRILLO, J. B.; MANCILLA, S. Biotransformação de carbono de baixo alcance por bactérias isoladas de micro habitats influenciados por resíduos de carbono. **Jornal Colombiano de Biotecnologia**, v. 13, n. 1 p. 58-65, 2011.

VAN KREVELEN, D. W. Graphical-statistical method for the study of structure and reaction processes of coal. **Fuel**, v. 29, p. 269-284, 1950.

VIDAL, M. F. **Produção e mercado de etanol**. Caderno Setorial ETENE. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 5, n.122, ago.2020. (Série Caderno Setorial ETENE, n.122).

VILAR, C. C.; DA COSTA, A. C. S.; HOEPERS, A.; DE SOUZA JUNIOR, I. G. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1059-1068, 2010.

VON LIEBIG, J. F. **Complete works on chemistry**. Peterson, 1852.

WANG, J.; LIAO, Z.; IFTHKAR, J.; SHI, L.; DU, Y.; ZHU, J.; XI, S.; CHEN, Z.; CHEN, Z. Treatment of refractory contaminants by sludge-derived biochar/persulfate system via both adsorption and advanced oxidation process. **Chemosphere**, v. 185, p. 754–763, 2017.

WEBER, K.; QUICKER, P. Properties of biochar. **Fuel**, v. 217, p. 240–261, 2018.

WOICIECHOWSKI, T.; LOMBARDI, K. C.; GARCIA, F. A. O.; GOMES, G. S. Nutrientes e umidade do solo após a incorporação de biocarvão em um plantio de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1455-1464, 2018.

XIAO, X.; CHEN, B.; CHEN, Z.; ZHU, L.; SCHNOOR, J. L. Insight into multiple and multilevel structures of biochars and their potential environmental applications: a critical review. **Environmental science & technology**, v. 52, n. 9, p. 5027-5047, 2018.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; HO LEE, D.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, n. 12-13, p. 1781-1788, 2007.

**APÊNDICE A – Planilha com dados da Revisão Sistemática**

## Título: Coleta de dados para análise

Informações do Artigo		Informações sobre a produção do biocarvão				Características do biocarvão																	
Referência	Objetivo do estudo	Resíduo utilizado	Resíduo utilizado	Método pirólise	Temp. de pirólise	RG	Rbio	RSyn	Voláteis	Cinza	C fixo	C total	N total	H total	O total	S total	P total	pH	CTC	Volume de poros	ASE	CE	
			categoria		°C	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	H <sub>2</sub> O	cmolc	cm <sup>3</sup> /g ou mL/g	m <sup>2</sup> /g
Andrade et al., (2015)	Condicionador de solo	Carne de Frango	resíduo animal	Reator de Leito Fixo	400							42,9	3,18		1	2,94		8					
Róz et al., (2015)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	200	87,2			89,9		10,6												
Róz et al., (2015)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	250	79,8			78		22,3												
Róz et al., (2015)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	300	58,9			61,8		38,5												
Róz et al., (2015)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	350	43,2			48,6		51,7												
Róz et al., (2015)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	400	29,1			41,2		59,1												
Róz et al., (2015)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	450	25,4			38		62,4												
Róz et al., (2015)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	500	19			27,6		72,8												
Paulino et al., (2019)	Caracterização	Lodo de Esgoto	resíduo animal	mufia	200	85,7	3,72	10,57	16,43	82,21	1,36							8,63	13,2			0,37	
Paulino et al., (2019)	Caracterização	Lodo de Esgoto	resíduo animal	mufia	550	76,79			10,43	89,35	0,22							9,29	2,5			0,32	
Paulino et al., (2019)	Caracterização	Lodo de Esgoto	resíduo animal	mufia	750	74,92			7,21	92,6	0,19							11,19	2,5			0,41	
Feitosa et al., (2020)	Caracterização	Casca de Banana	agroindustrial	Reator em batelada	400					36		51	1,8					9,4				12,6	
Feitosa et al., (2020)	Caracterização	Casca de Banana	agroindustrial	Reator em batelada	600				48		46	1,83						10				15,5	
Feitosa et al., (2020)	Caracterização	Casca de Laranja	agroindustrial	Reator em batelada	400				11		58	1,92						10,1				1,88	
Feitosa et al., (2020)	Caracterização	Casca de Laranja	agroindustrial	Reator em batelada	600				16		69	1,46						10,3				5,8	
Damaceno et al., (2019)	Condicionador de solo	Ouriço da castanha-do-pará	agroindustrial	forno artesanal	500								7			1,4	0,6	9					
Pimenta et al., (2019)	Condicionador de solo	Madeira de Cajueiro	madeira	forno artesanal	450				21	16	63		0,935				0,9						
Figueredo, et al., (2017)	Caracterização	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	mufia	350	39,07				7,04		47,81	1,44	0,96	49,79			7,28	10,6				
Figueredo, et al., (2017)	Caracterização	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	mufia	500	29,69				12,67		60,1	1,04	2,69	36,17			7,07	11,8				
Figueredo, et al., (2017)	Caracterização	Casca de Eucalipto	madeira	mufia	350	40,17				3,95		55,81	0,46	3,83	39,9			6,18	-				
Figueredo, et al., (2017)	Caracterização	Casca de Eucalipto	madeira	mufia	500	26,54				3,25		74,06	0,66	2,41	22,87			5,65	4,7				
Figueredo, et al., (2017)	Caracterização	Lodo de Esgoto	resíduo animal	mufia	350	74,61				51,24		24,35	3,17	1,73	75,23			4,49	9,3				
Figueredo, et al., (2017)	Caracterização	Lodo de Esgoto	resíduo animal	mufia	500	63,09				65,81		20,99	2,9	0,88	70,75			5,21	10,3				
Souza, et al., (2020)	Tratamento de água	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	450							72,78	0,32	3,63	23,23	0,043						13,8	
Ferreira, et al., (2019)	Condicionador de solo	Capim elefante	folha/caule de planta	Reator horizontal rotativo	400	37,5	27,5	35	21,77	23,1	49,33	63,86	3,87	3,81	28,46	0,3	0,32	9,9	224,87	0,015	17,27	5,6	
Ferreira, et al., (2019)	Condicionador de solo	Capim elefante	folha/caule de planta	Reator horizontal rotativo	500	30	28,5	42,5	13,93	28,93	51,25	74,85	2,08	2,88	20,17	0,31	0,37	9,9	287,43	0,016	21,41	8,2	
Ferreira, et al., (2019)	Condicionador de solo	Capim elefante	folha/caule de planta	Reator horizontal rotativo	600	25	30	45	8,81	30,31	54,64	82,23	2,15	2,11	13,51	0,35	0,34	10	219,1	0,016	17,92	6,6	
Devens, et al., (2018)	Caracterização	Casca de Laranja	agroindustrial	mufia	350				30	9,26	59,26							8,78				1,42	
Devens, et al., (2018)	Caracterização	Pericarpo de coco verde	agroindustrial	mufia	350				29,53	33,56	34,41							8,41				2,88	
Oliveira, et al., (2020)	Condicionador de solo	Casca de Castanha do Pará	agroindustrial	forno artesanal	500	59				2,9			0,7			0,14	0,06						
Doumer, et al., (2016)	Tratamento de água	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	forno artesanal	350	41,2				5		65	1	4				6	6,7				
Doumer, et al., (2016)	Tratamento de água	Madeira de Eucalipto	madeira	forno artesanal	350	40,7				4,5		70	1	4				7,2	9,5				

Título:  
(Continua)

Coleta

de

dados

para

análise

Informações do Artigo		Informações sobre a produção do biocarvão				Características do biocarvão																
Referência	Objetivo do estudo	Resíduo utilizado	Resíduo utilizado	Método pirólise	Temp. de pirólise	RG	Rbio	RSyn	Voláteis	Cinza	C fixo	C total	N total	H total	O total	S total	P total	pH	CTC	Volume de poros	ASE	CE
			categoria		°C																	
Doumer, et al., (2016)	Tratamento de água	Torta de Mamona	resíduo agroindustrial	forno artesanal	350	74,1				10,5		55	7	6				7,3	24,5			
Doumer, et al., (2016)	Tratamento de água	Pericarpo de coco verde	resíduo agroindustrial	forno artesanal	350	47				5,5		65	1	4				8,9	13,7			
Doumer, et al., (2016)	Tratamento de água	Aguapé	folha/caule de planta	forno artesanal	350	56,9				30,5		45	4	3				9,2	37,6			
Castro, et al., (2018)	Condicionador de solo	Madeira de Glicírdia	madeira	forno artesanal	400	30							1					8,6	83			
Figueredo, et al., (2019)	Condicionador de solo	Lodo de Esgoto	resíduo animal	mufia	300	86		-	0,59			23,4	3,3	3,6		1,51	4,11				20,2	
Figueredo, et al., (2019)	Condicionador de solo	Lodo de Esgoto	resíduo animal	mufia	500	65		-	0,79			19	2,3	1,7		0,74	6,13				52,5	
Silvestre, et al., (2018)	Condicionador de solo	Torta de Semente de Nabo	agroindustrial	Reator horizontal rotativo	500	26	57,8	16,2	22,85	17,43	55,42	60,68	8,13	2,94				8,78	53,48			105,6
Silvestre, et al., (2018)	Condicionador de solo	Torta de Semente de Nabo	agroindustrial	Reator horizontal rotativo	500	24,89	60,99	14,12	22,42	17,92	55,4	59,86	7,97	2,78				9,12	57,12			93,6
Silvestre, et al., (2018)	Condicionador de solo	Torta de Semente de Nabo	agroindustrial	Reator horizontal rotativo	500	24,9	61,74	13,36	22,04	17,81	55,89	60,51	8,02	2,83				9,02	61,83			88,4
Severo, et al., (2020)	Condicionador de solo	Casca de arroz	agroindustrial	mufia	500					35,4		46,1	0,43		19,5				112,5		118,2	
Torres, et al., (2020)	Condicionador de solo	Esterco de Gado	resíduo animal	mufia	450				43,5	36,2	12,7	16,79	0,643					9,8				411
Torres, et al., (2020)	Condicionador de solo	Casca de arroz	agroindustrial	mufia	450				65,4	24,5	6,2	9,184	0,196					7,3				178
Garcia, et al., (2020)	Condicionador de solo	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	mufia	500					4,76		61,03	1,22	4,02	33,73							
Garcia, et al., (2020)	Condicionador de solo	Palha de Arroz	folha/caule de planta	mufia	500					8,23		55,43	1,43	3,22	39,92							
Garcia, et al., (2020)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	500					6,44		71,23	1,03	2,86	24,88							
Jesus, et al., (2019)	Tratamento de água	Capim elefante	folha/caule de planta	forno artesanal	450							41,987	0,321	4,546	53,146						1.345x10-1	127,987
Jesus, et al., (2019)	Tratamento de água	Pericarpo de coco verde	resíduo agroindustrial	forno artesanal	450							50,987	0,123	5,876	43,014						1.081x10-1	89,89
Jesus, et al., (2019)	Tratamento de água	Bagaço de goiaba	agroindustrial	forno artesanal	450							54,981	0,476	5,098	39,445						1.034x10-1	87,987
Jesus, et al., (2019)	Tratamento de água	Bagaço de laranja	agroindustrial	forno artesanal	450							49,876	0,363	4,808	44,953						1.087x10-1	123,186
Duarte et al., (2019)	Condicionador de solo	Capim elefante	folha/caule de planta	mufia	450	31			34,60	6,1	57,1	66,35	0,43					5,86			371,9	0,6
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Esterco de galinha	resíduo animal	mufia	350	69,7			36,9	52	11,1	31,2		1,97	10,9	0,31		9,8	42			5,9
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Esterco de galinha	resíduo animal	mufia	450	63			30,6	55,3	14,1	27,2		1,92	11,4	0,44		10,1	40			6,2
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Esterco de galinha	resíduo animal	mufia	750	55,9			26,5	56,4	17	24,7		0,67	16,3	0,29		11,8	21			7
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	350	42,5			36,9	0,9	62,2	70,4		3,81	24	0,02		6	10			0,2
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	450	36			28,5	0,7	70,8	78,6		3,42	16,6	0,01		8	3			0,1
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	mufia	750	28,2			6,5	1,1	92,4	90,9		1,52	5,6	0,04		9,1	2			0,1
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Casca de café	agroindustrial	mufia	350	43,5			34,60	12,9	52,5	60,5		3,92	19,5	0,09		9,8	70			10,4
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Casca de café	agroindustrial	mufia	450	37,7			26,2	12,9	60,9	61,3		3,65	19	0,1		9,9	72			9,8
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Casca de café	agroindustrial	mufia	750	31,6			17,6	19,6	62,8	66		1,57	9,8	0,23		9,9	19			12,7
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	mufia	350	37,5			35	1,9	63	74,7		4,26	17,9	0,03		7	5			0,2
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	mufia	450	33,2			24	2,1	73,9	81,6		3,66	11,3	0,05		8,5	3			0,2
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	mufia	750	26,9			7,7	2,2	90,1	90,5		1,64	4,3	0,06		9,8	2			0,5
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Casca de pinus	madeira	mufia	350	59,6			38,5	8,3	53,2	67,6		3,73	28,7	0,01		7,8	3			0,1

Título:  
(Continua)

Coleta

de

dados

para

análise

Informações do Artigo		Informações sobre a produção do biocarvão				Características do biocarvão																	
Referência	Objetivo do estudo	Resíduo utilizado	Resíduo utilizado	Método pirólise	Temp. de pirólise	RG	Rbio	RSyn	Voláteis	Cinza	C fixo	C total	N total	H total	O total	S total	P total	pH	CTC	Volume de poros	ASE	CE	
			categoria		°C																		%
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Casca de pinus	madeira	mufia	450	49,3			29,3	7,9	62,8	75,2		2,74	24,7	0,02		8	1				0,1
Domingues et al., (2017)	Condicionador de solo	Casca de pinus	madeira	mufia	750	38,9			6	14,5	79,4	86,3		1,16	19,1	0,04		10	1				0,2
Sato, et al., (2020)	Condicionador de solo	Bagaço de Açaí	agroindustrial	Reator horizontal rotativo	300	27,81			34,7	2,82	62,48	69,5	1,64	4,3	24,58	0,22		5,73					
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Casca de Algodão	agroindustrial	Reator horizontal rotativo	400																0,0017	0,2	5,25
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Casca de Algodão	agroindustrial	Reator horizontal rotativo	500																0,0056	1,8	6,6
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Casca de Algodão	agroindustrial	Reator horizontal rotativo	600																0,0061	1,9	8,5
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Esterco suíno	resíduo animal	Reator horizontal rotativo	400																0,0323	7,2	4,7
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Esterco suíno	resíduo animal	Reator horizontal rotativo	500																0,0725	24,9	3,75
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Esterco suíno	resíduo animal	Reator horizontal rotativo	600																0,0715	36,9	5,7
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	Reator horizontal rotativo	400																0,0003	0,3	1,6
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	Reator horizontal rotativo	500																0,052	42,3	1,4
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Madeira de Eucalipto	madeira	Reator horizontal rotativo	600																0,07	132	1,2
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	Reator horizontal rotativo	400																0,0851	13,5	1,75
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	Reator horizontal rotativo	500																0,121	25	1,3
Speratti, et al., (2017)	Condicionador de solo	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	Reator horizontal rotativo	600																0,1314	41,3	1,2
Doumer, et al., (2015)	Caracterização	Aguapé	folha/caule de planta	mufia	350	56	9	16	37,87	30,54	31,58	45,53	3,93	3,53	16,44								
Doumer, et al., (2015)	Caracterização	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	mufia	350	42	13	18	44,05	5,5	50,44	65,02	0,55	4,19	24,72								
Doumer, et al., (2015)	Caracterização	Torta de mamona	agroindustrial	mufia	350	75	9	8	62,52	10,35	27,13	54,42	7,01	6,05	22,14								
Doumer, et al., (2015)	Caracterização	pericarpo de coco verde	agroindustrial	mufia	350	47	5	20	30,39	5,22	64,39	63,99	0,97	4	25,47								
Doumer, et al., (2015)	Caracterização	madeira de eucalipto	madeira	mufia	350	41	11	17	37,36	4,37	58,26	68,15	0,5	4,09	22,85								
Silva, et al., (2016)	Condicionador de solo	casca de arroz	agroindustrial	forno artesanal	430	33				29			1,65					6,8					121,8
Silva, et al., (2016)	Condicionador de solo	madeira (serragem)	madeira	forno artesanal	385	45				15			1,24					7,1					69,8
Silva, et al., (2016)	Condicionador de solo	silagem de sorgo	agroindustrial	forno artesanal	385	38				40			2,28					7,2					97
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	bagaço de acai	agroindustrial	mufia	400	25,4			0,83	3,6		72,23	2,2	3,1	18,54	0,33		6,7	9,3				
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	bagaço de acai	agroindustrial	mufia	500	22,6			0,56	3,5		76,24	2,06	2,99	14,81	0,4		7,5	9,6				
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	bagaço de acai	agroindustrial	mufia	600	21,1			0,25	4,2		80,17	2,15	2,33	10,75	0,4		8,9	9,8				
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	bagaço de acai	agroindustrial	mufia	700	20,9			0,23	4,8		79,61	1,86	1,79	11,54	0,4		9,7	12,7				
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	Casca de Castanha do Pará	agroindustrial	mufia	400	38,5			0,95	1,4		69,7	1,53	3,43	23,54	0,4		7,3	12,7				
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	Casca de Castanha do Pará	agroindustrial	mufia	500	34			0,68	1,6		77,35	1,68	3,16	15,81	0,4		8,8	13,6				
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	Casca de Castanha do Pará	agroindustrial	mufia	600	31			0,31	1,7		80,96	1,49	2,41	13,25	0,19		9,7	14				
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	Casca de Castanha do Pará	agroindustrial	mufia	700	27,9			0,3	1,7		80,37	1,15	2,19	14,37	0,22		9,8	14,5				

Título: **Coleta de dados para análise**  
(Continua)

Informações do Artigo		Informações sobre a produção do biocarvão				Características do biocarvão																	
Referência	Objetivo do estudo	Resíduo utilizado	Resíduo utilizado	Método pirólise	Temp. de pirólise	RG	Rbio	RSyn	Voláteis	Cinza	C fixo	C total	N total	H total	O total	S total	P total	pH	CTC	Volume de poros	ASE	CE	
			categoria		°C																		%
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	Resíduo dendê	resíduo agroindustrial	mufla	400	30,9			0,95	7,5		64,08	5,45	3,75	18,8	0,42		7,3	6,3				
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	Resíduo dendê	resíduo agroindustrial	mufla	500	28			0,47	8,7		66,31	6,07	2,67	15,91	0,34		8,2	7,2				
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	Resíduo dendê	resíduo agroindustrial	mufla	600	25,6			0,31	9		67,14	5,88	2,14	15,64	0,2		8,6	7,6				
Dias, et al., (2019)	Condicionador de solo	Resíduo dendê	resíduo agroindustrial	mufla	700	24,9			0,32	10		67,24	5,53	1,8	15,16	0,27		8,8	7,9				
Lima, et al., (2018)	Condicionador de solo	borra de café	agroindustrial	forno artesanal	530							68,81	4,3					9,65	5,56			23,5	
Lima, et al., (2018)	Condicionador de solo	casca de café	agroindustrial	forno artesanal	530							67,11	2,05					10,31	22,54			244	
Santos, et al., (2015)	Caracterização	madeira de araucária	madeira	mufla	200	27,4				1,25													
Santos, et al., (2015)	Caracterização	madeira de araucária	madeira	mufla	200	26,2				1,27													
Santos, et al., (2015)	Caracterização	madeira de araucária	madeira	mufla	280	24,2				1,55													
Santos, et al., (2015)	Caracterização	madeira de araucária	madeira	mufla	280	23,9				1,54													
Santos, et al., (2015)	Caracterização	madeira de araucária	madeira	mufla	570	21,4				1,71													
Santos, et al., (2015)	Caracterização	madeira de araucária	madeira	mufla	570	21,4				1,8													
Godoy, et al., (2018)	Caracterização	rama de mandioca	folha/caule de planta	reator de leito fixo	400	38,82	32,58	28,6	51,21	12,43	36,36										0,002799	2,0744	
Godoy, et al., (2018)	Caracterização	rama de mandioca	folha/caule de planta	reator de leito fixo	500	31,17	37,74	31,09	32,1	14,99	52,91											0,004791	2,687
Godoy, et al., (2018)	Caracterização	rama de mandioca	folha/caule de planta	reator de leito fixo	600	30,84	39,07	30,09	33,03	17,6	49,37											0,007139	3,6334
Matos, et al., (2019)	Caracterização	Bagaço de goiaba	agroindustrial	Reator horizontal rotativo	350					2,6		59,7	2,2	6	28								
Matos, et al., (2019)	Caracterização	Bagaço de goiaba	agroindustrial	Reator horizontal rotativo	350					2		54,7	1,9	6,3	34,2								
Franciski, et al., (2018)	Tratamento de água	torta de cevada	agroindustrial	Reator horizontal rotativo	800	25,04	20,93	54,03	78,84	15,45	3,47	63,78	1,85	1,52	32,73	0,12						0,0014	0,2
Santana, et al., (2019)	Caracterização	esterco de gado	resíduo animal	Reator horizontal rotativo	400	62,5	25	12,5	34,68	26,24	38,17	35,39	2,26	3,71	59,89			8,7					
Santana, et al., (2019)	Caracterização	esterco de gado	resíduo animal	Reator horizontal rotativo	500	50,8	40,2	9	25,15	31,51	42,65	32,51	1,93	2,68	63,89			9,5					
Santana, et al., (2019)	Caracterização	esterco de gado	resíduo animal	Reator horizontal rotativo	600	39,1	26,4	34,5	18,87	41,71	39,24	31,94	1,58	1,48	65,29			10,3					
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	Cama de Frango	resíduo animal	mufla	300	69,1			50,7	19	27,5	47,2	3,82	4,56	25,4			8,13	38,5				2,6
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	Cama de Frango	resíduo animal	mufla	400	52,2			44,1	26,5	25,4	49	3,21	3,14	18,1			9,99	22,9				1,41
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	Cama de Frango	resíduo animal	mufla	500	47,1			19	26,9	49,4	54,1	2,78	1,67	14,5			10,7	14,6				0,08
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	Cama de Frango	resíduo animal	mufla	600	45,2			9,82	27,8	57,5	48	2,02	1,22	20,9			10,6	15,5				0,08
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	Cama de Frango	resíduo animal	mufla	700	44,1			8,78	30,9	54,1	55,8	1,67	0,67	10,9			10,5	13,2				13
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	esterco suíno	resíduo animal	mufla	300	76,8			39,8	36,8	19,3	38,3	3,16	4,13	17,6			7,17	32,2				0,76
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	esterco suíno	resíduo animal	mufla	400	51,3			27,9	45,5	21,2	33,8	2,23	2,39	14,1			8,95	20,8				0,46
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	esterco suíno	resíduo animal	mufla	500	40,9			17,2	57,8	22,1	32,6	1,7	0,97	6,89			10,6	67,2				0,07
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	esterco suíno	resíduo animal	mufla	600	38,9			11,2	42,8	43	39,4	1,49	0,54	15,8			9,59	47,8				0,06
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	esterco suíno	resíduo animal	mufla	700	39,7			8,71	63,9	23,5	36,4	0,9	0,21	0,00			11,3	20,6				16,4
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	madeira de construção	madeira	mufla	300	80			44,3	2,57	50,9	70,6	0,27	4,57	22			7,54	19				2,21
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	madeira de construção	madeira	mufla	400	42,3			42,5	3,71	49,2	75,1	0,1	3,52	17,5			9,63	9,81				0,83



Título:  
(Continua)

Coleta

de

dados

para

análise

Informações do Artigo		Informações sobre a produção do biocarvão				Características do biocarvão																
Referência	Objetivo do estudo	Resíduo utilizado	Resíduo utilizado	Método pirólise	Temp. de pirólise	RG	Rbio	RSyn	Voláteis	Cinza	C fixo	C total	N total	H total	O total	S total	P total	pH	CTC	Volume de poros	ASE	CE
			categoria		°C																	
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	madeira de construção	madeira	mufia	500	30,9			22,2	3,69	70,1	70,6	0,04	2,58	23,1			8,75	61,5			0,07
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	madeira de construção	madeira	mufia	600	24			11,8	4,22	78,2	93,6	0	1,98	0,19			9,51	30			0,25
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	madeira de construção	madeira	mufia	700	21,3			10,7	3,8	77,2	78,4	0,34	1,06	16,4			10,3	39,5			97
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	pneu	Pneu/PVC	mufia	300	95,6			57,2	13,1	28,3	75,1	0,42	6,44	4,94			6,95	5,53			10,9
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	pneu	Pneu/PVC	mufia	400	83,3			31,3	6,99	59,9	74,1	0,07	3,54	15,2			7,89	9,69			0,84
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	pneu	Pneu/PVC	mufia	500	46,9			3,96	10,3	84	61,4	0,3	0,19	27,7			8,94	51,9			0,09
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	pneu	Pneu/PVC	mufia	600	37,6			7,93	12	77,6	66,6	0,09	0,21	21,1			8,55	21			0,44
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	pneu	Pneu/PVC	mufia	700	35,9			3,4	10,9	83,5	71,9	0	0,03	17,2			10,2	10,9			146
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	pvc	Pneu/PVC	mufia	300	83,5			27,9	32,5	33,5	41,4	0,03	6,97	19,1			6,31	8,1			2,63
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	pvc	Pneu/PVC	mufia	400	79,4			35,9	38	23,1	32,4	0,14	4,72	24,7			7,36	13,5			0,96
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	pvc	Pneu/PVC	mufia	500	65,4			18,6	42,3	34,5	29,3	0,16	5,68	18,6			9,6	50,8			0,1
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	pvc	Pneu/PVC	mufia	600	56,6			12,6	49,5	37,5	24,3	0	4,86	21,3			11,8	31,9			0,25
Rodriguez, et al., (2020)	Caracterização	pvc	Pneu/PVC resíduo	mufia	700	49,1			14,3	51,2	34	24,8	0,3	6,97	16,7			11,5	25,1			165
Machado, et al., (2020)	Caracterização	torta de cevada	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	500	29,71	33,89	36,4	35,26	11,07	53,67										0,0087	6,51
Machado, et al., (2020)	Caracterização	torta de cevada	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	500	29	45,09	25,91	32,05	11,46	56,49										0,0018	1,44
Machado, et al., (2020)	Caracterização	torta de cevada	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	700	27,54	47,67	24,79	28,18	12,4	59,42										0,0025	0,08
Machado, et al., (2020)	Caracterização	torta de cevada	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	700	27,19	45,72	27,09	21,7	12,72	65,58										0,0031	1,86
Machado, et al., (2020)	Caracterização	torta de cevada	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	600	28,45	44,54	27,01	25,09	12,08	62,83										0,0039	3,54
Machado, et al., (2020)	Caracterização	torta de cevada	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	600	28,64	46,91	24,45	26,21	12,19	61,61										0,0035	2,67
Machado, et al., (2020)	Caracterização	torta de cevada	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	600	28,5	39,2	32,3	29,37	12,12	58,5										0,0034	2,66
Fleig et al., (2021)	Caracterização	casca de arroz	agroindustrial resíduo	reator de leito fluidizado	500	30,5	43,6	25,9	19,4	48,7	31,9	38,4	0,3	2,3	10,3							8,5
Fleig et al., (2021)	Caracterização	casca de arroz	agroindustrial resíduo	reator de leito fluidizado	700	26,2	26,1	47,7	9,56	58,2	32,26	25,4	0,4	1,2	14,78							16,7
Cabrini et al., (2020)	Caracterização	Bagaço de laranja	folha/caule de planta	mufia	350	23,31												10,8				
Cabrini et al., (2020)	Caracterização	Bagaço de laranja	folha/caule de planta	mufia	450	73,55												10,6				
Cabrini et al., (2020)	Caracterização	Bagaço de laranja	folha/caule de planta	mufia	550	72,98												10,6				
Cabrini et al., (2020) et al. (2014)	Caracterização	Bagaço de laranja	folha/caule de planta	mufia	650	78,49												10,8				
Melo et al. (2013)	Condicionador de solo	Bagaço de laranja	madeira folha/caule de planta	reator de leito fixo	500	39	30	30	8,1	3,9	81	82	0,54	2,72	14,6							
Melo et al. (2013)	Condicionador de solo	Bagaço de laranja	folha/caule de planta	mufia	400	45				11,3		67	1,3	3,5	13,8	0,32	0,11	8,6	2,9			
Melo et al. (2013)	Condicionador de solo	Bagaço de laranja	folha/caule de planta	mufia	500	38				11,7		71	1,2	2,6	10,7	0,38	0,12	9,8	3,1			
Melo et al. (2013)	Condicionador de solo	Bagaço de laranja	folha/caule de planta	mufia	600	35				13,1		74	1,2	1,7	6,3	0,43	0,11	9,7	1,8			
Melo et al. (2013)	Condicionador de solo	Bagaço de laranja	folha/caule de planta	mufia	700	31				13,2		73	1,1	0,9	6,7	0,5	0,11	10,1	1,3			
Carvalho et al. (2013)	Condicionador de solo	madeira de eucalipto	madeira	forno artesanal	470							76	0,8		20			0,0002				

Título:  
(Continua)

Coleta

de

dados

para

análise

Informações do Artigo		Informações sobre a produção do biocarvão				Características do biocarvão																
Referência	Objetivo do estudo	Resíduo utilizado	Resíduo utilizado		Temp. de pirólise °C	RG	Rbio	RSyn	Voláteis	Cinza	C fixo	C total	N total	H total	O total	S total	P total	pH	CTC	Volume de poros	ASE	CE
			categoria	Método pirólise		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	H <sub>2</sub> O	cmolc	cm <sup>3</sup> /g ou mL/g
Dias et al. (2010)	Condicionador de substrato	madeira de eucalipto	madeira	forno artesanal	370							50	0,61					7,64				0,4
Rezende et al. (2016)	Condicionador de substrato	serragem	madeira	reator de leito fixo	450													7,3				
Morales et al. (2013)	Condicionador de solo	madeira Embaúba	madeira	reator de batelada	400							64	0,41									
Morales et al. (2013)	Condicionador de solo	madeira Embaúba	madeira	reator de batelada	500							73	0,34									
Morales et al. (2013)	Condicionador de solo	madeira Embaúba	madeira	reator de batelada	600							82	0,26									
Morales et al. (2013)	Condicionador de solo	madeira Lacre	madeira	reator de batelada	400							75	0,34									
Morales et al. (2013)	Condicionador de solo	madeira Lacre	madeira	reator de batelada	500							76	0,32									
Morales et al. (2013)	Condicionador de solo	madeira Lacre	madeira	reator de batelada	600							81	0,31									
Morales et al. (2013)	Condicionador de solo	madeira Ingá	madeira	reator de batelada	400							79	0,64									
Morales et al. (2013)	Condicionador de solo	madeira Ingá	madeira	reator de batelada	500							81	0,67									
Morales et al. (2013)	Condicionador de solo	madeira Ingá	madeira	reator de batelada	600							98	0,58									
Lima et al. (2021)	Condicionador de solo	madeira cajueiro resíduo de castanha do Pará	madeira resíduo agroindustrial	forno artesanal	425							54						9,8				
Ferreira et al. (2021)	Condicionador de solo Fertilizante	madeira de eucalipto	madeira	mufa	350	36,6			4,25			66	2,3	4,2	27,2			6,46				
Santos et al. (2019)	Organomineral Fertilizante	madeira de eucalipto	madeira	mufa	700	28,5			4,45			73,2	0,2	2,2			0,05	7,59	3,37			
Santos et al. (2019)	Organomineral Fertilizante	madeira de eucalipto	madeira	mufa	700	28,5			4,45			84,3	0,3	0,2			0,094	9,67	1,65			
Santos et al. (2019)	Organomineral Fertilizante	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	mufa	350	37			23,3			67,3	0,3	2,3			0,26	5,17	8,46			
Santos et al. (2019)	Organomineral Fertilizante	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	mufa	700	28,4			49,3			72,1	0,4				0,21	9,06	5,81			
Kalinke et al. (2015)	Sensor Eletroquímico	torta de mamona	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	200							46	11	5,5	20,5	14				0,0085	2,53	
Kalinke et al. (2015)	Sensor Eletroquímico	torta de mamona	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	300							48	11	5	20,5	13				0,0014	1,01	
Kalinke et al. (2015)	Sensor Eletroquímico	torta de mamona	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	400							49	11	4	20	14				0,0015	1,1	
Kalinke et al. (2015)	Sensor Eletroquímico	torta de mamona	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	500							50	12	4	19,5	13				0,0016	1,19	
Kalinke et al. (2015)	Sensor Eletroquímico	torta de mamona	agroindustrial resíduo	Reator horizontal rotativo	600							52	12	3	18	13				0,0031	1,82	
Sant'Anna et al. (2020)	Sensor Eletroquímico	aguapé	folha/caule de planta	Reator horizontal rotativo	400																	
Endler et al. (2020)	Sensor Eletroquímico	Madeira de Acacia mearnsii	madeira folha/caule de planta	Não especificado	700																	
Puga et al. (2015)	Condicionador de solo	Bagaço de cana-de-açúcar	madeira de diversas espécies	reator de leito fixo	700	31			13,3			68	0,6	2,2				10,8	1,43			5
Lima et al. (2013)	Condicionador de substrato	madeira de diversas espécies	madeira resíduo	forno artesanal	500																	
Manfrin et al. (2021)	Tratamento de água Remoção de ácido sulfídrico	tabaco do cigarro	agroindustrial resíduo	reator de leito fixo	750	30,5											0,06			0,02	83,6	
Scheufele et al. (2021)	Condicionador de solo	resíduo de babaçu	agroindustrial resíduo	Não especificado	800															0,025	584	
Santos et al. (2021)	Condicionador de solo	Bagaço de laranja	agroindustrial resíduo	reator de leito fixo	550				10,5	7,9	81,6							9,9			111	1
Santos et al. (2021)	Condicionador de solo	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	reator de leito fixo	550				14,8	15,9	69,3							9,6			22,6	4,2
Santos et al. (2021)	Condicionador de solo	sabugo milho	agroindustrial resíduo	reator de leito fixo	550				12,5	6,8	80,5							10,2			193	1,9
Grutzmacher et al. (2018)	Mitigação de gases	Cama de Frango	resíduo animal	reator de leito fixo	400	51			44,9			34	3,7					10,8	16,7			

Título:  
(Conclusão)

Coleta

de

dados

para

análise

Informações do Artigo		Informações sobre a produção do biocarvão				Características do biocarvão																
Referência	Objetivo do estudo	Resíduo utilizado	Resíduo utilizado	Método pirólise	Temp. de pirólise	RG	Rbio	RSyn	Voláteis	Cinza	C fixo	C total	N total	H total	O total	S total	P total	pH	CTC	Volume de poros	ASE	CE
			categoria		°C																	
Grutzmacher et al. (2018)	Mitigação de gases	Lodo de Esgoto	resíduo animal	reator de leito fixo	400	68				68,7		20,5	2,3					7,4	9,7			
Grutzmacher et al. (2018)	Mitigação de gases	serragem de eucalipto	madeira resíduo	reator de leito fixo	400					1,9		75,9	0,3					8,3	4,6			
Grutzmacher et al. (2018)	Mitigação de gases	torta de mamona	agroindustrial resíduo	reator de leito fixo	400	69				68,3		25,8	1,5					9,5	23			
Abbruzzini et al. (2019)	Mitigação de gases	Bagaço de cana-de-açúcar	folha/caule de planta	reator de leito fixo	450	30	40	30	46,2	14,5		67,4	1,2	2,8	48,9			9,2				
Ritti et al. (2021)	Mitigação de gases	Capim Miscanhus	folha/caule de planta	Não especificado	450				34,56	6,12	50,87	66,4	0,4					5,86	3,3		371,93	6,05

Legenda: RG: Rendimento Gravimétrico; Rbio: Rendimento Bio-óleo; RSyn: Rendimento Syngás; CTC: Capacidade de Troca de Cátions. ASE: Área de Superfície Específica; CE: Condutividade Elétrica.