



UFMA



UFPI



UFC



UFRS



UFRN



UFPB



UFPE



UFS



UESB

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

PROGRAMA DE DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE

**TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL E SABERES TRADICIONAIS: IMPLICAÇÕES DA
PRODUÇÃO E USO AGRÍCOLA DE BIOCARVÃO DE LODO NO SOLO DO
QUILOMBO SERRA DA GUIA, SERGIPE**

TAÍSA ANDRADE BARBOSA

SÃO CRITÓVÃO-SE

2025

TAÍSA ANDRADE BARBOSA

**TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL E SABERES TRADICIONAIS: IMPLICAÇÕES DA
PRODUÇÃO E USO AGRÍCOLA DE BIOCÁRVÃO DE LODO NO SOLO DO
QUILOMBO SERRA DA GUIA, SERGIPE**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Associação Plena em Rede, da Universidade Federal de Sergipe (UFS), como requisito para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador:
Prof. Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho

Coorientador:
Prof. Dr. Alberto Wisniewski Jr.

SÃO CRITÓVÃO-SE

2025

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal de Sergipe. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

B238t Barbosa, Taísa Andrade.
Tecnologia sustentável e saberes tradicionais: implicações da produção e uso agrícola de biocarvão de lodo no solo do Quilombo Serra da Guia, Sergipe / Taísa Andrade Barbosa; orientador Raimundo Rodrigues Gomes Filho. – São Cristóvão, SE, 2025.
215 f.; il.

Tese (doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Meio ambiente - Sergipe. 2. Pirólise. 3. Agricultura familiar. 4. Agricultura orgânica. 5. Sustentabilidade. 6. Sequestro de carbono. 7. Conhecimento tradicional associado. 8. Desenvolvimento sustentável. 9. Comunidade de escravos fugitivos. I. Quilombo Serra da Guia. II. Gomes Filho, Raimundo Rodrigues, orient. II. Título.

CDU 502.131.1(913.7)

TAÍSA ANDRADE BARBOSA

**TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL E SABERES TRADICIONAIS: IMPLICAÇÕES DA
PRODUÇÃO E USO AGRÍCOLA DE BIOCÁRVÃO DE LODO NO SOLO DO
QUILOMBO SERRA DA GUIA, SERGIPE**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Associação Plena em Rede, da Universidade Federal de Sergipe (UFS), como requisito para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Linha de Pesquisa: Tecnologias para o desenvolvimento sustentável

Defendida em 24 de setembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho (PRODEMA/UFS)
Orientador – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Dr. Alberto Wisniewski Jr. (PPGQ/UFS)
Coorientador – Programa de Pós-Graduação em Química

Dr. Gregório Guirada Faccioli (PRODEMA/UFS)
Examinador – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Dr. Daniel Moureira Fontes Lima (PROEC/UFS)
Examinador – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dr. Luciano de Melo (COEC/IFS)
Examinador – Coordenadoria de Engenharia Civil do Instituto Federal de Sergipe, Estância

Dr. Ondřej Mašek (UKBRC, UK)
Examinador – *UK Biochar Research Centre (UKBRC), School of Geosciences, University of Edinburgh*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado discernimento, sabedoria e paciência quando necessário. Agradeço imensamente a mainha (Iraneide Andrade Gois) e a mozi (Wyllanvan Mendonça Santana) por compartilharem alegremente comigo as maiores conquistas, por todo apoio incondicional nos momentos difíceis, e por me incentivarem em todas as decisões, inclusive quando essas decisões significavam estar a um oceano de distância. O tanto que eu amo vocês não dá para colocar no papel!

Agradeço aos meus orientadores Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho e Dr. Alberto Wisniewski Jr. Fazer um doutorado sob a orientação de vocês ficou fácil. Obrigada Raimundo por sempre atender às minhas demandas e por deixar que eu seguisse o meu caminho de forma leve. Obrigada Alberto por todo apoio, incentivos, provocações e orientações, bem como por abrir as portas dos laboratórios CLQM e PEB. As suas contribuições foram vitais para elevar a qualidade da pesquisa. Agradeço também ao meu orientador da Escócia, Dr. Ondřej Mašek, por me acolher durante o doutorado sanduíche, abrindo caminhos para que eu pudesse aprofundar meus conhecimentos em um centro de pesquisa de excelência e possibilitando que novas colaborações internacionais fossem formadas.

Agradeço ao Dr. Luciano de Melo, por não apenas disponibilizar o espaço no campus IFS-Estância para execução dos experimentos, mas principalmente por toda ajuda concedida e disponibilidade durante essa etapa. Agradeço ao Dr. Gregório Guirada Faccioli e ao Dr. Daniel Moureira Fontes Lima pelas contribuições valiosas durante nossos encontros. Agradeço à Dra. Renata Lopes de Siqueira (CECANE/UFS), pela colaboração com o projeto de fomento a inserção da agricultura familiar e suas organizações no PNAE.

Agradeço o apoio dos técnicos dos laboratórios, estudantes e profissionais que me ajudaram com as análises e experimentos: Roberta, Wenes, Luan, Candice (CLQM e PEB), Ruth, Diego, Viviane, Neto, Gabriel e Breno (equipe LEHSA/IFS), Fabiano e Antônio (UFS), e Thomas e Christian (UKBRC).

Agradeço à comunidade quilombola Serra da Guia, em especial à Liliane e ao José Aminta, por me acompanharem durante as caminhadas transversais, por me receberem em suas casas e por serem o elo que possibilitou a execução das entrevistas na comunidade. Suas contribuições foram fundamentais!

Agradeço à minha família, em especial Milla, Naninha e Tia Cristina, e à minha nova família, em especial Wyllan, Camila, Dhebora, Diego, Hortência e Fernando, por

reconhecerem o valor do meu trabalho, me apoiarem e por compartilharem do meu entusiasmo com a pesquisa.

Aos meus amados amigos. À Camila e Raissa, por estarem desde sempre comigo, dando conselhos preciosos, compartilhando alegrias e admirações, e sendo um colo do conforto nos momentos difíceis. À Larissa e Hana, amigas do coração que tornam meus dias mais leves e alegres. À galera Txuco, que embora alguns estejam longe, o carinho e amor compartilhado deixa meu coração quentinho e me ajuda a superar os desafios. Ao pessoal do cross, que está quase todo dia comigo descarregando as energias e repondo-as com muita alegria e endorfina. Aos amigos que fiz em *Edinburgh (UK)*, especialmente Francisca, Lisa, Lion e Kayleigh, que transformaram essa jornada na melhor possível. Obrigada por trazerem calor a esse país que, embora lindo, é muito gelado. A companhia de vocês fez eu me sentir em casa, tornando essa experiência única!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC/SE), através de recursos financeiros oriundos do Fundo Estadual para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNTEC), geridos pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia (SEDETEC). Além disso, teve apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) durante o Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE 2022).

*“Toda coragem precisa de um medo pra existir.
Uma estranha dependência complicada de
sentir. A coragem de levantar vem do medo de
cair.”*

Braúlio Bessa.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características de biocarvões de lodo de esgoto produzidos entre 300° C e 750° C	36
Tabela 2 – Propriedades funcionais do lodo e do biocarvão de lodo (BL).....	62
Tabela 3 – Teores totais de metais pesados no lodo e no biocarvão de lodo (BL), e limites/valores de referência de resoluções nacional e internacionais para aplicação em solos	68
Tabela 4 – Pesticidas encontrados no lodo de esgoto in natura.....	71
Tabela 5 – pH, condutividade elétrica, teor de cinzas e composição elementar (CNH-O) de biocarvões de lodo (BL) e biocarvões de palha de trigo (BPT) frescos e envelhecidos	91
Tabela 6 – Razões molares (H/C e O/C) de biocarvões de lodo (BL) e biocarvões de palha de trigo (BPT) frescos e envelhecidos.....	96
Tabela 7 – Características físicas e químicas do solo de Serra da Guia	115
Tabela 8 - Tratamentos utilizados no cultivo do coentro (<i>coriandrum sativum</i> l.).....	116
Tabela 9 – Especificação do fertilizante orgânico	119
Tabela 10 – Umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) sob tensão de 0,1 atm (10 kPa), umidade no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) sob tensão de 15 atm (1500 kPa), e Capacidade de Água Disponível (CAD) do solo in natura (controle) e das misturas solo + biocarvão (40 t ha ⁻¹)	122
Tabela 11 – Valores médios de Massa Fresca Total (MFT) e Massa Seca Total (MST) das plantas de coentro por tipo de substrato e condição de irrigação.	125

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Impactos ambientais a serem considerados no gerenciamento do lodo.....	29
Quadro 2 - Possibilidades de uso de biocarvões e benefícios associados.....	31
Quadro 3 - Parâmetros analisados na caracterização do lodo e do biocarvão de lodo.....	58
Quadro 4 - Pesticidas monitorados durante as análises.....	59
Quadro 5 - Parâmetros utilizados para processamento dos espectros e atribuição da fórmula molecular dos íons na análise FT-Orbitrap MS.....	61
Quadro 6 - Biocarvões utilizados no ensaio de envelhecimento físico (ciclos seco – úmido).....	86
Quadro 7 - Parâmetros da caracterização dos biocarvões submetidos ao processo de envelhecimento acelerado.....	88
Quadro 8 – Amostras de solo e misturas solo-biocarvão utilizadas no ensaio de capacidade de retenção hídrica.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama esquemático dos procedimentos metodológicos da pesquisa	38
Figura 2 - Localização da comunidade quilombola de Serra da Guia.....	39
Figura 3 - Coleta de lodo na ETE Orlando Dantas, (a) leito de secagem, (b) lodo bruto	53
Figura 4 - Secagem do lodo em estufa à 100°C.....	54
Figura 5 - Preparação do lodo, a) peneiramento do lodo na #3,35mm, b) peneiramento do lodo na #1,19mm, c) e d) armazenamento do lodo retido entre as peneiras #1,19 e #3,35 mm.....	54
Figura 6 - Forno rotativo utilizado para produção do biocarvão de lodo	55
Figura 7 - Micro reator utilizado para produção de biocarvão de lodo à 400, 500 e 600 °C...	58
Figura 8 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do lodo (figuras a-c); e do biocarvão de lodo (figuras d-f).....	66
Figura 9 – Espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier (FTIR) do lodo e do biocarvão de lodo (BL) pirolisado a 400 °C	67
Figura 10 – Perfis cromatógrafos do lodo e do biocarvão de lodo (BL) decorrentes da triagem de poluentes orgânicos por meio de ESI(±)-LC/MS	72
Figura 11 – Espectros de massa dos extratos de lodo e de biocarvão de lodo (BL) por ESI(±)-Orbitrap MS.....	73
Figura 12 - Reator de leito fixo utilizado na pirólise do lodo a 400 e 600 °C	86
Figura 13 - Preparação das misturas areia-biocarvão para indução do envelhecimento acelerado, (a) areia de granulometria média, (b) adição de biocarvão (5% em massa) e (c) mistura homogênea de areia e biocarvão.....	87
Figura 14 - Extração dos biocarvões após ciclos seco-úmido, (a) peneiramento com #1,4 mm, (b) amostras coletadas após secagem, e (c) amostras lavadas com água destilada	88
Figura 15 - Espectros de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) de biocarvões de lodo fresco (BL) e biocarvões de palha de trigo (BPT) pirolizados em 400, 550, 600 e 700 °C, e seus biocarvões envelhecidos	95
Figura 16 – Diagrama de van Krevelen com dados elementares dos biocarvões de lodo (BL) e biocarvões de palha de trigo (BPT) frescos e envelhecidos	97

Figura 17 – Área superficial e volume de poros dos biocarvões frescos de lodo de esgoto (BL) e de palha de trigo (BPT), e de suas versões envelhecidas, produzidos nas temperaturas 400, 550, 600 e 700 °C	99
Figura 18 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos biocarvões frescos de lodo (BL) e de palha de trigo (BPT), e suas versões envelhecidas, produzidos nas temperaturas 400, 550, 600 e 700 °C.	101
Figura 19 – Ambiente protegido do IFS - Estância onde o experimento foi realizado.....	116
Figura 20 – Dimensões dos vasos utilizados no experimento.....	117
Figura 21 – Coleta do solo no quilombo Serra da Guia e enchimento dos vasos, (a) coleta do solo, (b) peneiramento do solo (#2,36 mm), (c) preparação do fundo do vaso com brita e bidim, (d) vasos preenchidos	117
Figura 22 – Preparação do solo, (a) calagem com calcário dolomítico, (b) lavagem e umidificação do BL, (c) incorporação do BL no solo, (d) homogeneização do BL no solo, (e) fertilizante orgânico, (f) pesagem do fertilizante orgânico, (g) fertilização do solo, (h) vasos com solo preparado.....	118
Figura 23 – Plantio do coentro (<i>Coriandrum Sativum</i> L.), (a) semeadura, (b) brotos de coentro, (c) aferição da altura da planta, (d) desbaste da cultura.	119
Figura 24 – Comparação das curvas características de retenção hídrica do solo in natura (controle) e misturas solo + biocarvão (40 t ha ⁻¹)	123
Figura 25 – Plantas de coentros colhidas por tipo de substrato e condição de irrigação.	126
Figura 26 – Massa Fresca Total (MFT) e Massa Seca Total (MST) das plantas de coentro em função da dosagem de biocarvão de lodo e condição de irrigação.....	127
Figura 27 - Localização do quilombolo serra da guia (9°58'S e 37°52'W).....	139
Figura 28 - a) Banner disposto na varanda da casa de dona Zefa da Guia; b) Sede da associação comunitária	143
Figura 29 - a) Percorso entre o quilombo Serra da Guia e o centro de poço redondo/SE; b) Estrada (SE-407) que dá acesso à comunidade; c) Percorso entre o quilombo e a escola municipal Maria Gilda.....	145
Figura 30 - Localização da roça comunitária onde é realizado o plantio do feijão em relação à sede do quilombo Serra da Guia.....	146
Figura 31 - a) Cisterna utilizada no armazenamento de água para consumo próprio; b) Roça comunitária no período de estiagem.	149

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	12
GENERAL ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 OBJETIVOS E HÍPOTESES	17
2.1 OBJETIVOS	17
2.2 HIPÓTESES	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE	18
3.2 FOME ZERO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL (ODS 2) E REDUÇÃO DAS DESIGUALDES (ODS 10).....	20
3.2.1 Segurança alimentar e nutricional no Brasil	21
3.2.2 Papel da agricultura familiar no combate à insegurança alimentar.....	23
3.2.3 Agricultores familiares quilombolas	23
3.3 ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO (ODS 6) E AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA (ODS 13).....	25
3.3.1 A problemática do saneamento básico no Brasil	26
3.3.2 Lodo de esgoto	27
3.3.3 Aplicação de lodo de esgoto na agricultura	28
3.4 BIOCARVÃO	29
3.4.1 Definição, obtenção e aplicações	29
3.4.2 Potencial do biocarvão na agricultura	31
3.4.3 Estabilidade do biocarvão	32
3.4.4 Biocarvão de lodo de esgoto	34
4 PERCURSO METODOLÓGICO.....	37
5 RECORTE ESPACIAL.....	39
REFERÊNCIAS.....	41
CAPÍTULO I.....	48
BIOCARVÃO DE LODO DE ESGOTO: EFEITOS DA PIRÓLISE NAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E DESTINO DE POLUENTES	48
RESUMO.....	48
ABSTRACT	49
1 INTRODUÇÃO.....	50
2 MATERIAIS E MÉTODOS	53
2.1 COLETA E PREPARAÇÃO DO LODO.....	53

2.2	PIRÓLISE DO LODO.....	55
2.3	CARACTERIZAÇÃO DO LODO E DO BIOCARVÃO.....	56
2.3.1	Propriedades físico-químicas	56
2.3.2	Metais pesados, pesticidas e poluentes orgânicos.....	58
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
3.1	EFEITOS DA PIRÓLISE NAS PROPRIEDADES DO BIOCARVÃO	62
3.2	EFEITOS DA PIRÓLISE NA MORFOLOGIA E FUNCIONALIDADE DO BIOCARVÃO	65
3.3	EFEITOS DA PIRÓLISE NOS POLUENTES	68
3.3.1	Metais pesados	68
3.3.2	Pesticidas.....	70
3.3.3	Poluentes orgânicos.....	72
4	CONCLUSÕES	75
	REFERÊNCIAS.....	76
	CAPÍTULO II.....	80
	DEGRADAÇÃO FÍSICA DO BIOCARVÃO: EFEITOS A LONGO PRAZO COMO CONDICIONADOR DE SOLO	80
	RESUMO.....	80
	ABSTRACT	81
1	INTRODUÇÃO.....	82
2	MATERIAIS E MÉTODOS	85
2.1	CICLOS SECO-ÚMIDO.....	85
2.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	89
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
3.1	ESTABILIDADE QUÍMICA DOS BIOCARVÕES	91
3.2	DESENVOLVIMENTO DE GRUPOS FUNCIONAIS DE SUPERFÍCIE	94
3.3	IMPACTOS DO ENVELHECIMENTO NA AROMATICIDADE DOS BIOCARVÕES.....	96
3.4	ESTRUTURA MORFOLÓGICA DOS BIOCARVÕES.....	99
4	CONCLUSÃO	103
	REFERÊNCIAS.....	104
	CAPÍTULO III	110
	EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS DO BIOCARVÃO NA RETENÇÃO DE UMIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE COENTRO (<i>CORIANDRUM SATIVUM L.</i>)	110
	RESUMO.....	110
	ABSTRACT	111

1	INTRODUÇÃO.....	112
2	MATERIAIS E MÉTODOS	114
2.1	CAPACIDADE DE RETENÇÃO HÍDRICA	114
2.2	DESENHO EXPERIMENTAL	115
2.3	COLETA E PREPARAÇÃO DO SOLO	116
2.4	SEMEADURA E MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	119
2.5	COLHEITA DO COENTRO E CARACTERIZAÇÃO.....	120
2.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	121
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	122
3.1	IMPACTOS DO BIOCARVÃO NA RETENÇÃO HÍDRICA DO SOLO	122
3.2	IMPACTOS DO BIOCARVÃO NA PRODUTIVIDADE DE COENTRO.....	125
4	CONCLUSÃO	129
	REFERÊNCIAS.....	130
	CAPÍTULO IV.....	133
	RESILIÊNCIA AGRÍCOLA NO QUILOMBO SERRA DA GUIA/SE: UM PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS SUSTENTÁVEIS EMPREGANDO BIOCARVÃO DE LODO	133
	RESUMO.....	133
	ABSTRACT	134
1	INTRODUÇÃO.....	135
2	MATERIAIS E MÉTODOS	138
2.1	ÁREA DE ESTUDO	138
2.2	ENTREVISTAS COM GRUPOS FOCAIS	139
2.3	ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA.....	140
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	142
3.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA COMUNIDADE SERRA DA GUIA	142
3.2	RELAÇÕES AGRICULTURA FAMILIAR - NATUREZA.....	145
3.3	PRINCIPAIS DESAFIOS NO QUILOMBO	149
3.4	PROSPECÇÕES DA COMUNIDADE	154
3.5	OPORTUNIDADES COM O BIOCARVÃO DE LODO NA AGRICULTURA	157
4	CONCLUSÃO	161
	REFERÊNCIAS.....	163
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	169
	CONCLUSÕES GERAIS.....	169
	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	171
	APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA COM GRUPO FOCAL.....	173

APÊNDICE B – <i>CORPUS</i> DA PESQUISA	175
ANEXO A – FICHAS TÉCNICAS DOS BIOCARVÕES PRODUZIDOS NO UKBRC	203
ANEXO B - PARACER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA.....	207
ANEXO C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	214

RESUMO GERAL

TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL E SABERES TRADICIONAIS: IMPLICAÇÕES DA PRODUÇÃO E USO AGRÍCOLA DE BIOCARVÃO DE LODO NO SOLO DO QUILOMBO SERRA DA GUIA, SERGIPE

Autora: Taísa Andrade Barbosa

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho

Coorientador: Prof. Dr. Alberto Wisniewski Jr.

Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente

São Cristóvão-SE, Setembro de 2025.

Pesquisas inspiradas nos saberes tradicionais podem constituir caminhos para soluções simples e eficazes, coerentes com um modelo de desenvolvimento sustentável. A “Terra Preta de Índio”, solo fértil e de cor escura devido à presença de partículas de carvão encontrada na Amazônia, inspira pesquisas sobre aos efeitos do biocarvão em solos. Nesse contexto, objetivou-se investigar as implicações da produção e uso agrícola do biocarvão de lodo (BL) no quilombo Serra da Guia, em Poço Redondo/SE, articulando tecnologias sustentáveis e saberes tradicionais. O biocarvão pode ser obtido pela conversão térmica de biomassas, a exemplo do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto, rico em matéria orgânica (~45%). Alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), o estudo parte de uma problemática dupla enfrentada no semiárido nordestino: a insegurança alimentar em comunidades tradicionais e a necessidade de destinação sustentável do lodo de esgoto, resíduo de alto potencial poluidor. Para tanto, adotou-se uma abordagem interdisciplinar quali-quantitativa, fundamentada no método hipotético-dedutivo, considerando as complexidades socioambientais envolvidas. A investigação estruturou-se em quatro capítulos. O primeiro trata da conversão do lodo em BL e de sua caracterização físico-química, demonstrando pela primeira vez que o processo promove a deterioração de pesticidas, além disso, favorece a imobilização de poluentes e preserva nutrientes, atestando sua adequação como insumo agrícola seguro. O segundo capítulo evidencia a potencial longevidade do biocarvão, mostrando que as transformações decorrentes do envelhecimento no solo mantêm ou ampliam suas funcionalidades como bioadubo e condicionador de solos. O terceiro capítulo avalia os efeitos do BL na retenção hídrica do solo e no cultivo de coentro (*Coriandrum sativum* L.), constatando melhorias significativas na disponibilidade de água e no desenvolvimento da cultura, sobretudo com doses de 40 t ha⁻¹. Por fim, o quarto capítulo apresenta a contextualização socioeconômica e o diagnóstico da agricultura familiar quilombola, por meio de entrevistas semiestruturadas, que revelaram vulnerabilidades estruturais, protagonismo feminino e práticas agrícolas baseadas na cooperação social, além da abertura à adoção de tecnologias compatíveis com seus valores. Os resultados indicam que o BL pode contribuir para a agricultura familiar, ampliando a resiliência hídrica dos solos e oferecendo alternativa sustentável para o manejo do lodo. Ressalta-se, contudo, que sua utilização não deve ser compreendida como solução isolada, mas como parte de uma estratégia mais ampla de desenvolvimento sustentável que valoriza a cultura quilombola, promove justiça socioambiental e exemplifica os princípios da economia circular, demandando políticas públicas integradas.

Palavras-chave: Biochar. Pirólise. Biofertilizante. Comunidade Quilombola. Agricultura Familiar. Agricultura Orgânica. Sustentabilidade. Sequestro de carbono.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: #02 - Fome Zero e Agricultura Sustentável; #06 - Água Potável e Saneamento; #10 - Redução das Desigualdades; #13 - Ação contra a mudança global do clima.

GENERAL ABSTRACT

SUSTAINABLE TECHNOLOGY AND TRADITIONAL KNOWLEDGE: IMPLICATIONS OF THE PRODUCTION AND AGRICULTURE USE OF SEWAGE SLUDGE BIOCHAR IN THE SOIL OF THE SERRA DA GUIA QUILOMBO, SERGIPE

Author: Taísa Andrade Barbosa

Advisor: Prof. Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho

Co-advisor: Prof. Dr. Alberto Wisniewski Jr.

Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente

São Cristóvão-SE, September 2025.

Research inspired by traditional knowledge can provide pathways to simple and effective solutions, consistent with a model of sustainable development. The “Terra Preta de Índio” found in the Amazon is a highly fertile soil with a dark colour due to the presence of charcoal particles. It has inspired investigations into the effects of biochar use in soils. In this context, the present study aimed to investigate the implications of producing and using sewage sludge biochar (SSB) in the Serra da Guia quilombo, in Poço Redondo/SE, Brazil, by articulating sustainable technologies and traditional knowledge. Biochar can be obtained through the thermal conversion of biomass, such as the sludge generated in wastewater treatment plants, which is rich in organic matter (~45%). Aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs), the research addresses a dual challenge faced in the Brazilian semi-arid Northeast: food insecurity in traditional communities and the need for a sustainable destination for sewage sludge, a residue with high polluting potential. To this end, an interdisciplinary quali-quantitative approach was adopted, grounded in the hypothetical-deductive method and considering the socio-environmental complexities involved. The investigation was structured into four chapters. The first chapter addresses the conversion of sewage sludge into SSB and its physicochemical characterisation, demonstrating for the first time that the process promotes pesticide degradation, as well as it favours pollutant immobilisation and preserves nutrients, thereby confirming its suitability as a safe agricultural input. The second chapter highlights the potential longevity of biochar, showing that the transformations resulting from aging in the soil maintain or even enhance its functionalities as a biofertiliser and soil conditioner. The third chapter evaluates the effects of SSB on soil water retention and the cultivation of coriander (*Coriandrum sativum* L.), showing significant improvements in water availability and crop development, especially with applications of 40 t ha⁻¹. Finally, the fourth chapter presents the socio-economic context and diagnosis of the quilombola family farming, based on semi-structured interviews, which revealed structural vulnerabilities, female protagonism, and agricultural practices rooted in social cooperation, as well as openness to adopting technologies compatible with community values. The results indicate that SSB can contribute to strengthening family farming, enhancing soil resilience, while offering a sustainable alternative for sewage sludge management. It is emphasised, however, that its use should not be regarded as an isolated solution, but as part of a broader strategy for sustainable development that values quilombola culture, promotes socio-environmental justice, and exemplifies the principles of the circular economy, requiring integrated public policies.

Keywords: Biochar. Pyrolysis. Biofertiliser. Quilombola community. Family Farming. Organic Agriculture. Sustainability. Carbon Sequestration.

Sustainable Development Goals: #2 - Zero Hunger; #6 - Clean Water and Sanitation; #10 - Reduced Inequality; #13 - Climate Action.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O conceito de sustentabilidade implica na capacidade de uma sociedade de satisfazer suas necessidades e desejos atuais sem esgotar os recursos necessários para a presente e futuras gerações, estabelecendo uma conexão indissociável entre os pilares social, ambiental e econômico (Mensah, 2019). No entanto, o modelo de desenvolvimento predominante nas últimas décadas, especialmente após a Revolução Industrial, está muito aquém do que podemos considerar como sustentável, implicando em consequências devastadoras para todo o planeta, como aumento da pobreza e da fome, intensificação das mudanças climáticas, poluição, extinção de espécies e habitats, e aumento do risco de pandemias.

Com o propósito de reverter essa trajetória e promover um desenvolvimento mais equilibrado, a Cúpula das Nações Unidas de 2015, envolvendo líderes de 193 países, aprovou a Agenda 2030. Esse pacto internacional estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com metas a serem alcançadas pelos países membros. Todos os ODS estão interligados, o que significa que a atuação em um objetivo inevitavelmente gera consequências diretas e/ou indiretas em outro(s), traduzindo o enredamento dessas relações (Nações Unidas, 2025). Esta tese foi desenvolvida no âmbito das ciências ambientais, adotando uma abordagem ampla, sistemática e interdisciplinar, com vistas a produzir conhecimento científico que subsidie ações no caminho da sustentabilidade. De acordo com Philippi Jr. et al. (2000), a interdisciplinaridade e a visão integrada são essenciais para compreender e enfrentar a complexidade das relações entre sociedade e meio ambiente.

No contexto do semiárido nordestino, aborda-se dois desafios centrais: a) as desigualdades sociais e insegurança alimentar e nutricional em comunidades tradicionais, e b) o manejo de resíduos sólidos com alto potencial poluidor, como o lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Tais questões exigem soluções que articulem desenvolvimento social e preservação ambiental, alinhando-se aos ODS 2 (fome zero e agricultura sustentável), ODS 6 (água potável e saneamento), ODS 10 (redução das desigualdades) e ODS 13 (ação contra a mudança global do clima).

A insegurança alimentar no Brasil é resultado de múltiplos fatores, incluindo má distribuição de renda, rápido crescimento populacional, mudanças climáticas e enfraquecimento de políticas públicas de combate à fome. Este cenário é alarmante, especialmente para populações tradicionais em condição de vulnerabilidade socioeconômica. Vale ressaltar também que a pandemia da Covid-19 intensificou esse quadro. Para se ter uma ideia, os índices de insegurança alimentar e nutricional no Brasil após a pandemia foram

registrados com valores de 55,7% nas áreas urbanas e 75,2% nas áreas rurais (Galindo et al., 2021), reforçando a urgência de estratégias que ampliem a resiliência socioeconômica e ambiental.

Por outro lado, o lodo de esgoto, resíduo de geração inerente à existência humana e continuamente produzido nas ETEs, representa um desafio relevante para a gestão ambiental e para o ODS 6, em virtude do seu potencial risco à saúde humana e ao meio ambiente. Esse resíduo contém patógenos (organismos causadores de doenças), metais pesados e contaminantes emergentes, e sua produção anual no Brasil já alcança milhares de toneladas, mesmo com baixos índices de coleta e tratamento de esgoto (Ghorbani et al., 2022). Com a expansão prevista dos serviços de esgotamento sanitário, torna-se imprescindível buscar formas ambientalmente seguras, socialmente justas e economicamente viáveis de aproveitar esse material (Andreoli; Von Sperling; Fernandes, 2014).

Nesse sentido, a conversão do lodo de esgoto em biocarvão (material sólido carbonáceo que pode ser obtido a partir da conversão térmica de biossólidos em ambiente controlado) desponta como alternativa estratégica que conecta metas do ODS 6 e 13 (Wisniewski Jr, 2020). A utilização de biocarvão no solo pode trazer diversos benefícios agrícolas, como aumento da fertilidade, maior capacidade de retenção de água, melhoria da assimilação de nutrientes e maior produtividade agrícola (Amalina et al., 2023; Ghorbani et al., 2022; Krahn et al., 2023). Contudo, seu desempenho depende de variáveis como tipo de biomassa, condições de produção, características do solo e dosagem aplicada, o que exige estudos que considerem fatores socioambientais e culturais.

A motivação dessa pesquisa está na possibilidade de transformar um resíduo problemático e de geração inevitável (lodo de esgoto) em um insumo agrícola sustentável (biocarvão de lodo), o qual pode contribuir para o desenvolvimento do quilombo Serra da Guia, em Poço Redondo, Sergipe. Esta comunidade tradicional é marcada por vulnerabilidade socioeconômica e forte dependência da agricultura familiar de subsistência (Feitosa, 2021). Estabeleceu-se, portanto, a seguinte questão de pesquisa: Quais são as implicações da produção de biocarvão de lodo e oportunidades para a agricultura familiar no contexto da comunidade quilombola de Serra da Guia?

A relevância científica dessa tese está pautada na construção de conhecimento urgente e prático para lidar com os problemas do desequilíbrio socioambiental. Trata-se, portanto, de investigar não apenas a viabilidade técnica e ambiental do uso do biocarvão de lodo na agricultura, mas também seu potencial para fortalecer a segurança alimentar e contribuir para a mitigação de vulnerabilidades sociais. Historicamente, os quilombos se formaram em territórios

marcados por resistência, sobrevivência e luta, tendo em vista as opressões e explorações sofridas durante o regime escravocrata, e que persistem com consequências graves até os dias atuais (Mombelli, 2015). Colabora-se, portanto, com o empoderamento, valorização e perpetuação das práticas agrícolas dos quilombolas, promovendo também a participação ativa da comunidade no combate às mudanças climáticas.

O caráter econômico pode ser visto tanto do ponto de vista da possibilidade de melhoria da renda dos quilombolas, em função do desenvolvimento da produtividade agrícola, como também pela redução dos custos com o gerenciamento do lodo nas ETEs. De acordo com Andreoli; Von Sperling; Fernandes (2014), a recuperação do lodo representa um alívio econômico importante para as estações de tratamento, visto que o custo com o manejo e disposição final do lodo geralmente é bastante alto, representando de 20% a 60% do custo total com a operação.

Quanto ao meio ambiente, Mohamed et al. (2022) relatam que os métodos convencionais de descarte do lodo, a exemplo da disposição em aterros sanitários, são responsáveis por até 40% da emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) das ETEs. Além disso, a presença de contaminantes emergentes no lodo, como fármacos, pesticidas e produtos de higiene, tem aumentado a preocupação quanto à sua aplicação direta no solo (Barbosa et al., 2024; Fijalkowski et al., 2017; Goldan et al., 2022). A transformação do lodo em biocarvão representa uma alternativa que pode contribuir para a diminuição do potencial de aquecimento global e para a expressiva redução tanto do volume quanto da disponibilidade de poluentes (Huang; Mohamed; Li, 2022).

Assim, de modo a alcançar os objetivos pretendidos e responder a questão central da pesquisa, esta tese foi estruturada em quatro Capítulos. O Capítulo I aborda a produção, caracterização e análise físico-química do biocarvão de lodo, visando obter um produto sustentável, seguro e adequado para uso agrícola. O Capítulo II examina a estabilidade do biocarvão de lodo a longo prazo e sua funcionalidade após envelhecimento, causado por intemperismo climático típico do semiárido nordestino. O Capítulo III discute evidências empíricas a respeito dos efeitos do biocarvão de lodo na capacidades de retenção hídrica do solo e suas implicações no crescimento de uma cultura típica da região (coentro). Por fim, o Capítulo IV explora as relações quilombolo-agricultura através da visão dos quilombolas, fazendo-se a relação com o seu modo de cultivar, possibilidade de utilização do biocarvão de lodo e perspectivas futuras.

2 OBJETIVOS E HÍPOTESES

2.1 OBJETIVOS

Investigar os efeitos da produção e uso de biocarvão de lodo de esgoto (BL) como adubo e condicionador orgânico e suas implicações para o desenvolvimento agroecológico da comunidade quilombola de Serra da Guia, localizada em Poço Redondo/Sergipe.

- Averiguar o potencial de destruição de poluentes presentes no lodo via pirólise e adequabilidade do lodo e do BL produzido como adubo e condicionador orgânico.
- Compreender o impacto do envelhecimento do BL em comparação com biocarvões de outras origens, com foco nas alterações dos mecanismos de interação entre biocarvão e solo no longo prazo.
- Avaliar os efeitos do BL em comparação com biocarvões de outras origens na capacidade de retenção hídrica do solo de Serra da Guia, e investigar suas implicações na produtividade de coentro (*Coriandrum sativum* L.).
- Realizar diagnóstico situacional do quilombo Serra da Guia, buscando compreender a relação dos quilombolas com a agricultura familiar e as oportunidades com o biocarvão de lodo.

2.2 HIPÓTESES

A hipótese central da pesquisa é de que a produção da agricultura familiar no quilombo Serra da Guia pode ser favorecida com a utilização de biocarvão de lodo de esgoto (BL), ao mesmo tempo em que esta pode ser uma solução sustentável para o manejo do lodo nas ETEs. A hipótese central será verificada por meio da testagem de quatro hipóteses:

- O BL é adequado e seguro para aplicação no solo, tendo em vista suas propriedades funcionais e degradação de poluentes após pirólise em temperatura superior a 400 °C.
- As características físico-químicas do BL alteram após o seu envelhecimento, porém a taxas lentas (elevada estabilidade), traduzindo em impactos positivos para a fertilidade do solo no curto, médio e longo prazo.
- A incorporação de BL no solo do quilombo Serra da Guia promove maior retenção hídrica e favorece o crescimento de coentro (*Coriandrum sativum* L.).
- O uso de BL contribui para o fortalecimento da agricultura familiar em Serra da Guia, favorecendo a resiliência e produtividade agrícola e alinhando-se aos saberes e práticas tradicionais dos quilombolas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

Em escala global, não é difícil notar como as atividades humanas e interações com o meio ambiente sofreram mudanças bruscas nos últimos anos. A Revolução Industrial, ocorrida há poucos mais de 200 anos na Inglaterra, foi um marco para essas transformações. Este foi um período caracterizado por inovações tecnológicas, aparecimento de máquinas em substituição à mão-de-obra humana, e desenvolvimento de métodos de extração e transformação de matérias-primas, culminando em transformações não só econômicas, como políticas, sociais e ambientais. A modernização advinda dessa revolução e subsequentes alterações do modo de vida e produção resultaram em um intenso processo de urbanização, associado a um crescimento populacional expressivo e inédito (Lima e Oliveira Neto, 2017).

Paralelamente à Revolução Industrial, ocorreram as Revoluções Agrícolas, as quais se beneficiavam das novas tecnologias para aumentar sua produção. Um exemplo disso foi a primeira Revolução Agrícola, ocorrida em torno dos séculos XVIII e XIX e caracterizada pelo Norfolk, que é um sistema de rotação de cultivos de aproximação entre as atividades agrícolas e pecuárias, aproveitando-se das simbioses naturais entre as espécies. Ao final do século XIX, porém, esse modelo passou a ficar limitado em função da alta demanda e dificuldades de produção em grande escala, o que acarretou num modelo monocultor estimulado pelos avanços industriais de fertilizantes, rações, defensivos e máquinas. Os desafios sociais, ambientais e econômicos oriundos de todas essas transformações são temas de discussões ao redor do mundo. Alterações climáticas, extinção de espécies e habitats, escassez de água, destruição da camada de ozônio, poluição do ar, água e solo, aumento do nível médio do mar, perda de vegetação, aumento das desigualdades, insegurança, fome, pobreza, diminuição da qualidade de vida e o surgimento de pandemias são exemplos de impactos negativos associados à essas modificações (Oliveira, Almeida e Silva, 2011).

Tendo em vista o reconhecimento da importância e magnitude da crise ambiental, manifesta-se, na década de 1960, as Ciências Ambientais. Segundo Azevedo, Junckes e Silva (2021, p. 159), as ciências ambientais surgem “como um campo específico do conhecimento, intrinsecamente relacionado ao reconhecimento dos problemas ambientais como uma questão relevante na esfera pública e marcado por forte interdisciplinaridade”. Isto é, não é possível investigar, refletir, discutir e propor alternativas de forma fragmentada. Abordagens mais integrativas são necessárias a fim de compreender as relações entre o homem e a natureza, seus efeitos e ameaças, inclusive, à continuidade da sua própria existência.

Nesse interim, um modelo de desenvolvimento mais sustentável tem sido proposto. Segundo Brundtland (1991), em sua obra “Nosso Futuro Comum”, a principal finalidade do desenvolvimento é suprir as necessidades e anseios humanos das gerações atuais e futuras. Isso inclui o atendimento de necessidades básicas, como alimentação, habitação e emprego, como também melhoria da qualidade de vida. Entretanto, para que esse desenvolvimento seja sustentável a longo prazo, é preciso que os padrões de consumo sejam compatíveis com os padrões ecológicos e tecnologias disponíveis. Além do mais, deve-se ter como prioridade a satisfação das necessidades básicas das populações, a qual ainda não é realidade para milhares de pessoas, principalmente em países menos desenvolvidos.

De acordo com Mensah (2019), o desenvolvimento sustentável tem como objetivo final o equilíbrio entre os pilares social, econômico e ambiental. Os aspectos sociais dependem de estruturas que garantam paz, respeito aos direitos humanos, acesso a sistemas de saúde adequados, condições de trabalho dignas, igualdade de gênero, educação de qualidade e estado de direito. A sustentabilidade econômica é pautada na compreensão de que os recursos disponíveis são finitos, logo, depende da adoção de meios de produção, distribuição e consumo adequados. Por fim, a sustentabilidade ambiental é guiada pela conservação da biodiversidade, respeito aos ecossistemas, e planejamento e uso consciente dos recursos naturais. Para alcançar esses objetivos, contudo, é necessário o envolvimento de esforços em vários níveis (comunidade científica, entidades governamentais e não governamentais, sociedade civil), com ampla participação pública e educação ambiental estabelecida.

Com o propósito de direcionar caminhos para um desenvolvimento sustentável, a Organização das Nações Unidas (ONU) propôs um pacto global, em 2015, criando a Agenda 2030. Nessa Agenda, 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram criados, com metas a serem alcançadas pelos países membros associados. Esses objetivos estão integrados, de maneira que a ação em uma área afetará os resultados em outras, sendo decisivo o compromisso de cada país em priorizar as áreas mais carentes dada a sua realidade (UNDP, 2022).

Os 17 ODS definidos na Agenda 2030 são: ODS 1 – Erradicação da pobreza, ODS 2 – Fome zero e agricultura sustentável, ODS 3 – Saúde e bem-estar, ODS 4 – Educação de qualidade, ODS 5 – Igualdade de gênero, ODS 6 – Água potável e saneamento, ODS 7 – Energia limpa e acessível, ODS 8 – Trabalho decente e desenvolvimento econômico, ODS 9 – Indústria, inovação e infraestrutura, ODS 10 – Redução das desigualdades, ODS 11 – Cidades e comunidades sustentáveis, ODS 12 – Consumo e produção responsáveis, ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima, ODS 14 – Vida na água, ODS 15 – Vida terrestre, ODS 16

– Paz, justiça e instituições eficazes, e ODS 17 – Parcerias e meios de implementação.

De acordo com o relatório atual das Nações Unidas (Sachs et al., 2022, p. 130), o Brasil se encontra estagnado em relação aos ODS 1, 2, 8, 12, 14, 15 e 17 e com piora no índice de desigualdades (ODS 10). Apenas os ODS 4, 6, 7 e 13 estão no caminho para alcançar as metas estabelecidas, e os demais obtiveram melhora moderada. Os maiores desafios se referem às condições de trabalho, desenvolvimento econômico, redução de desigualdades, vida na água, vida na terra, paz, justiça e instituições eficazes.

Nos próximos capítulos, os ODS 2 (fome zero e agricultura sustentável), ODS 6 (água potável e saneamento), ODS 10 (redução das desigualdades) e ODS 13 (ação contra a mudança global do clima) serão abordados com mais detalhes, associando os seus propósitos com a realidade brasileira e com o objeto de estudo dessa pesquisa.

3.2 FOME ZERO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL (ODS 2) E REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES (ODS 10)

O ODS 2 estabelecido na Agenda 2030 trata da erradicação da fome, do alcance da segurança alimentar e nutricional e da promoção da agricultura sustentável. Acabar com todas as formas de desnutrição; dobrar a produtividade agrícola e a renda de pequenos produtores, especialmente povos indígenas, comunidades quilombolas, mulheres, agricultores familiares, pastores e pescadores; garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, e implementar práticas agrícolas resilientes são exemplos de intenções desse ODS. Enquanto isso, o ODS 10 busca promover a inclusão social, econômica e política de todas as pessoas, independentemente de idade, gênero, deficiência, origem, etnia, religião ou condição econômica, garantindo igualdade de oportunidades e reduzindo disparidades de renda (Nações Unidas, 2025).

Segundo Silva et al. (2020), a agricultura sustentável pode ser entendida como aquela que adota práticas ambientalmente amigáveis, que utiliza tecnologias adequadas e economicamente viáveis, e que promove o desenvolvimento social de quem a pratica e consome seus produtos. A “agroecologia” e a “agricultura orgânica” são termos comumente utilizados e que se relacionam com essa definição. Andrade e Locatel (2019) deliberam que a agroecologia vai além de uma agricultura livre de produtos químicos e mecanizada. Trata-se de uma concepção que envolve o debate político, social, cultural, ideológico, ético e ambiental, porque vai na contramão da racionalidade econômica capitalista, visa à segurança alimentar e nutricional, valoriza e integra o conhecimento popular local, além de ser pautado na proteção dos recursos naturais.

A agricultura orgânica, por sua vez, aparece como uma agricultura alternativa. Segundo

Amador (2011, p.30), “a agricultura orgânica é a denominação utilizada no Brasil e nos países de língua inglesa para os sistemas de produção agropecuária de forma natural, sem agrotóxicos ou qualquer outro recurso que contribua para a produção e/ou contenção de pragas e doenças”. Refere-se a uma estratégia no caminho da sustentabilidade, pois promove a conservação dos recursos naturais e evita a toxicidade alimentar dos agricultores e consumidores.

Por outro lado, Andrade e Locatel (2019) criticam a apropriação do termo “orgânico” em processos que fogem da lógica da agroecologia, pois acreditam que essa apropriação pode banalizar o termo. Isso porque, embora os produtos comercializados sejam mais saudáveis por não utilizarem fertilizantes químicos e agrotóxicos, nos mercados orgânicos de larga escala ainda é predominante a lógica da agricultura convencional. Além de serem, muitas vezes, excludentes, uma vez que produtos orgânicos precisam de selos para atestar sua qualidade, o que significa que camponeses que não podem arcar com essa certificação dependem da confiança de consumidores ou de associações e sindicatos fortes, quando existentes.

A procura por alimentos orgânicos tem crescido no Brasil, acompanhando a tendência mundial. De acordo com Superintendência Federal da Agricultura, no Estado de Sergipe, por exemplo, tem-se a produção de uma grande variedade de produtos orgânicos, como hortaliças, verduras, frutas, legumes, raízes, além de produtos de origem animal e flores. Essas produções são realizadas, principalmente, por agricultores familiares e são normalmente comercializadas em feiras livres (Santos e Souza, 2014). No entanto, o acesso a alimentos de qualidade e em quantidade suficiente no Brasil ainda é bastante desigual, fazendo com que o país apresente índices elevados de insegurança alimentar e nutricional, particularmente em regiões em situação de vulnerabilidade social (Galindo et al., 2021).

3.2.1 Segurança alimentar e nutricional no Brasil

Um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade é a insegurança alimentar, devido a fatores como mudanças climáticas, crises hídricas, desigualdade social, redução da qualidade da água disponível, redução de terras aráveis e multifuncionalidade da agricultura (Rodrigues, 2016). Segundo o art. 3º da Lei 11.346:

A segurança alimentar e nutricional consiste na realização do direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo como base práticas alimentares promotoras de saúde que respeitem a diversidade cultural e que sejam ambiental, cultural, econômica e socialmente sustentáveis (BRASIL, 2006a, p.1).

A construção do conceito de segurança alimentar no Brasil foi influenciada pelas reflexões da Revolução Verde, onde se observava o paradoxo do grande volume de exportação agrícola baseada na monocultura e à pressão exercida aos governantes da época quanto à fome que assolava parte considerável na população. Ou seja, a miséria e a fome estavam associadas à falta de acesso ao alimento e não à capacidade de produção do país. Em contraponto, o papel da agricultura familiar tem ganhado destaque nos últimos anos no Brasil devido à sua contribuição para o abastecimento interno de alimentos, com modalidades de produção agrícola diversificadas e produção de gêneros alimentícios que valorizam a regionalidade (Carvalho Neto, 2016).

Galindo et al. (2021) destacam que a insegurança alimentar é um problema gravíssimo no Brasil e que foi impactado ainda mais com a pandemia da Covid-19. O índice de segurança alimentar no país atualmente é de apenas 40,6%, sendo as áreas rurais as mais atingidas, com percentagem de insegurança alimentar de 75,5% contra 55,7% em áreas urbanas. Ainda, é possível verificar uma disparidade significativa entre as regiões do Brasil. Em 2024, segundo Arbex; Santos; Souza (2025), 2,66 milhões de famílias (12,8%) estavam em risco de insegurança alimentar grave, com maior concentração no Nordeste (43,2%), seguido do Sudeste (27,3%) e Norte (20,4%). A maioria dessas famílias tinha mulheres e pessoas negras como responsáveis, sendo que a proporção de risco era muito maior entre responsáveis negros(as) (16,8%) do que entre brancos(as) (2,1%), revelando disparidades sociais e regionais que exigem políticas públicas direcionadas e adaptadas às especificidades locais.

O Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) é um exemplo de iniciativa governamental para o combate à fome no Brasil, cujas propostas alinham-se àquelas definidas no ODS 2. Esse programa faz parte do Programa Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (PNSAN) desde 2005, e prevê o apoio ao desenvolvimento sustentável de agricultores familiares a partir de incentivos para a compra de alimentos variados, saudáveis e seguros produzidos por essas comunidades. Os alimentos adquiridos pelo Estado são destinados à alimentação escolar e devem suprir as necessidades nutricionais dos estudantes durante o período letivo, além de serem compatíveis com os hábitos e tradições locais, respeitando os aspectos culturais próprios da região (Frizero, 2016).

Desse modo, o PNSAN atua como um programa assistencialista, suplementar à política educacional, e que além de trazer benefícios à segurança alimentar infanto-juvenil, também abre caminhos para a permanência da agricultura familiar no campo (Santos e Garcia, 2017). A lei 11.947, artigo 14, prevê que no mínimo 30% dos recursos financeiros repassados pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento (FNDE) para o PNAE devem ser direcionados para

a obtenção de alimentos “diretamente da agricultura familiar e do empreendedor familiar rural ou de suas organizações, priorizando-se os assentamentos da reforma agrária, as comunidades tradicionais indígenas e comunidades quilombolas” (BRASIL, 2009).

3.2.2 Papel da agricultura familiar no combate à insegurança alimentar

De acordo com o art. 3º da Lei nº 11.326 – Política Nacional de Agricultura Familiar (BRASIL, 2006b), considera-se agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que atende a alguns critérios, como limite de área, percentual mínimo da renda familiar originada no próprio estabelecimento, predominância de mão de obra da própria família e gestão familiar. Segundo Niederle (2017), a institucionalização da agricultura familiar foi amplamente discutida nos países do Mercosul (Resolução CMC nº 25/2007), de modo a unificar conceitos e direcionar as políticas públicas de desenvolvimento rural nesses países.

Entretanto, mediante uma reflexão histórica da relação homem/natureza de agricultores familiares na Amazônia Oriental, Oliveira, Almeida e Silva (2011) reportam que o modo de viver dessas comunidades inicialmente era baseado numa visão de pertencimento, onde a terra era entendida como meio de subsistência e convívio social. Porém, com o passar do tempo, a garantia da reprodução social da família e condições socioeconômicas desfavoráveis não impediram que os recursos fossem utilizados até se esgotar, demonstrando a insustentabilidade dessa prática, assim como aquelas focadas no lucro e na exploração. Consequentemente, começaram a surgir os movimentos de críticas aos modelos de agricultura que empregam pouca diversidade, independentemente da escala.

Nascimento et al. (2019) ressaltam que o empoderamento da agricultura familiar pode contribuir para a sustentabilidade dos meios de produção agrícola, quando valoriza o cultivo de alimentos saudáveis e estimula uma produção diversificada e ambientalmente amigável, contribuindo para a economia local e minimizando condições de insegurança alimentar e nutricional. No contexto sergipano, entretanto, os autores alertam que o índice de estabelecimentos que recebem orientação técnica é muito baixo, apenas 8,89%, evidenciando a necessidade de maior apoio para ampliação desses serviços e fortalecimento da agricultura familiar no estado.

3.2.3 Agricultores familiares quilombolas

A realidade histórica vivida pelos africanos trazidos ao Brasil no regime escravocrata e passada adiante para os seus descendentes, resultou na formação de grupos e organizações de resistência ao longo do tempo, a exemplo dos quilombos. Segundo o Instituto Nacional de

Colonização e Reforma Agrária (INCRA), órgão da Federação responsável pela titulação dos quilombos:

O termo quilombo é uma categoria jurídica usada pelo Estado brasileiro a partir da Promulgação da Constituição Federal de 1988, visando assegurar a propriedade definitiva às comunidades negras rurais dotadas de uma trajetória histórica própria e relações territoriais específicas, bem como ancestralidade negra relacionada com o período escravocrata. Nesse sentido, há outras terminologias para o termo quilombo, como Terras de Preto, Terras de Santo, Mocambo, Terra de Pobre, entre outros (INCRA, 2017, p.4).

Feitosa (2021) aponta que o direito à terra é uma das reivindicações básicas dos quilombolas, haja vista a importância da propriedade não só como moradia, mas também como meio de subsistência, a qual é tipicamente baseada na agricultura. Para além disso, as comunidades quilombolas vivenciam a busca por reconhecimento étnico e lutam pelo direito à preservação, manifestação e perpetuação de sua cultura e saberes.

Pela primeira vez, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizou o levantamento completo da população quilombola residente no território nacional por meio do Censo 2022. Segundo o levantamento, existem 1,3 milhão de quilombolas no Brasil distribuídos em 1.696 municípios. Grande parte dessa população está concentrada na região Nordeste (68,19%), e apenas 12,6% da população quilombola brasileira reside em territórios oficialmente reconhecidos (IBGE, 2023).

Segundo Arruti et al. (2022), a questão quilombola ainda não é suficientemente explorada pela comunidade científica, refletindo a invisibilidade desses povos frente a um histórico discriminatório e excludente. A invisibilidade e marginalização sofrida por essas comunidades também é traduzida nos índices socioeconômicos. De acordo com Feitosa et al., (2021), 72,8% das famílias quilombolas cadastradas no INCRA dependem de programas de assistência social, dentre as quais 71,9% estão classificados na faixa de renda de “extrema pobreza”. Os índices de vulnerabilidade social dessa população estão relacionados desde ao isolamento geográfico, resultando em inacessibilidade a infraestruturas básicas como rede de água e esgoto, até a carência de acesso a serviços públicos de saúde e educação.

Como estratégia de sobrevivência, muitos quilombos praticam a agricultura familiar. Entretanto, o abastecimento familiar de alimentos em quantidade e qualidade muitas vezes não é suficiente, fazendo com que os quilombolas componham parte relevante das populações em situação de insegurança alimentar e nutricional no Brasil. Essa realidade é ainda mais grave quanto mais afastado o quilombo for dos centros urbanos. Nesse sentido, o desenvolvimento de ações e programas agrícolas específicos são cruciais para a soberania alimentar e bem-estar nos

quilombos, sendo importante a valorização dos saberes agrícola e culinário locais que são fundamentais para a preservação de sua identidade cultural (Pinto *et al.*, 2014).

3.3 ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO (ODS 6) E AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA (ODS 13)

O ODS 6 elaborado na Agenda 2030 trata da garantia de disponibilidade e gestão sustentável da água e do saneamento para todos. Entre as ações propostas, destacam-se a universalização do acesso à água potável, a erradicação da defecação a céu aberto, a redução pela metade do volume de efluentes não tratados, o aumento substancial da reciclagem e reutilização de resíduos, bem como o fortalecimento das comunidades locais para aprimorar a gestão do saneamento. Já o ODS 13, voltado para a ação contra a mudança global do clima, abrange metas como a integração de medidas de mitigação e adaptação às políticas e estratégias nacionais e a mobilização de recursos financeiros, tecnológicos e institucionais para apoiar ações climáticas, especialmente em países em desenvolvimento (Nações Unidas, 2025).

O saneamento básico compreende os serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; drenagem de águas pluviais; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2007). Embora seja comprovado que investimentos em saneamento básico geram reduções significativas de custos com saúde pública, por meio da prevenção de diversas doenças como febres entéricas, hepatite A, dengue, esquistossomose, leptospirose, etc, os índices de cobertura de saneamento básico no Brasil estão muito aquém do desejado (Bayer, Uranga e Fochezatto, 2021).

O diagnóstico mais atual do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA, 2025), referente ao ano de 2023, revela que o índice de atendimento total de água no Brasil é de 83,1%, com desigualdades relevantes entre as regiões do país. Por exemplo, a região Sudeste possuiu os maiores índices (90,5%), enquanto a região Norte possuiu os menores (60,9%). O esgotamento sanitário é o setor do saneamento básico mais atrasado, representando um grande risco à saúde pública, uma vez que esgotos sem tratamento são as principais causas de poluição hídrica no Brasil. O índice de atendimento com rede coletora pública de esgoto é de 59,7%, e apenas 49,4% dos esgotos gerados são tratados. Em Sergipe, há uma carência enorme quanto ao esgotamento sanitário. Somente 23,45% dos domicílios totais do estado possuem coleta e tratamento de esgoto.

3.3.1 A problemática do saneamento básico no Brasil

Haja vista os péssimos índices de esgotamento sanitário no Brasil, ações urgentes são necessárias nesse setor. As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) são responsáveis por tratar os esgotos gerados nas áreas rurais e/ou urbanas, que podem ser de origem doméstica, industrial e/ou comercial. Essas unidades são essenciais para a proteção ambiental e condições de saúde e bem-estar de uma sociedade, pois promovem a remoção de contaminantes, matéria orgânica e nutrientes do esgoto a níveis aceitáveis antes de devolvê-lo à natureza (Carvalho, 2018).

O tratamento convencional dos esgotos é realizado por meio de várias etapas. O pré-tratamento (gradeamento e desarenação) visa a remoção de sólidos grosseiros e areia mediante processos físicos utilizando grades e canais de sedimentação. Em seguida, no tratamento primário, procede-se a equalização e neutralização da carga do esgoto por meio de processos físico-químicos como floculação ou decantação primária. A partir daí, o esgoto segue para o tratamento secundário, também conhecido como biológico, onde ocorre a decomposição de parte da matéria orgânica diluída no esgoto através da ação de microrganismos. Essas reações bioquímicas resultam na formação de gases (biogás) e sólidos (lodo), que podem ser capturados e aproveitados para outros fins. Por fim, a depender da qualidade do efluente e das características do corpo receptor, um tratamento terciário pode ser necessário para remover compostos remanescentes indesejáveis (Andreoli, Von Sperling e Fernandes, 2014).

De acordo com Morandi et al. (2018), independentemente da tecnologia empregada, subprodutos gasosos e sólidos (biogás e lodo) são gerados nas ETEs e precisam ser dispostos de forma adequada para não degradarem o meio ambiente. O biogás, por conter altos teores de metano, pode ser capturado e aproveitado como gás energético. O lodo, por sua vez, acumula-se gradativamente no fundo dos tanques, devendo ser periodicamente removido. O aproveitamento desses resíduos se torna uma condição necessária para a sustentabilidade no tratamento de efluentes e deve ser incluído em sistemas atuais e futuros. Essa sustentabilidade é consolidada em virtude de aspectos econômicos, uma vez que possibilita a redução de custos operacionais e de energia nas estações; ambientais, devido à redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) e à proteção contra possíveis contaminações; e sociais, com impacto positivo direto na saúde da população por meio de condições sanitárias adequadas.

Nesse sentido, visando o impulsionamento do esgotamento sanitário em Sergipe e alinhando-se às propostas do ODS 6 e ODS 13, uma solução para a reciclagem do lodo de esgoto gerado nas ETEs do estado de Sergipe foi investigada, possibilitando o aproveitamento útil e sustentável desse material.

3.3.2 Lodo de esgoto

Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2014) afirmam que o lodo é o resíduo sólido resultante do tratamento dos esgotos e, embora seja designado como sólido, tem consistência pastosa/líquida, podendo ter mais de 95% de água e sendo preciso passar por processos de secagem para redução da umidade e do volume a ser manejado. A depender da etapa do tratamento, o lodo pode ser classificado como primário (composto pelos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto), biológico ou secundário (composto pela biomassa desenvolvida na etapa biológica do tratamento), misto (quando há a mistura do lodo primário e secundário), e químico (quando há incorporação de compostos químicos no tratamento).

Devido à grande presença de sólidos orgânicos e possibilidades de aproveitamento, o lodo também pode ser chamado de bio sólido. Spinosa (2007) afirma que o termo “lodo de esgoto” se refere unicamente ao resíduo semissólido extraído das unidades de tratamento de esgoto, enquanto “bio sólido” seria um termo mais adequado ao lodo que passou por algum tratamento ou condicionamento. Por outro lado, o termo “bio sólido” pode ser muito genérico porque qualquer material rico em substâncias orgânicas e adequado ao aproveitamento pode ser receber essa nomenclatura. Como nesse estudo o lodo de esgoto desidratado foi a matéria-prima dos experimentos, mas não se teve a intenção de desassociar o termo “bio sólido” do termo “lodo de esgoto”, essa diferenciação não foi considerada e ambos os termos foram considerados sinônimos.

As características do lodo podem variar, dentre outros fatores, em função da tecnologia empregada, da etapa e eficiência do tratamento, e da qualidade do esgoto. De acordo com Melo e Marques (2000) apud Batista (2015), o lodo de esgoto é formado por água e sólidos orgânicos e inorgânicos. A fração sólida é composta por uma variedade de elementos, tais como proteínas, carboidratos, nutrientes, óleos, graxas, metais, microrganismos patogênicos e não patogênicos, além de contaminantes tóxicos, os quais geralmente estão associados a contribuições de esgotos industriais. Dentre esses sólidos, em média, 70% são compostos orgânicos e 30% inorgânicos.

Outro aspecto importante sobre o lodo é que o volume gerado é elevado e representa uma despesa grande para a ETE. Conforme Ghorbani et al. (2022), estima-se que há no Brasil uma produção total de 3,1 milhões de toneladas de lodo seco por ano, mesmo com os baixos índice de coleta e tratamento de esgotos. Isso significa que a produção de lodo tende a aumentar significativamente nos próximos anos com a ampliação do atendimento dos serviços de esgotamento sanitário. Embora o aumento da geração de lodo de esgoto represente uma grande preocupação ambiental em decorrência dos riscos ambientais associados, o seu aproveitamento/reciclagem é possível. Por exemplo, a recuperação do lodo representa um alívio

econômico importante para as ETE, pois o custo com o seu manejo e disposição final geralmente é bastante alto, representando de 20% a 60% do custo total com a operação (Andreoli, Von Sperling e Fernandes, 2014).

Segundo Lobo et al. (2015), a maior parte do lodo gerado no Brasil é conduzido à aterros sanitários, sem qualquer aproveitamento, e com custos de transporte elevados, já que muitas vezes esses aterros não se encontram próximos às ETEs. Não obstante, Castro, Rodrigues e Scalize (2018) ressaltam que diferentes soluções tecnológicas têm sido exploradas para o tratamento e descarte do lodo, como aplicação na agricultura, conversão térmica, compostagem, produção de artefatos cerâmicos, geração de energia e construção civil. Porém, há uma escassez de informação oficial quanto à disposição final dos lodos de esgoto produzidos no Brasil, o que sugere que a sua gestão é muitas vezes negligenciada.

3.3.3 Aplicação de lodo de esgoto na agricultura

Os principais riscos ambientais e à saúde pública associados ao descarte inadequado do lodo são a possibilidade de contaminação por patógenos (vírus, bactérias, fungos, protozoários, etc), metais pesados e poluentes emergentes, tais como: resíduos farmacêuticos, resíduos de produtos de pessoais e de higiene, pesticidas, entre outros (Fijalkowski *et al.*, 2017). Ainda, vale destacar que a geração de lodo é inevitável e inerente às atividades humanas básicas, não sendo possível a sua não geração. Dessa forma, são cruciais o desenvolvimento e a adoção de técnicas que possibilitem o uso otimizado desse material, reduzindo o seu potencial poluidor e maximizando os benefícios oriundos do seu aproveitamento.

No Quadro 1 são apresentados os principais impactos ambientais a serem considerados no gerenciamento do lodo. Como pode ser visto, os impactos ambientais relacionados ao gerenciamento do lodo são diversos. O uso agrícola do lodo de esgoto no Brasil é regulamentado pela Resolução Conama nº 498 (CONAMA, 2020), que define os critérios e procedimentos para a aplicação de biossólidos em solos, com necessidade de um plano de gerenciamento e licenciamento ambiental.

Todavia, a crescente presença de poluentes emergentes nos lodos de esgoto, os quais não são facilmente degradáveis por processos convencionais de tratamento, podem colocar em questão a viabilidade da aplicação do lodo de esgoto “*in natura*” no solo. Além disso, não existem legislações específicas para outros usos do lodo no Brasil, o que pode ser um entrave na concretização de ações de aproveitamento ou reciclagem desse material em outros setores.

Quadro 1 - Impactos ambientais a serem considerados no gerenciamento do lodo

Item	Comentário
Odores	Devem ser analisados na fase de processamento e destino final. Pode ser um fator preponderante no caso da reciclagem agrícola ou um fator secundário na incineração.
Atração de insetos	A atração de vetores está ligada ao odor, sendo um dos grandes problemas no processamento e destino final do lodo.
Ruído	É um fator importante em áreas urbanizadas.
Transporte	A forma de transporte e a rota a ser seguida são os aspectos mais importantes.
Riscos sanitários	Embora difícil de ser avaliado objetivamente, o risco guarda uma relação entre o número de pessoas expostas ao uso do lodo, a qualidade do lodo e as rotas de infecção.
Contaminação do ar	O ar pode ser contaminado por fumaças ou partículas sólidas no caso de aspersão.
Contaminação do solo e subsolo	Bastante variável em função do tipo de disposição final e da metodologia empregada.
Contaminação das águas superficiais ou subterrâneas	É um dos principais aspectos da disposição no solo ou em aterros. O risco dependerá da tecnologia empregada e do monitoramento.
Valorização ou desvalorização de áreas próximas	É um dado que pode ser avaliado de forma mais objetiva, em termos de valor de mercado dos terrenos nas áreas anexas.
Incômodos à população afetada	Algumas soluções, além de afetar a vida de muitas pessoas, podem gerar grupos de resistência contra a implantação de uma dada forma de destino final.

Fonte: Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2014)

Recentemente, estudos vem mostrando a viabilidade da produção de biocarvão a partir do lodo, com várias possibilidades de aplicação. No entanto, diversos fatores precisam ser estudados com mais profundidade para que esse aproveitamento seja seguro e eficiente.

3.4 BIOCARVÃO

3.4.1 Definição, obtenção e aplicações

Biocarvões são produtos sólidos ricos em carbono, com potencial econômico e ambiental, que podem ser obtidos por meio da pirólise de biomassas. A pirólise consiste em um processo de conversão térmica em compartimentos fechados, na ausência ou em condições limitadas de oxigênio (IBI, 2015; Wisniewski Jr, 2020). Sun et al. (2014) destacam que biocarvões podem ser produzidos a partir de uma enorme variedade de resíduos orgânicos, como biossólidos urbanos, agroindustriais e florestais das mais diversas origens, em temperaturas que podem variar entre 300°C e 1000°C. Dessa forma, apresenta-se como uma alternativa importante para a destinação sustentável desses resíduos, contribuindo para a mitigação dos problemas ambientais associados à degradação natural da matéria orgânica.

Durante a pirólise de materiais orgânicos, além da formação do biocarvão, há também a formação de gases (biogás) e óleo (bio-óleo), os quais podem ser aproveitados como

biocombustíveis. A composição da biomassa, a temperatura da pirólise, o pré-tratamento e as taxas de aquecimento aplicadas interferem nas características do biocarvão formado e na proporção entre biogás, bio-óleo e biocarvão (Luna, Marques e Ramos, 2020). A depender do tempo de residência da biomassa nos fornos, a pirólise pode ser dividida em classes: i) pirólise lenta/carbonização, com duração de horas/dias; ii) pirólise convencional, com duração de minutos; e iii) pirólise rápida, com duração de alguns segundos. A escolha do tipo de pirólise influencia no produto gerado. Por exemplo, a pirólise rápida é mais indicada quando se objetiva extrair bio-óleo, enquanto as pirólises lenta e convencional terão como produto final uma maior proporção de biocarvão (Wisniewski Jr, 2020).

Weber e Quicker (2018) relatam que biomassas são compostas por celulose, hemicelulose e lignina, e sua conversão térmica entre 200°C e 400°C provoca mudanças significativas em termos de composição. É nessa faixa de temperatura, por exemplo, que ocorre a decomposição da maior parte de hemicelulose e uma parte da celulose. Além disso, verifica-se maior grau de carbonização, provocado pelo aumento da temperatura e/ou do tempo de residência, resultando em maior teor relativo de carbono, maior teor de cinzas, e menor teores de oxigênio e hidrogênio.

A pirólise de biomassas provoca também uma elevação da área superficial do material em função do aumento de sua porosidade, permitindo que o biocarvão possa ser utilizado como material adsorvente (Zhu *et al.*, 2019). Além do mais, a produção de biocarvão possui grande relevância na gestão ambiental porque está atrelado a diversos segmentos. Pode ser aplicado como melhorador de solo, com repercussões positivas para a agricultura e reflorestamento, na produção de fontes renováveis de energia, atuando como material adsorvente, e também como alternativa de reciclagem no manejo de resíduos sólidos (Lehmann e Joseph, 2009).

Mašek *et al.* (2018) ressaltam que embora as características dos biocarvões sejam influenciados por diversos fatores, é possível produzi-los em escalas consideravelmente diferentes e utilizando diferentes tecnologias de pirólise sem alterar significativamente os principais parâmetros de qualidade. Adicionalmente, novos métodos de produção de biocarvão tem surgido com o objetivo de otimizar os seus usos, como, por exemplo, possibilitando a utilização de biomassas problemáticas por meio da co-pirólise de lodo de esgoto com biomassas descontaminadas (Wang *et al.*, 2020). Para tanto, é preciso haver um conhecimento sobre o material pirolisado para ajuste das condições de pirólise conforme produto desejado.

No Quadro 2 apresenta-se um resumo com algumas possibilidades de aplicações de biocarvão e os benefícios associados.

Quadro 2 - Possibilidades de uso de biocarvões e benefícios associados

Aplicação	Benefícios	Referência
Melhoramento de solo	- Aumento da fertilidade do solo - Melhor assimilação e retenção de nutrientes - Maior produtividade agrícola	Farrar et al. (2022); Mierzwa-hersztek et al. (2020)
Produção de energia	- Suprimento de energia renovável - Produção de calor limpo	Lehmann e Joseph, (2009)
Gestão de Resíduos Sólidos	- Forma de tratamento para resíduos com potencial poluidor - Redução do peso e volume para manejo - Reintrodução do resíduo na cadeia produtiva - Redução da energia gasta com o transporte dos resíduos	Lehmann e Joseph, (2009)
Mitigação do aquecimento global	- Potencial para sequestrar carbono no solo - Armazenamento de carbono na forma recalcitrante - Redução da concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera	Guo, He e Uchimiya (2016)
Descontaminante	- Atuando como material adsorvente para a remoção de contaminantes e micropoluentes (metais pesados, fármacos, corantes, nutrientes, etc)	Egbedina et al. (2021)

Fonte: Elaboração própria.

3.4.2 Potencial do biocarvão na agricultura

O condicionamento de solos com biocarvão remete a estudos com a “Terra Preta de Índio” (TPI). Mangrich, Maia e Novotny (2011) relatam que a TPI foi encontrada em terras indígenas amazônicas. Trata-se de terras extremamente férteis, com elevadas concentrações de partículas microscópicas de carvão e que possuem grande capacidade de reter água.

Existem estudos controversos sobre a origem da TPI. Silva et al. (2021) defendem a hipótese de que esse solo foi formado por condições naturais, causada pelo acúmulo de cinzas de grandes incêndios florestais, sem a interferência antrópica. Essa hipótese vai na contramão de pesquisas anteriores, que previam que essa terra seria resultado da ocupação prolongada de povos indígenas devido ao acúmulo de restos de comida preparadas com fogo e da disposição de fezes e resíduos orgânicos. O fato é que os estudos sobre a origem e formação da TPI têm servido de referência sobre a possibilidade de melhorar a fertilidade de solos em outras regiões com a incorporação de carbono estabilizado de biomassa (biocarvão).

Alguns estudos têm explorado os efeitos do biocarvão no crescimento e desenvolvimento de plantas, outros na biodiversidade microbiana, e alguns focam nas alterações provocadas nas dinâmicas de absorção e lixiviação da contaminantes. Os impactos reportados nos cultivos agrícolas, em geral, se referem ao aumento da produção, maior teor de matéria orgânica, aumento da estabilidade do solo, e maior capacidade de retenção de água e

de assimilação de nutrientes. Com relação à atividade microbiana, verifica-se maior diversidade funcional de rizobactérias promotoras do crescimento de plantas e o fortalecimento do sistema defensivo contra infecções (Kavitha *et al.*, 2018). Além disso, estudos têm reportado que o condicionamento de solo com biocarvão pode ser benéfico para a correção de solos problemáticos, como por exemplo reduzindo a absorção de contaminantes (metais pesados, pesticidas, fármacos, etc) pelas plantas, e evitando o carreamento dessas substâncias para outras áreas em períodos chuvosos (Yu *et al.*, 2019).

Não obstante, mesmo com todos os benefícios apresentados, a aplicação de biocarvões apresenta limitações. Uma dessas limitações é a considerável variabilidade dos efeitos observados a depender do tipo de biocarvão, tipo de solo, dosagem ou condições de pirólise. Isto é, um tipo específico de solo pode ter respostas diferentes quando são utilizados biocarvões distintos. Da mesma forma, o mesmo biocarvão pode resultar em excelentes benefícios quando aplicado em um tipo de solo e não apresentar efeito significativo quando aplicado em outro (Gonzaga *et al.*, 2018).

Para mais, Safaei Khorram *et al.* (2018) reportam que a aplicação de biocarvão em concentrações relativamente altas no solo podem provocar o crescimento de ervas daninhas, e Joseph *et al.* (2018) destacam que o biocarvão pode atuar como competidor ao invés de fornecer nutrientes para as plantas. Segundo Gao e DeLuca (2018), a maior parte dos experimentos conduzidos sobre os efeitos de biocarvão no solo foram em pequenas escalas e durante curtos períodos de tempo; e para Guo, He e Uchimiya (2016) os efeitos do envelhecimento do biocarvão são pouco conhecidos e sua estabilidade no solo ainda é incerta a longo prazo, o que dificulta conclusões definitivas sobre o seu real potencial no combate ao aquecimento global.

O International Biochar Initiative (IBI, 2015) e o European Biochar Certificate (EBC, 2023) definem um conjunto de métodos padronizados para análise das propriedades físico-químicas de biocarvões e orientam sobre sua produção e uso sustentável. Essas orientações permitem a identificação da qualidade e aplicabilidade do biocarvão e podem ser utilizados como parâmetro de análise nos estudos, tendo em vista a falta de diretrizes específicas no Brasil.

3.4.3 Estabilidade do biocarvão

O aquecimento global está associado ao ciclo do carbono, o qual compreende os fluxos de carbono entre as esferas do Planeta Terra. No ciclo biológico do carbono, os organismos fotossintetizantes assimilam o CO₂ da atmosfera e sintetizam compostos orgânicos. Essa biomassa é consumida pelos demais organismos na cadeia alimentar e o carbono assimilado retorna à atmosfera por meio da respiração ou decomposição (CO₂ e CH₄). Entretanto, desde a

Revolução Industrial, o balanço de entrada e saída de carbono na atmosfera tem sofrido grandes modificações devido a ações antrópicas como queima de combustíveis fósseis e desmatamentos, sendo necessária a adoção de medidas que minimizem as concentrações de Gases do Efeito Estufa (GEE) na atmosfera (Rocha *et al.*, 2005).

A importância do biocarvão no combate ao aquecimento global se dá por este ser um material obtido através de um processo de conversão térmica que mantém o carbono de forma recalcitrante em sua estrutura. Isto é, o biocarvão resiste mais à decomposição do que uma biomassa que não foi pirolisada. Portanto, estocar biocarvão no solo é uma forma de reduzir a taxa de retorno de carbono de uma biomassa à atmosfera, sendo adequado dizer que esta é uma forma de sequestro de carbono (Guo, He e Uchimiya, 2016). Essa propriedade do biocarvão confere um papel importante quanto ao ODS 13, que se refere à adoção de medidas urgentes no combate as mudanças climáticas e seus impactos.

Para que o sequestro de carbono a partir do biocarvão seja relevante, é importante que as frações instáveis e estáveis do biocarvão sejam contabilizadas para verificar qual teor de carbono permanecerá estável por longos períodos. O carbono lábil do biocarvão refere-se a parcela da biomassa que não foi totalmente convertida durante a pirólise. Essa fração parcialmente modificada é rapidamente mineralizada no solo (semanas), resultando em um pequeno fluxo de CO₂ a curto prazo. Já o carbono recalcitrante é a parcela do biocarvão que permanecerá estável por longos períodos (ordem de séculos). Considera-se que existe uma parcela do carbono com estabilidade intermediária e de difícil determinação, já que a sua decomposição pode acontecer em poucos anos, mas pode também permanecer estável por décadas (Crombie *et al.*, 2015; Mašek *et al.*, 2013).

A estabilidade de biocarvões no solo vai depender de diversos fatores, tais como: condições de pirólise (temperatura, taxa de aquecimento, tempo de residência da biomassa), tipo de biomassa empregada como matéria-prima, e propriedades do solo. Sendo assim, a combinação desses fatores deve ser investigada a fim de obter um biocarvão com características apropriadas ao fim pretendido, pois situações diferentes requerem biocarvões com propriedades distintas. Por exemplo, caso a motivação principal para aplicação do biocarvão no solo seja o sequestro de carbono, uma elevada fração de carbono recalcitrante é desejável. Por outro lado, biocarvões com maior fração lábil podem apresentar melhor desempenho na fertilidade do solo. Logo, encontrar um equilíbrio entre esses aspectos é importante para se obter ganhos tanto na agricultura como na mitigação do aquecimento global (Crombie *et al.*, 2015).

Por fim, em um estudo sobre o potencial global da produção e uso sustentável de biocarvão, foi evidenciado que emissões líquidas de gases do efeito estufa podem ser reduzidas

em até 1,8 Gt de CO₂equivalente por ano, correspondente a 12% das emissões antrópicas. Numa previsão de produção de biocarvão e combustão de biomassas para um período de 100 anos, constatou-se que 50% das emissões seriam evitadas devido ao carbono sequestrado, 30% devido à substituição de energia de combustível fóssil por energia pirolítica e 20% devido às emissões evitadas de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (Woolf *et al.*, 2010). Sob o mesmo ponto de vista, foi estimado que a China pode reduzir um acumulado de 8.620 Mt de CO₂equivalente até 2050, o que seria equivalente a 13-31% da meta global de redução das emissões de GEE para sistemas de bioenergia com captura e armazenamento de carbono (Yang *et al.*, 2021).

3.4.4 Biocarvão de lodo de esgoto

Uma das alternativas citadas nessa fundamentação teórica para o tratamento e disposição do lodo é a sua conversão térmica, que pode ser por incineração ou pirólise. Ambos processos promovem a inativação de patógenos, porém, a vantagem da pirólise é que não há desperdício, já que todos os produtos gerados (gás, óleo e carvão) podem ser aproveitados, enquanto na incineração o descarte das cinzas e controle das emissões de gases tóxicos são obstáculos a serem ultrapassados (Samolada e Zabaniotou, 2014).

Um estudo de revisão sobre a utilização de biocarvão de lodo em solos concluiu que a pirólise propicia o aproveitamento deste material de maneira mais segura se comparado com a aplicação do lodo *in natura*, por causa da reduzida biodisponibilidade de metais pesados e da maior estabilidade a longo prazo (Goldan *et al.*, 2022). Por meio de uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), Huang, Mohamed e Li (2022) constataram que esse tratamento resulta em menor potencial de aquecimento global, se comparado aos métodos convencionais de tratamento de lodo, e possibilita ganhos energéticos e econômicos. Segundo os autores, um processo simplificado de produção de biocarvão de lodo, o qual inclui as etapas de secagem e pirólise lenta a 500 °C, resulta em balanço energético positivo, mesmo com o aproveitamento do biogás não sendo suficiente para suprir toda a demanda energética. Tal fato se deve à compensação proporcionada com os ganhos energéticos oriundos do aproveitamento do bio-óleo e do sequestro de carbono.

A análise de viabilidade econômica apontou que a principal receita é obtida com a comercialização do biocarvão. Estimou-se um custo de produção de 0,78 dólares Canadenses por quilo de biocarvão, com Valor Presente Líquido positivo, significando que o processo é economicamente rentável (Huang, Mohamed e Li, 2022). É importante destacar que essa viabilidade econômica é em função de uma realidade tecnológica e cultural diferente da

brasileira, sendo primordial o desenvolvimento de pesquisas futuras para a averiguação dos custos e receitas envolvidos com o processo no Brasil. De qualquer modo, os benefícios socioambientais e energéticos são de grande valia por si só, especialmente no cenário atual de grande insustentabilidade.

Adicionalmente, os impactos observados no solo com este tipo de biocarvão se assemelham, de maneira geral, aos obtidos com outros biossólidos (aumento da capacidade de troca catiônica, correção de pH, maior retenção de nutrientes e maior atividade microbiana). Os principais efeitos sobre as plantas foram o maior rendimento de culturas, a exemplo do tomate (Hossain, Strezov e Nelson, 2015), arroz (Zhang *et al.*, 2016), alface (Khan *et al.*, 2013), pepino (Waqas *et al.*, 2014) e milho (Gwenzi *et al.*, 2016), e redução de bioacumulação de hidrocarbonetos (Khan *et al.*, 2013; Waqas *et al.*, 2014) e metais pesados (Gwenzi *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2016).

Em comparação com biocarvões originados a partir de resíduos agrícolas, o biocarvão de lodo apresenta maior heterogeneidade e quantidade de compostos inorgânicos, sendo difícil definir sua composição química exata. Usualmente, esse tipo de biocarvão é composto majoritariamente de carbono orgânico e a porção inorgânica contém carbonatados, minerais (Ca, Mg, K, P) e metais (Racek *et al.*, 2020). Teores satisfatórios de nutrientes importantes para aplicação agrícola, como nitrogênio (N) e fósforo (P), também podem ser encontrados. A principal origem desses nutrientes no esgoto é a uréia. Todavia, para que estejam presentes no lodo em quantidades relevantes é necessário que a ETE contenha uma etapa específica para sua remoção (Mota e Von Sperling, 2009).

A Tabela 1 traz um resumo com faixas de valores encontrados na produção e caracterização de biocarvões de lodo produzidos com tempos de residência variando entre 5 minutos e 12 horas, e temperaturas variando entre 300°C e 750 °C, segundo revisão de Racek *et al.* (2020). É possível observar grande diversidade com relação às características do biocarvão de lodo. Essa variabilidade pode ser explicada por diversos fatores, como: tipo de lodo utilizado, que pode ser primário ou secundário, de origem doméstica ou industrial; grau de umidade do lodo; existência ou não de pré-tratamento; condições de pirólise; tipo de tratamento empregado na ETE (aeróbio x anaeróbio); entre outros. Portanto, ratifica-se a importância de estudos específicos que possibilitem o adequado aproveitamento desse biossólido.

Outro fator importante de se considerar é o efeito da pirólise nos poluentes que possivelmente estão presentes no lodo, como metais pesados e poluentes emergentes (fármacos, componentes hormonais, resíduos de produtos de higiene, microplásticos, entre outros). Segundo Tian *et al.* (2019), a pirólise é a forma mais eficaz para promover a degradação de

antibióticos e a imobilização de metais pesados em fezes de gado, embora os efeitos da variação de temperatura ainda sejam incertos. Resultados do seu estudo mostraram que antibióticos (tilosina, tetraciclina, clortetraciclina, doxiciclina, sulfametazina e sulfametoxazol) foram completamente degradados a 600 °C, e metais pesados (Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Cd e As) foram imobilizados durante a pirólise.

Tabela 1 - Características de biocarvões de lodo de esgoto produzidos entre 300° C e 750° C

Parâmetro	Faixa de Valores
Rendimento de biocarvão (%)	7,0 – 78,8
pH	2,3 – 13,1 (como regra >7)
C (%)	6,0 – 39,7
H (%)	0,1 – 5,5
N (%)	0,3 – 7,1
O (%)	0,0 – 8,3
P (g kg ⁻¹)	20,1 – 59,5
Área superficial (m ² g ⁻¹)	0,5 – 90,0
Teor de cinzas (%)	55,83 – 79,08

Fonte: Adaptado de Racek et al. (2019)

Além disso, a partir de um estudo comparativo sobre a presença de contaminantes orgânicos no lodo bruto e no biocarvão gerado a partir dele, constatou-se que a pirólise a 400°C foi suficiente para degradar compostos farmacêuticos do lodo, e em temperaturas acima de 600 °C mais de 99,8% dos demais poluentes orgânicos (bifenos policlorados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, desreguladores endócrinos e compostos hormonais) foram removidos (Moško *et al.*, 2021).

O potencial de degradação de microplásticos durante a pirólise de lodo de esgoto também foi avaliado em escala de laboratório. Ficou evidente nesse estudo que o polipropileno e o polietileno (microplásticos mais encontrados no lodo), foram totalmente degradados na pirólise acima de 450 °C. Por outro lado, observa-se a possibilidade de formação de novos polímeros a partir da combinação dos microplásticos com componentes orgânicos e metais do lodo, sendo necessários estudos mais aprofundados e em maiores escalas acerca do tema (Ni *et al.*, 2020).

4 PERCURSO METODOLÓGICO

O método adotado nesta tese foi o hipotético-dedutivo. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a lógica científica desse método surge a partir da identificação de um problema, construção de hipóteses (dedução de consequências) e testes de hipóteses (falseamento). Isso significa que a partir de um conhecimento pré-existente sobre um tema, é possível construir afirmações com prováveis respostas ao problema de pesquisa. Para serem consideradas válidas, no entanto, essas respostas devem ser testadas por meio da lógica do falseamento, que é a busca por evidências empíricas capazes de derrubá-las.

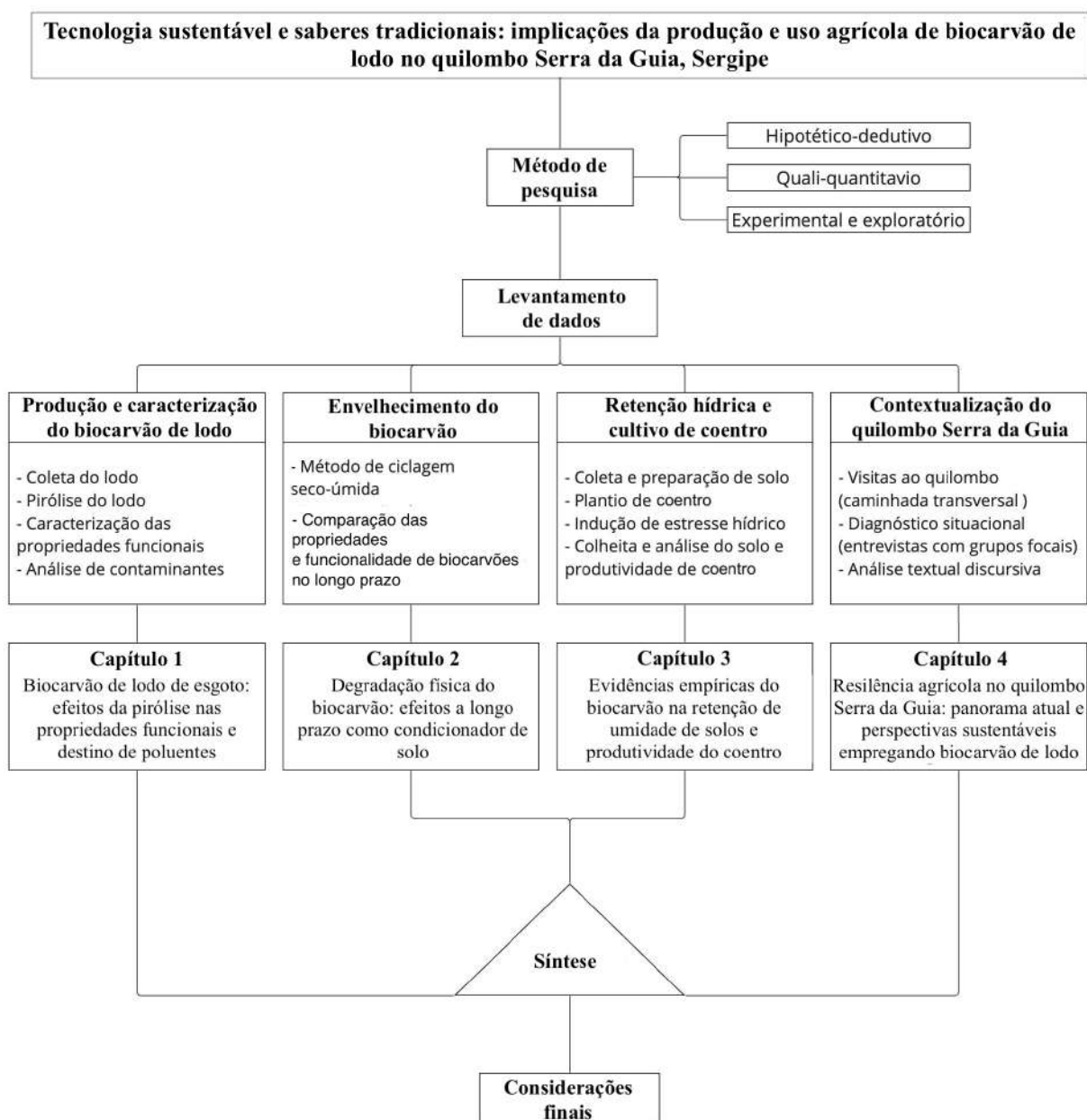
Sob o ponto de vista da natureza da pesquisa, trata-se de uma pesquisa aplicada, uma vez que se produz conhecimento para a solução de problemas locais e práticos. Além do mais, devido à complexidade do tema investigado, o qual se encontra no contexto das ciências ambientais e possui caráter interdisciplinar, e buscando obter um olhar integrado dos resultados obtidos, duas abordagens metodológicas foram empregadas: experimental e exploratória.

A abordagem experimental analisou a relação entre variáveis por meio de condições específicas pré-estabelecidas com o objetivo de observar a influência de um ou mais fatores sobre outras variáveis. Os resultados obtidos com os testes experimentais permitiram que as hipóteses levantadas fossem corroboradas ou rejeitadas (Köche, 2011). Essa abordagem foi aplicada em três etapas da pesquisa, com análises quantitativas a respeito da produção, estabilidade e funcionalidade do biocarvão de lodo para a agricultura.

Na abordagem exploratória, diferentemente da pesquisa experimental, não se pressupõe que o pesquisador já tenha um conhecimento avançado sobre o tema de estudo. Neste tipo de abordagem, espera-se desvendar e descrever as principais características das variáveis analisadas por meio de métodos investigativos (Köche, 2011). Essa abordagem foi utilizada na última fase da pesquisa e teve caráter qualitativo, objetivando-se a contextualização dos aspectos socioeconômicos e agronômicos da comunidade quilombola de Serra da Guia, de modo a compreender a vocação agrícola local, dificuldades enfrentadas, opiniões acerca do uso de biocarvão de lodo e suas prospecções.

A seguir, apresenta-se um diagrama esquemático (Figura 1) com os procedimentos metodológicos empregados na pesquisa. O detalhamento da área de estudo e dos materiais e métodos empregados estão detalhados nos capítulos seguintes.

Figura 1 - Diagrama esquemático dos procedimentos metodológicos da pesquisa



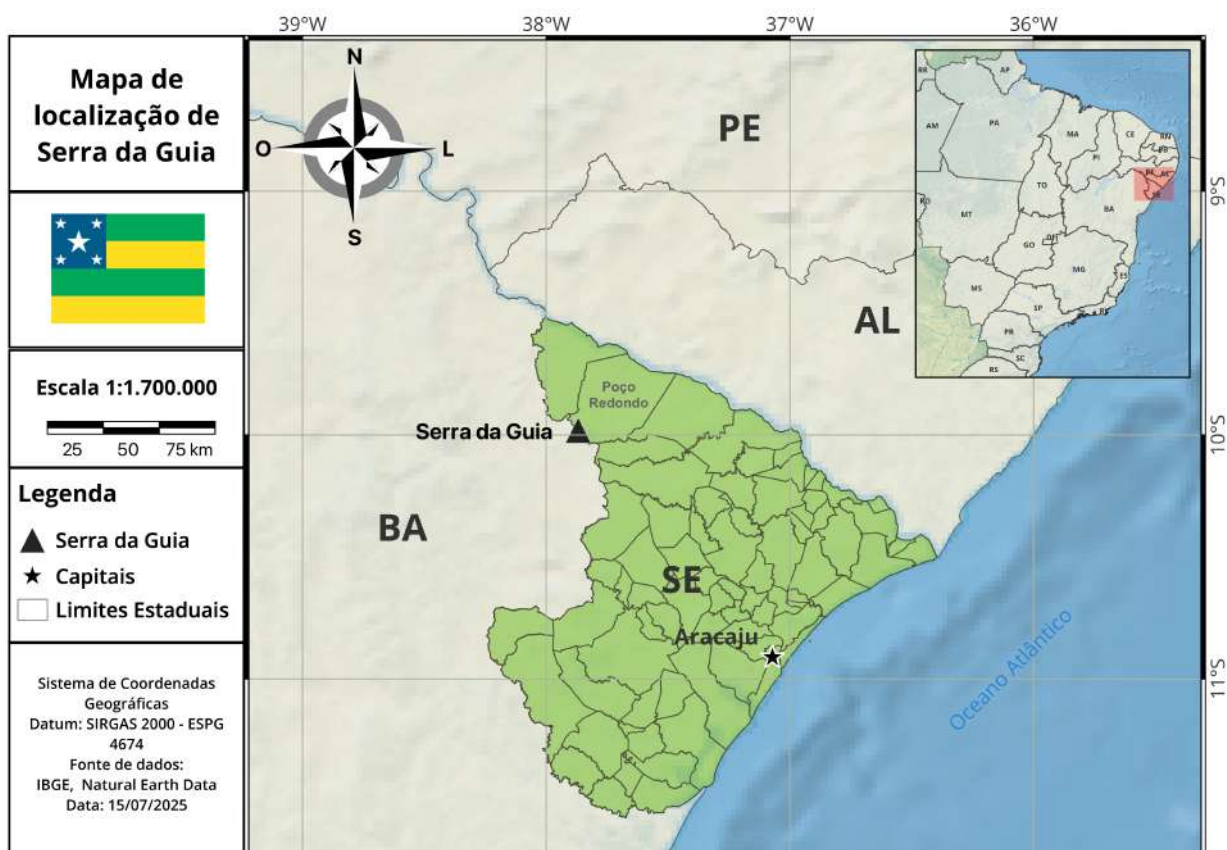
Fonte: Autoria própria (2025).

5 RECORTE ESPACIAL

A comunidade quilombola Serra da Guia foi selecionada como área de estudo da pesquisa. A definição do recorte espacial foi feita com base em critérios como níveis de organização e vulnerabilidade social da comunidade, existência de práticas agrícolas de autossustentância, clima, tipo de solo e possibilidades de acesso.

O território de Serra da Guia possui áreas distribuídas entre os estados de Sergipe e Bahia, possuindo um total de 838 residentes. Dentre estes, 614 são de pessoas quilombolas residindo na região sergipana (IBGE, 2023a), município de Poço Redondo/SE, a 185 km da capital Aracaju (Figura 2) (Frizero, 2016).

Figura 2 - Localização da comunidade quilombola de Serra da Guia



Fonte: Autoria própria utilizando software QGis (2025).

Serra da Guia está situada numa região de Caatinga, com clima semiárido (Feitosa et al, 2016). Segundo o IBGE (2018), o clima semiárido compreende as áreas com precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60% em todos os dias do ano. Quanto ao bioma, estudos revelam que embora

a Caatinga apresente elevada riqueza de fauna e flora, essa biodiversidade está ameaçada devido às constantes ações antrópicas e carência de políticas eficazes de conservação (Barbosa; Gomes Filho, 2022).

As condições de infraestrutura no quilombo são extremamente precárias. Serviços essenciais como saneamento básico e acesso à saúde e educação são escassos ou inexistentes, impondo sérios desafios à sobrevivência e qualidade de vida das famílias (Feitosa, 2021). Os quilombolas de Serra da Guia trabalham principalmente no campo (agricultura e criação de animais), com artesanato (confecção de cestas e vassouras) e como diaristas para complementação de renda, sendo a agricultura a fonte de sobrevivência para 97,3% da população (Frizero, 2016).

Quanto ao tipo de solo, de acordo com EMBRAPA (2014), identifica-se o predomínio de Neossolo, Luvisolo e Planossolo no alto sertão sergipano. O Neossolo Regolítico, mais comum, está presente em relevo pouco acidentado e possui boa reserva de nutrientes, com baixo a médio potencial para agricultura irrigada. Entretanto, possui baixa fertilidade natural, baixos teores de matéria orgânica e baixa capacidade de retenção de água. O Luvisolo e o Planossolo possuem as seguintes características em comum: acúmulo relevante de argila, susceptibilidade à erosão e risco de salinização. Porém, o Luvisolo se caracteriza por ser raso e rico em nutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), enquanto o Planossolo possui consistência dura e drenagem restrita.

Isso significa que além dos desafios socioeconômicos citados anteriormente, os quilombolas de Serra da Guia precisam lidar com os longos períodos de estiagem e solos pouco férteis (sujeitos à desertificação) nas lavouras. Como essa tese buscou aderir aos objetivos de desenvolvimento sustentável por meio da investigação de uma tecnologia que agrega a conversão de um problema (manejo do lodo) em um beneficiamento socioambiental (agricultura sustentável), priorizou-se a seleção de famílias que têm sido historicamente discriminadas e que ainda tem seus direitos básicos negados. Entende-se aqui que ações urgentes são necessárias no sentido de fortalecer a agricultura familiar no quilombo de Serra da Guia, uma vez que esta atividade está intrinsecamente relacionada com a cultura local e com a segurança alimentar e nutricional dos quilombolas.

Além disso, os impasses oriundos da desertificação do solo na região são pertinentes à proposta, já que o solo carece de elementos que possivelmente podem ser supridos com o uso do biocarvão, a exemplo do incremento do teor de matéria orgânica e do aumento da capacidade de retenção de água, possibilitando maior resiliência à agricultura local.

REFERÊNCIAS

- AMADOR, M. B. M. **Sistemismo e sustentabilidade: questão interdisciplinar**. São Paulo: Scortecci, 2011.
- AMALINA, F.; KRISHNAN, S.; ZULARISAM, A. W.; NASRULLAH, M. Recent advancement and applications of biochar technology as a multifunctional component towards sustainable environment. **Environmental Development**, v. 46, p. 100819, jun. 2023.
- ANDRADE, V. T.; LOCATEL, C. D. A Apropriação do Discurso Agroecológico pela Agricultura Orgânica Ressignificada. **Ateliê Geográfico**, v. 13, n. 3, p. 209–228, 20 dez. 2019.
- ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
- ARBEX, A.; SANTOS, P. F. DOS S.; SOUZA, M. G. P. DE. **Boletim avalia mds**. [s.l.] Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome, 2025.
- ARRUTI, J. M. *et al.* **Panorama Quilombola**. Campinas, SP: UNICAMP, 2022.
- AZEVEDO, N. T.; JUNCKES, I. J.; SILVA, E. A. Desenvolvimento e ciências ambientais: analisando as redes temáticas da agenda de pesquisa da área no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 56, 6 maio 2021.
- BARBOSA, T. A.; GOMES FILHO, R. R. Biodiversidade e conservação da Caatinga: revisão sistemática. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 7, n. 4, p. 177–189, 11 nov. 2022.
- BARBOSA, T. A.; SANTOS, R. M.; SILVA, W. R. D.; SÁ, M. S. D.; SILVA, M. G. D.; NAVICKIENE, S.; GOMES FILHO, R. R.; WISNIEWSKI JR, A. Biochar from sewage sludge: Effect of pyrolysis on functional properties and pollutants fate. **Environmental Quality Management**, v. 34, n. 1, p. e22192, set. 2024.
- BATISTA, L. F. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal : um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. [s.l.] Universidade de Brasília, 23 mar. 2015.
- BAYER, N. M.; URANGA, P. R. R.; FOCHEZATTO, A. Política Municipal de Saneamento Básico e a ocorrência de doenças nos municípios brasileiros. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 13, p. e20190375, 2021.
- BRASIL. **Lei nº 11.346 de 15 de setembro de 2006**. Congresso Nacional, Brasília, , 2006a.
- _____. **Lei nº 11.326 de 24 de julho de 2006**. Congresso Nacional, Brasília, , 2006b.
- _____. **Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007**. Congresso Nacional, Brasília, , 2007.
- _____. **Lei nº 11.947, de junho de 2009**. Congresso Nacional, Brasília, , 2009.
- BRUNDTLAND, G. H. **Nosso futuro comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CARVALHO NETO, G. R. D. Multifuncionalidade Da Agricultura Familiar E Segurança Alimentar: Caminhos Para A Concretização Dos Direitos Humanos Agroalimentares. **Revista de Direito Agrário e Agroambiental**, v. 2, n. 2, p. 151, 13 dez. 2016.

CARVALHO, R. S. DE. **Produção e caracterização de biocarvão de bagaço de laranja para utilização no pós-tratamento de água residuária**. São Cristóvão, SE: Universidade Federal de Sergipe, 2018.

CASTRO, A. L. F. G. DE; RODRIGUES, O.; SCALIZE, P. S. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 2, p. 66–73, 18 mar. 2018.

CONAMA. **Resolução nº 498, de 19 de Agosto de 2020** Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente, , 2020.

CROMBIE, K.; MAŠEK, O.; CROSS, A.; SOHI, S. Biochar - synergies and trade-offs between soil enhancing properties and C sequestration potential. **GCB Bioenergy**, v. 7, n. 5, p. 1161–1175, set. 2015.

EBC. **European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar** Carbon Standards International (CS), , 2023. Disponível em: <<http://european-biochar.org>>

EGBEDINA, A. O.; ADEBOWALE, K. O.; OLU-OWOLABI, B. I.; UNUABONAH, E. I.; ADESINA, M. O. Green synthesis of ZnO coated hybrid biochar for the synchronous removal of ciprofloxacin and tetracycline in wastewater. **RSC Advances**, v. 11, n. 30, p. 18483–18492, 2021.

EMBRAPA. **Solos do Nordeste** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, , 2014.

FARRAR, M. B.; WALLACE, H. M.; XU, C.-Y.; JOSEPH, S.; NGUYEN, T. T. N.; DUNN, P. K.; BAI, S. H. Biochar compound fertilisers increase plant potassium uptake 2 years after application without additional organic fertiliser. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 5, p. 7170–7184, jan. 2022.

FEITOSA, F. R. S. Panorama dos quilombos sergipanos: condições de vida e vulnerabilidade. v. 7, 2021.

FEITOSA, F. R. S.; CASTILHO, C. J. M. DE; FACCIOLI, G. G.; LACERDA, R. DOS S. Panorama dos quilombos sergipanos: condições de vida e vulnerabilidade. **Revista Produção Acadêmica - Núcleo de Estudos Urbanos Regionais e Agrários**, v. 7, 2021.

FIJALKOWSKI, K.; RORAT, A.; GROBELAK, A.; KACPRZAK, M. J. The presence of contaminations in sewage sludge – The current situation. **Journal of Environmental Management**, v. 203, p. 1126–1136, dez. 2017.

FRIZERO, M. G. **Comunidade Quilombola: Serra da Guia** FAFICH, , 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/serra_da_guia.pdf>

GALINDO, E.; TEIXEIRA, M. A.; ARAÚJO, M. DE; CAMPOS MOTTA, R.; PESSOA, M.; MENDES, L.; RENNO, L. R. **Efeitos da pandemia na alimentação e na situação da segurança alimentar no Brasil**. Berlin: Junior Research Group Food for Justice, 2021.

GAO, S.; DELUCA, T. H. Wood biochar impacts soil phosphorus dynamics and microbial communities in organically-managed croplands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 126, p. 144–150, nov. 2018.

GHORBANI, M.; KONVALINA, P.; WALKIEWICZ, A.; NEUGSCHWANDTNER, R. W.; KOPECKÝ, M.; ZAMANIAN, K.; CHEN, W.-H.; BUCUR, D. Feasibility of Biochar Derived from Sewage Sludge to Promote Sustainable Agriculture and Mitigate GHG Emissions—A Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 19, p. 12983, 10 out. 2022.

GOLDAN, E.; NEDEFF, V.; BARSAN, N.; CULEA, M.; TOMOZEI, C.; PANAINTE-LEHADUS, M.; MOSNEGUTU, E. Evaluation of the Use of Sewage Sludge Biochar as a Soil Amendment—A Review. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 5309, 28 abr. 2022.

GONZAGA, M. I. S.; MACKOWIAK, C.; ALMEIDA, A. Q. DE; CARVALHO JUNIOR, J. I. T. DE; 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, mar. 2018.

GUO, M.; HE, Z.; UCHIMIYA, S. M. (EDS.). **Agricultural and Environmental Applications of Biochar: Advances and Barriers**. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 2016.

GWENZI, W.; MUZAVA, M.; MAPANDA, F.; TAURO, T. P. Comparative short-term effects of sewage sludge and its biochar on soil properties, maize growth and uptake of nutrients on a tropical clay soil in Zimbabwe. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 15, n. 6, p. 1395–1406, jun. 2016.

HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; NELSON, P. F. Comparative Assessment of the Effect of Wastewater Sludge Biochar on Growth, Yield and Metal Bioaccumulation of Cherry Tomato. **Pedosphere**, v. 25, n. 5, p. 680–685, out. 2015.

HUANG, C.; MOHAMED, B. A.; LI, L. Y. Comparative life-cycle assessment of pyrolysis processes for producing bio-oil, biochar, and activated carbon from sewage sludge. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 181, p. 106273, jun. 2022.

IBGE. **Censo Demográfico 2022: Quilombolas Primeiros resultados do universo** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, , 2023.

IBI, B. S. **Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil** International Biochar Initiative, , 2015. Disponível em: <<http://www.biochar-international.org/characterizationstandard>>

INCRA. **Regularização de território quilombola** Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, , 2017.

JOSEPH, S. *et al.* Microstructural and associated chemical changes during the composting of a high temperature biochar: Mechanisms for nitrate, phosphate and other nutrient retention and release. **Science of The Total Environment**, v. 618, p. 1210–1223, mar. 2018.

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

KHAN, S.; WANG, N.; REID, B. J.; FREDDO, A.; CAI, C. Reduced bioaccumulation of PAHs by *Lactuca sativa* L. grown in contaminated soil amended with sewage sludge and sewage sludge derived biochar. **Environmental Pollution**, v. 175, p. 64–68, abr. 2013.

KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.

KRAHN, K. M.; CORNELISSEN, G.; CASTRO, G.; ARP, H. P. H.; ASIMAKOPOULOS, A. G.; WOLF, R.; HOLMSTAD, R.; ZIMMERMAN, A. R.; SØRMO, E. Sewage sludge biochars as effective PFAS-sorbents. **Journal of Hazardous Materials**, v. 445, p. 130449, mar. 2023.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (EDS.). **Biochar for environmental management: science and technology**. London ; Sterling, VA: Earthscan, 2009.

LI, G.; KHAN, S.; IBRAHIM, M.; SUN, T.-R.; TANG, J.-F.; COTNER, J. B.; XU, Y.-Y. Biochars induced modification of dissolved organic matter (DOM) in soil and its impact on mobility and bioaccumulation of arsenic and cadmium. **Journal of Hazardous Materials**, v. 348, p. 100–108, abr. 2018.

LIMA, E. C. D.; OLIVEIRA NETO, C. R. **Revolução Industrial: considerações sobre o pioneirismo industrial inglês**. 2017.

LOBO, T. F.; FILHO, H. G.; BÜLL, L. T.; SOUZA, F. L. P. DE. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto na nutrição do feijoeiro. v. 10, 2015.

LUNA, J. H. M.; MARQUES, J. J.; RAMOS, A. L. D. Biocarvão: caracterização e aplicações. *Em: Energia da biomassa: termoconversão e seus produtos*. Curitiba: Brazil Publishing, 2020. .

MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. Biocarvão: as terras pretas de índios e o sequestro de carbono. v. 47, p. 48–52, 2011.

MAŠEK, O.; BROWNSORT, P.; CROSS, A.; SOHI, S. Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar. **Fuel**, v. 103, p. 151–155, jan. 2013.

MAŠEK, O.; BUSS, W.; ROY-POIRIER, A.; LOWE, W.; PETERS, C.; BROWNSORT, P.; MIGNARD, D.; PRITCHARD, C.; SOHI, S. Consistency of biochar properties over time and production scales: A characterisation of standard materials. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 132, p. 200–210, jun. 2018.

MENSAH, J. Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. **Cogent Social Sciences**, v. 5, n. 1, p. 1653531, 1 jan. 2019.

MIERZWA-HERSZTEK, M.; WOLNY-KOŁADKA, K.; GONDEK, K.; GAŁĄZKA, A.; GAWRYJOLEK, K. Effect of Coapplication of Biochar and Nutrients on Microbiocenotic Composition, Dehydrogenase Activity Index and Chemical Properties of Sandy Soil. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 8, p. 3911–3923, ago. 2020.

MOHAMED, B. A.; LI, L. Y.; HAMID, H.; JERONIMO, M. Sludge-based activated carbon and its application in the removal of perfluoroalkyl substances: A feasible approach towards a circular economy. **Chemosphere**, v. 294, p. 133707, maio 2022.

MOMBELLI, R. Comunidades quilombolas em Santa Catarina: resistência negra e luta pela terra. *Em: História da fronteira sul*. Chapecó: Letra & Vida, 2015. .

MORANDI, C. G.; WASIELEWSKI, S.; MOUARKECH, K.; MINKE, R.; STEINMETZ, H. Impact of new sanitation technologies upon conventional wastewater infrastructures. **Urban Water Journal**, v. 15, n. 6, p. 526–533, 3 jul. 2018.

MOŠKO, J.; POHOŘELÝ, M.; CAJTHAML, T.; JEREMIÁŠ, M.; ROBLES-AGUILAR, A. A.; SKOBLIA, S.; BEŇO, Z.; INNEMANOVÁ, P.; LINHARTOVÁ, L.; MICHALÍKOVÁ, K.; MEERS, E. Effect of pyrolysis temperature on removal of organic pollutants present in anaerobically stabilized sewage sludge. **Chemosphere**, v. 265, p. 129082, fev. 2021.

MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção** Rio de Janeiro: ABES, , 2009.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>.

NASCIMENTO, J. E. B.; ALCANTARA, F. V. DE; LISBOA, A. DE S.; SANTOS, C. Construção social de mercados agroalimentares e a ater: desafios para o desenvolvimento do território do sertão ocidental de Sergipe. v. 13, n. 1, 2019.

NI, B.-J.; ZHU, Z.-R.; LI, W.-H.; YAN, X.; WEI, W.; XU, Q.; XIA, Z.; DAI, X.; SUN, J. Microplastics Mitigation in Sewage Sludge through Pyrolysis: The Role of Pyrolysis Temperature. **Environmental Science & Technology Letters**, v. 7, n. 12, p. 961–967, 8 dez. 2020.

NIEDERLE, P. A. A institucionalização da agricultura familiar no Mercosul: da definição normativa aos sistemas nacionais de registro. **Novos Cadernos NAEA**, v. 20, n. 1, p. 67, 21 jul. 2017.

OLIVEIRA, M. C. C. DE; ALMEIDA, J.; SILVA, L. M. S. Diversificação dos sistemas produtivos familiares: reflexões sobre as relações sociedade-natureza na Amazônia Oriental. v. 14, n. 2, p. 61–88, 2011.

PHILIPPI JR., A.; TUCCI, C. E. M.; HOGAN, D. J.; NAVEGANTES, R. **Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais**. São Paulo: Signus Editora, 2000.

PINTO, A. R.; BORGES, J. C.; NOVO, M. P.; PIRES, P. S. **QUILOMBOS DO BRASIL: SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL EM TERRITÓRIOS TITULADOS**. 2014.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale: [s.n.].

RACEK, J.; SEVCIK, J.; CHORAZY, T.; KUCERIK, J.; HLAVINEK, P. Biochar – Recovery Material from Pyrolysis of Sewage Sludge: A Review. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 7, p. 3677–3709, jul. 2020.

ROCHA, H. R.; FREITAS, HELBER. C.; ROSOLEM, R.; TANNUS, R.; NEGRÓN-JUÁREZ, ROBINSON. I.; LIGO, M. A. V.; CABRAL, O. M. R.; MESQUITA JR, H. N.; BITENCOURT, M. D. Ciclo do carbono. *Em: O cerrado Pé-de-Gigante: ecologia e conservação - Parque Estadual de Vassununga*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2005. .

RODRIGUES, L. N. **Sustentabilidade: desafio atual da agricultura**. Disponível em: <

SACHS, J.; KROLL, C.; LAFORTUNE, G.; FULLER, G.; WOELM, F. **Sustainable Development Report 2022**. 1. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2022.

SAFAEI KHORRAM, M.; FATEMI, A.; KHAN, M. A.; KIEFER, R.; JAFARNIA, S. Potential risk of weed outbreak by increasing biochar's application rates in slow-growth legume, lentil (*Lens culinaris* Medik.): Potential risk of weed outbreak by increasing biochar application. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 6, p. 2080–2088, abr. 2018.

SAMOLADA, M. C.; ZABANIOTOU, A. A. Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. **Waste Management**, v. 34, n. 2, p. 411–420, fev. 2014.

SANTOS, C. O. DOS; SOUZA, R. M. Territórios produtivos da agricultura orgânica em Sergipe. v. 31, n. 1, p. 58–72, 2014.

SANTOS, F. F.; GARCIA, M. F. O PROGRAMA NACIONAL DE ALIMENTAÇÃO ESCOLAR (PNAE). **VIII Simpósio Internacional de Geografia Agrária e IX Simpósio Nacional de Geografia Agrária**, 2017.

SILVA, L. C. R. *et al.* A new hypothesis for the origin of Amazonian Dark Earths. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 127, 4 jan. 2021.

SILVA, L. L.; BAPTISTA, F.; CRUZ, V. F.; MARQUES DA SILVA, J. R. Aumentar as competências dos agricultores para a prática de uma agricultura sustentável. **Revista de Ciências Agrárias**, p. 240- 252 Páginas, 17 ago. 2020.

SINISA. **Resultados SINISA**. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa>>.

SPINOSA, L. Status and perspectives of sludge management. **c/o CNR, Via De Blasio**, v. 5, 2007.

SUN, Y.; GAO, B.; YAO, Y.; FANG, J.; ZHANG, M.; ZHOU, Y.; CHEN, H.; YANG, L. Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. **Chemical Engineering Journal**, v. 240, p. 574–578, mar. 2014.

TIAN, R.; LI, C.; XIE, S.; YOU, F.; CAO, Z.; XU, Z.; YU, G.; WANG, Y. Preparation of biochar via pyrolysis at laboratory and pilot scales to remove antibiotics and immobilize heavy metals in livestock feces. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, n. 7, p. 2891–2902, jul. 2019.

WANG, L.; OK, Y. S.; TSANG, D. C. W.; ALESSI, D. S.; RINKLEBE, J.; WANG, H.; MAŠEK, O.; HOU, R.; O'CONNOR, D.; HOU, D. New trends in biochar pyrolysis and modification strategies: feedstock, pyrolysis conditions, sustainability concerns and implications for soil amendment. **Soil Use and Management**, v. 36, n. 3, p. 358–386, jul. 2020.

WAQAS, M.; KHAN, S.; QING, H.; REID, B. J.; CHAO, C. The effects of sewage sludge and sewage sludge biochar on PAHs and potentially toxic element bioaccumulation in *Cucumis sativa* L. **Chemosphere**, v. 105, p. 53–61, jun. 2014.

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

WISNIEWSKI JR, A. Processos de conversão térmica de biomassas. *Em: Energia da biomassa: termoconversão e seus produtos*. Curitiba: Brazil Publishing, 2020. .

WOOLF, D.; AMONETTE, J. E.; STREET-PERROTT, F. A.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**, v. 1, n. 1, p. 56, 10 ago. 2010.

YANG, Z.; HU, W.; YAO, B.; SHEN, L.; JIANG, F.; ZHOU, Y.; NÚÑEZ-DELGADO, A. A Novel Manganese-Rich Pokeweed Biochar for Highly Efficient Adsorption of Heavy Metals from Wastewater: Performance, Mechanisms, and Potential Risk Analysis. **Processes**, v. 9, n. 7, p. 1209, 14 jul. 2021.

YU, H.; ZOU, W.; CHEN, J.; CHEN, H.; YU, Z.; HUANG, J.; TANG, H.; WEI, X.; GAO, B. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 8–21, fev. 2019.

ZHANG, Y.; CHEN, T.; LIAO, Y.; REID, B. J.; CHI, H.; HOU, Y.; CAI, C. Modest amendment of sewage sludge biochar to reduce the accumulation of cadmium into rice(*Oryza sativa* L.): A field study. **Environmental Pollution**, v. 216, p. 819–825, set. 2016.

ZHU, X.; ZHAO, L.; FU, F.; YANG, Z.; LI, F.; YUAN, W.; ZHOU, M.; FANG, W.; ZHEN, G.; LU, X.; ZHANG, X. Pyrolysis of pre-dried dewatered sewage sludge under different heating rates: Characteristics and kinetics study. **Fuel**, v. 255, p. 115591, nov. 2019.

CAPÍTULO I

BIOCARVÃO DE LODO DE ESGOTO: EFEITOS DA PIRÓLISE NAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E DESTINO DE POLUENTES¹

RESUMO

A pirólise é uma alternativa promissora para a remoção ou imobilização de elementos tóxicos do lodo de esgoto, sem comprometer seu potencial como biofertilizante. No entanto, os efeitos da pirólise sobre alguns contaminantes emergentes do lodo ainda não foram investigados. Logo, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da pirólise do lodo no destino de metais pesados, pesticidas e poluentes orgânicos, bem como a adequação do biocarvão de lodo (BL) resultante como adubo orgânico. O lodo foi pirolisado em diferentes escalas (bancada e microescala) e temperaturas (400, 500 e 600°C) para comparação. As propriedades funcionais, morfologia de superfície e grupos funcionais do lodo e do BL foram analisados. Realizou-se também uma análise quantitativa de metais pesados (Zn, Cu, Cr, Ni, Cd e Pb) e uma investigação qualitativa da presença de poluentes orgânicos e pesticidas. Os resultados demonstraram que a pirólise a 400°C aumentou a estabilidade do lodo e afetou fortemente sua área superficial, resultando em um material altamente poroso com carga superficial desenvolvida. Simultaneamente, o teor relativo de matéria orgânica e nutrientes permaneceu praticamente inalterado. Todos os metais pesados analisados no lodo e no BL encontraram-se dentro dos limites estabelecidos pela Iniciativa Internacional de Biocarvão (IBI) para aplicação no solo. Além disso, poluentes orgânicos e pesticidas foram detectados no lodo, mas não foram encontrados no BL, indicando que ocorreu degradação/imobilização de tais componentes após a pirólise > 400°C. Em conclusão, a produção de BL confirmou ser um método eficaz para remover elementos tóxicos do lodo, com potencial para melhorar as propriedades do solo e produtividade agrícola.

Palavras-chave: Degradação de poluentes, Metais pesados, Recuperação de nutrientes, Poluentes orgânicos, Pesticidas, Condicionador de solo, Valorização de resíduos.

¹ Artigo publicado (versão em inglês) na revista **Environmental Quality Management**, 1-13, 2024.

<https://doi.org/10.1002/tqem.22192>

BIOCHAR FROM SEWAGE SLUDGE: EFFECT OF PYROLYSIS ON FUNCTIONAL PROPERTIES AND POLLUTANTS FATE

ABSTRACT

Pyrolysis is a promising alternative for the removal or immobilization of hazardous elements in sewage sludge (SS) without compromising its biofertilizer features. However, the effects of pyrolysis on SS emerging contaminants have not been fully investigated. Therefore, this study aimed to assess the fate of heavy metals, pesticides, and organic pollutants in SS through pyrolysis, as well as the suitability of SS and its derived biochar (SSB) for soil application. Municipal SS was pyrolysed at different scales (bench and micro units) and temperatures (400, 500, and 600°C) for comparison. The general properties, surface morphology, and functional groups of SS and SSB were analysed. Also, a quantitative analysis of heavy metals (Zn, Cu, Cr, Ni, Cd, and Pb) and a qualitative investigation of organic pollutants and pesticides were performed. The results demonstrated that pyrolysis at 400°C increased the stability of SS and strongly affected its surface area, resulting in a high pore structure with a developed surface charge. Simultaneously, the relative content of organic matter and nutrients remained nearly unchanged. All heavy metals analysed in SS and SSB₄₀₀ were within limits set by the International Biochar Initiative for soil application. Moreover, organic pollutants and pesticides were detected in the SS but were partially degraded or immobilized after pyrolysis > 400°C. In conclusion, the production of SSB proved to be an effective method for removing toxic elements from SS while enhancing its properties for soil remediation and crop productivity.

Keywords: Contaminant degradation, Heavy metals, Nutrient recovery, Organic pollutants, Pesticides, Soil amendment, Waste to value.

1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é um resíduo semissólido gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). O processo de lodo ativado é a técnica utilizada para tratar o maior volume de esgoto municipal no Brasil (ANA, 2017). Embora essa tecnologia remova componentes indesejados do esgoto de forma eficaz, o grande volume de lodo gerado levanta preocupações ambientais. O lodo contém contaminantes concentrados, como metais pesados, poluentes orgânicos e patógenos. Por outro lado, esse resíduo também possui matéria orgânica, nutrientes e minerais que são valiosos para o setor agrícola (Andreoli et al., 2014). Segundo Kołodziej et al. (2023), plantas específicas podem ser empregadas para a fitorecuperação de elementos-traço em áreas onde o lodo municipal é aplicado, melhorando simultaneamente os rendimentos das culturas.

Apesar de uma produção estimada de 3,1 milhões de toneladas de lodo seco por ano no Brasil (Ghorbani et al., 2022), com um aumento significativo esperado nos próximos anos devido à expansão da infraestrutura de esgotamento sanitário, há uma carência de dados oficiais sobre a gestão e disposição final do lodo no país (Castro et al., 2018). A gestão sustentável do lodo é particularmente crítica em países densamente povoados devido às emissões equivalentes de CO₂. Por exemplo, Ghorbani et al. (2022) destacam que os sete países mais populosos do mundo (China, Índia, Estados Unidos, Indonésia, Brasil, Japão e Rússia) são responsáveis por metade da produção global de lodo.

No Brasil, o uso de lodo na agricultura é regulamentado pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama nº 498, que estabelece critérios e procedimentos para a aplicação de biossólidos em solos após um tratamento, exigindo um plano de gestão ambiental e licenciamento (Brasil, 2020). Contudo, como não existem leis específicas para métodos de reciclagem de lodo, o uso sustentável desse resíduo ainda é limitado no país.

A aplicação de lodo *in natura* no solo só é possível se os contaminantes presentes nele estiverem abaixo de limites seguros. Tratamentos simples como secagem, elevação de pH e compostagem, podem inativar patógenos como vírus e bactérias (Brasil, 2020). No entanto, a concentração de metais pesados e contaminantes emergentes pode representar uma grande ameaça ao uso direto do lodo, já que esses poluentes não são facilmente destruídos por esses métodos, levando a incertezas quanto à utilização do lodo bruto para a melhoria do solo (Fijalkowski et al., 2017).

Uma abordagem promissora para reter os componentes desejáveis do lodo enquanto elimina os indesejados é a pirólise. A pirólise consiste em um processo de conversão térmica

em uma atmosfera com oxigênio limitado (Wisniewski Jr, 2020). Além de produzir biocombustíveis (óleo e gás), a pirólise de biomassas gera um produto sólido rico em carbono (carvão), comumente referido como “biocarvão” quando usado para adubação de solos (Luna et al., 2020). A literatura recentemente publicada tem demonstrado que o biocarvão derivado do lodo (BL) é mais seguro e mais adequado para aplicação no solo do que o lodo bruto, devido à imobilização de metais pesados, redução de aproximadamente 80% no volume do lodo e maior estabilidade a longo prazo (Goldan et al., 2022; Jin et al., 2016; Wang et al., 2019; Zhang et al., 2022). Além disso, foi demonstrado que a combinação de cinzas de carvão ou biomassa com lodo municipal possibilita uma redução dos riscos ambientais associados à entrada de metais pesados no solo, diminuindo consequentemente a acumulação a longo prazo desses elementos (Antonkiewicz et al., 2022).

A temperatura em que a biomassa é pirolisada afeta a funcionalidade do biocarvão resultante. Essa influência decorre das alterações induzidas nas propriedades físico-químicas, na morfologia de superfície e na estabilidade do biocarvão (Ghorbani et al., 2022). Estudos relatam que a pirólise a 400 °C é suficiente para degradar compostos farmacêuticos do lodo, e temperaturas acima de 600 °C podem remover mais de 99,8% de poluentes orgânicos (Moško et al., 2021). Os efeitos do envelhecimento do BL no solo sobre a acumulação e disponibilidade de poluentes também foram investigados. O envelhecimento de BLs por 5 anos no solo, pirolisados a 300 °C e 500 °C, não causou efeito significativo na acumulação e disponibilidade de elementos tóxicos, e o teor total de elementos-traço permaneceu abaixo dos limites de segurança internacional (Chagas et al., 2021).

Por outro lado, apesar das evidências sobre o efeito da pirólise na imobilização de metais pesados e na remoção de alguns poluentes orgânicos do lodo, até onde sabemos, o destino dos pesticidas nunca foi investigado, embora sejam frequentemente encontrados nos esgotos sanitários em todo o mundo. A concentração de pesticidas no lodo está aumentando devido à persistência de alguns compostos que podem viajar longas distâncias, haja vista sua alta solubilidade lipídica e natureza semivolátil (Chaturvedi et al., 2021).

Além disso, é importante destacar que o esgoto doméstico é tipicamente heterogêneo, e as concentrações de poluentes no lodo bruto podem variar dependendo dos hábitos populacionais, clima, desenvolvimento econômico e o nível/tipo de tratamento dos efluentes. Ademais, as propriedades físicas e químicas do biocarvão de lodo podem diferir devido a variações nas condições de operação da pirólise (Mašek et al., 2018), e as propriedades do solo onde o biocarvão é aplicado também desempenham um papel crucial nas interações biocarvão

-solo (Kavitha et al., 2018). Consequentemente, a aplicação de biocarvão no solo deve ser analisada caso a caso.

No presente estudo foi hipotetizado que o biocarvão de lodo (BL) produzido a partir do lodo de uma ETE localizada no Nordeste do Brasil é mais seguro e mais adequado para adubação de solos do que o lodo *in natura*. Desse modo, esse estudo teve como objetivos: (i) investigar as características do lodo e do BL, avaliando sua adequação para adubação de solos, e (ii) avaliar os efeitos da pirólise do lodo sobre o destino de metais pesados, pesticidas e poluentes orgânicos. Os resultados deste estudo fornecem dados valiosos sobre a utilização segura do lodo de esgoto local, com possibilidades de melhoria de solos para fins agrícolas.

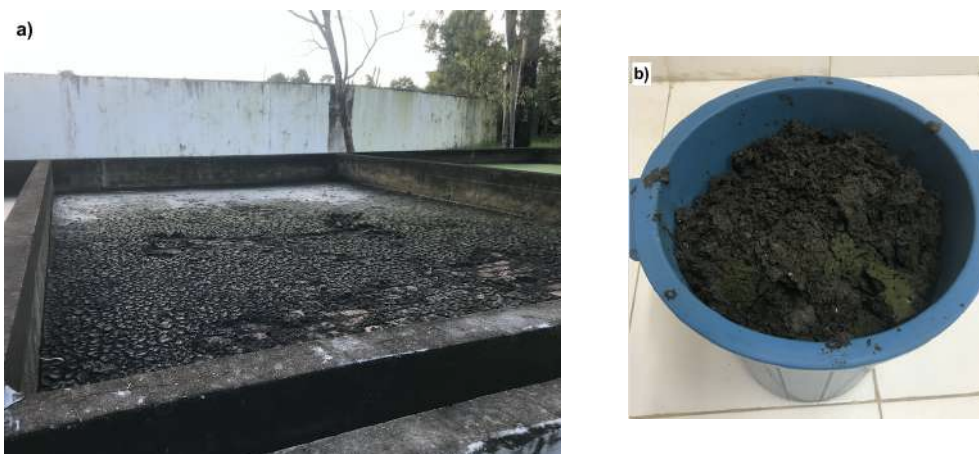
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 COLETA E PREPARAÇÃO DO LODO

O lodo de esgoto utilizado para a pesquisa foi coletado na ETE Orlando Dantas, localizada em Aracaju/SE. Essa estação de tratamento foi escolhida em virtude da liberação de acesso concedida pela Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, e por existir lodo disponível para coleta em qualquer período do ano. A ETE Orlando Dantas é composta por um tipo de tratamento aeróbio (Valos de Oxidação) seguido por tanques de desinfecção com cloro (PADRE e BRANDÃO, 2018). Periodicamente, o lodo coletado nos valos de oxidação é disposto em leitos de secagem para redução da umidade, sem passar por nenhum processo de estabilização. Após seco ao ar livre, o lodo é removido desses leitos e levado a um compartimento específico com cobertura onde é feita a higienização com adição de cal.

O lodo utilizado para produção do biocarvão foi coletado após a sua disposição no leito de secagem e antes de ocorrer a higienização com cal, seguindo procedimento da NBR 10.007 (ABNT, 2004). A área do leito foi dividida em seis partes aproximadamente iguais e foram coletadas amostras de cada uma dessas partes com o auxílio de uma pá. O lodo coletado foi disposto em um recipiente com tampa formando uma amostra única e homogênea (Figura 3).

Figura 3 - Coleta de lodo na ETE Orlando Dantas, (a) leito de secagem, (b) lodo bruto



Fonte: Autoria própria (2025)

O lodo coletado continha alto teor de água, sendo necessário reduzir sua umidade para viabilizar a execução dos ensaios físico-químicos e realização da pirólise. Dessa forma, o lodo bruto foi distribuído em bandejas de alumínio e posto para secar em estufa, à 100 °C por 28 horas (Figura 4).

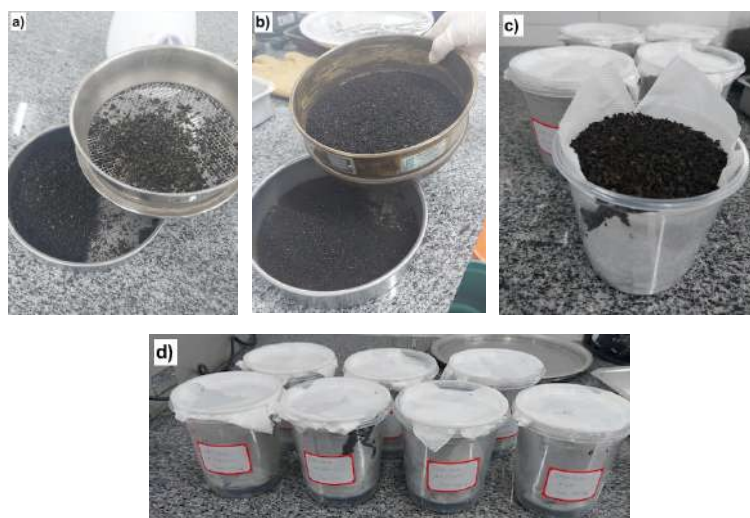
Figura 4 - Secagem do lodo em estufa à 100°C



Fonte: Autoria própria (2025)

Em seguida, de modo a garantir a homogeneidade da amostra e facilitar a realização dos ensaios, o lodo seco foi triturado e peneirado, utilizando peneiras de alumínio com aberturas de #3,35 mm e #1,19 mm. O material granular retido na peneira #1,19 e que passou na #3,35 foi armazenado em vasos de plástico inertes (Figura 5).

Figura 5 - Preparação do lodo, a) peneiramento do lodo na #3,35mm, b) peneiramento do lodo na #1,19mm, c) e d) armazenamento do lodo retido entre as peneiras #1,19 e #3,35 mm



Fonte: Autoria própria (2025)

2.2 PIRÓLISE DO LODO

O biocarvão de lodo foi produzido em forno rotativo (escala de bancada), composto de cilindro de aço inoxidável com diâmetro de 75 mm e comprimento de 500 mm (Modelo FRO 1100, ForteLab Ltda), no Laboratório de Petróleo e Energia da Biomassa (PEB) da UFS (Figura 6), conforme descrito em detalhe por Santana et al. (2020). Após a pirólise, o biocarvão foi coletado para análises.

Figura 6 - Forno rotativo utilizado para produção do biocarvão de lodo



Fonte: Autoria própria (2025)

A temperatura da pirólise foi determinada em função de aspectos teóricos. Segundo extenso estudo de revisão sistemática com biocarvões de lodo, (Singh et al., 2021) apontam que altas temperaturas de pirólise ($>500\text{ }^{\circ}\text{C}$) afetam significativamente a estrutura superficial do biocarvão de lodo, e quanto maior a temperatura, mais este se assemelha a um carvão ativado e pode ser utilizado como material adsorvente. Já em temperaturas de pirólise mais baixas, os biocarvões têm apresentado boas aplicações no solo e benefícios para a agricultura, além de possuírem maior rendimento em massa. Desse modo, adotou-se a temperatura de pirólise de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

O rendimento da produção do biocarvão de lodo foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$BL (\%) = \frac{B}{L} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde,

BL (%): rendimento da produção do biocarvão de lodo.

B: massa do biocarvão de lodo (após a pirólise).

L: massa do lodo natural desidratado (antes da pirólise).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO LODO E DO BIOCARVÃO

2.3.1 Propriedades físico-químicas

- Umidade

O teor de umidade foi calculado em função da perda de massa das amostras após secagem em estufa à temperatura de 65°C, conforme o “Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos” do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2017), utilizando a Equação 2.

$$U (\%) = \left(\frac{A-B}{B} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

U (%) = umidade

A = massa da amostra “*in natura*”, em gramas.

B = massa da amostra secada a 65°C, em gramas.

- Análise elementar

Os teores de carbono (C), hidrogênio (H) e nitrogênio (N) foram determinados por Analisador Elementar da marca Leco, modelo CHN 628. O equipamento operou com Hélio (99,995%) e Oxigênio (99,99%) com a temperatura do forno primário em 950 °C e do Afterburner em 850 °C. Outros parâmetros foram ajustado para uma melhor sensibilidade. O equipamento foi calibrado com um padrão de EDTA (41,0% C, 5,5% H e 9,5% N) usando um range de massa entre 10 – 200 mg. As amostras foram analisadas pesando-se aproximadamente 50 mg em uma folha de estranho. As razões atômicas foram determinadas pelas equações: H/C = ((%C/12)/(%H/1)); O/C ((%O/16)/(%C/12)).

- pH

O pH das amostras foi determinado em solução de CaCl₂ 0.01 mol L⁻¹ utilizando potenciômetro com termocompensador e eletrodo combinado, com sensibilidade de 0,01 unidade de pH (Brasil, 2017).

- Teor de cinzas

Para análise do teor de cinzas foi utilizado o procedimento padrão da norma ASTM - “*Standard Method for the Determination of Ash in Biomass*” número E1755-01 (Sluiter et al., 2005). As amostras foram incineradas em um forno mufla a 575 °C durante 4 horas e o teor de cinzas foi determinado conforme Equação 3.

$$\% \text{ cinzas} = \left(\frac{C-B}{A} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

A = massa da amostra.

B = massa do cadinho vazio.

C = massa final cadinho + cinzas.

- Área superficial, porosidade e volume de poros (BET)

A área superficial, porosidade e volume de poros foram determinados por Análise de Adsorção de Nitrogênio – BET utilizando equipamento NOVO, 1220e.

- Morfologia de superfície (Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV)

Para a análise da morfologia da superfície foi empregado um equipamento da marca Hitachi, modelo TM3000, operando com tensão de 15 kV e amplificação das imagens variando de 50 a 10.000x. Antes das análises, as amostras foram submetidas ao processo de recobrimento com camada de ouro 5 nm no equipamento sputter coater (VG Microtech, SC7620, Inglaterra).

- Grupos funcionais (FTIR)

Evidências da presença de grupos funcionais de superfície nas estruturas das amostras foram obtidas via Espectrometria no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) com equipamento Shimadzu, IRPrestige-21.

- Composição química (EDX)

A identificação quantitativa da composição química do lodo e do biocarvão foi realizada por Espectômetro de Energia Dispersiva de Raio-X – EDX 720 (marca RayNy).

- Macronutrientes:

Os teores de macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foram determinados conforme proposto por BRASIL (2017). O N total foi determinado pelo macrométodo da liga de Raney, o P solúvel (teor de P₂O₅) foi obtido pelo método gravimétrico

do Quimociac, e o teor de K (expresso em K_2O) foi determinado com base na extração a quente do potássio solúvel em água.

O quadro 3 apresenta um resumo dos métodos utilizados para determinação das propriedades do lodo e do biocarvão de lodo, bem como os locais de realização das análises.

Quadro 3 - Parâmetros analisados na caracterização do lodo e do biocarvão de lodo

Parâmetro	Unidade	Metodologia	Referência	Local das análises
Umidade	%	Percentual em massa	MAPA (2017)	ITPS ¹
Análise elementar	%	Análise elementar	-	PEB ³
pH	-	pH em água	MAPA (2017)	ITPS ¹
Teor de cinzas	%	<i>Standard Method for the Determination of Ash in Biomass - ASTM</i>	Sluiter et al (2005)	CLQM ²
Área superficial	m ² .g ⁻¹	BET	-	CLQM ²
Porosidade	cm ³ .g ⁻¹			
Volume de poros	Å			
Morfologia da superfície	-	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	-	CLQM ²
Grupos funcionais	-	Espectroscopia de Infravermelho	-	CLQM ²
Composição química	%	Espectrômetro de Energia Dispersiva de Raio-X (EDX)	-	CLQM ²
Macronutrientes (NPK)	%	Liga de Raney (N), Quimociac (P) e extração a quente (K)	MAPA (2017)	ITPS ¹

Legenda:

¹ITPS: Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe;

²CLQM: Centro de Laboratório de Química Multiusuários, Departamento de Química - UFS;

³PEB: Laboratório de Petróleo e Energia da Biomassa – UFS.

2.3.2 Metais pesados, pesticidas e poluentes orgânicos

Além da produção de biocarvão no forno rotativo à 400 °C, um micro reator (Figura 7) foi utilizado para pirólise do lodo à 400, 500 e 600 °C no Laboratório de Petróleo e Energia da Biomassa (PEB – UFS), de modo a avaliar a presença de metais pesados, pesticidas e poluentes orgânicos no lodo e os efeitos de diferentes temperaturas de pirólise sobre esses componentes.

Figura 7 - Micro reator utilizado para produção de biocarvão de lodo à 400, 500 e 600 °C



Fonte: Autoria própria (2025)

Ao final da pirólise, tanto os extratos de lodo como os extratos dos biocarvões produzidos foram analisados quanto aos seguintes parâmetros:

- Metais pesados

A concentração total de metais pesados foi determinada segundo protocolo MAPA, sendo determinados os teores de zinco (Zn), cobre (Cu), cromo (Cr), chumbo (Pb), níquel (Ni) e cádmio (Cd) via extração ácida e espectrometria de absorção atômica (Brasil, 2017).

- Pesticidas:

Aproximadamente 200 mg da amostra foram extraídos com 5 mL de metanol para HPLC, usando um Ultracleaner USC-1400 ultrassônico por 30 min a 40 kHz. Todos os pesticidas monitorados durante as análises estão listados no Quadro 4.

Quadro 4 - Pesticidas monitorados durante as análises

Pesticida	Grupo de substâncias	Fórmula molecular	Massa molecular (g mol ⁻¹)	Íon monitorado (m/z)	Modo de ionização
Acetamiprid	Neonicotinoid	C ₁₀ H ₁₁ ClN ₄	222,7	223,0	[M+H] ⁺
Alachlor	Chloroacetanilide	C ₁₄ H ₂₀ ClNO ₂	269,8	270,1	[M+H] ⁺
Aldicarb	Carbamate	C ₇ H ₁₄ N ₂ O ₂ S	190,3	208,1	[M+NH ₄] ⁺
Ametryn	Triazine	C ₉ H ₁₇ N ₅ S	227,0	228,1	[M+H] ⁺
Atrazine	Triazine	C ₈ H ₁₄ ClN ₅	215,7	216,0	[M+H] ⁺
Azoxystrobin	Estrobilurina	C ₂₂ H ₁₇ N ₃ O ₅	403,0	404,1	[M+H] ⁺
Bromuconazole	Triazole	C ₁₃ H ₁₂ BrCl ₂ N ₃ O	377,1	378,0	[M+H] ⁺
Carbaryl	Carbamate	C ₁₂ H ₁₁ NO ₂	201,2	202,1	[M+H] ⁺
Carbofuran	Carbamate	C ₁₂ H ₁₅ NO ₃	221,3	222,1	[M+H] ⁺
Cypermethrin	Pyrethroid	C ₂₂ H ₁₉ Cl ₂ NO ₃	416,0	433,0	[M+NH ₄] ⁺
Chlorpyrifos	Organophosphate	C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ PS	350,6	350,0	[M+H] ⁺
Clothianidin	Neonicotinoid	C ₆ H ₈ ClN ₅ O ₂ S	249,7	249,9	[M+H] ⁺
Deltamethrin	Pyrethroid	C ₂₂ H ₁₉ Br ₂ NO ₃	505,2	521,0	[M+NH ₄] ⁺
Difenoconazole	Conazole	C ₁₉ H ₁₇ Cl ₂ N ₃ O ₃	406,3	406,0	[M+H] ⁺
Dimethoate	Organophosphate	C ₅ H ₁₂ NO ₃ PS ₂	229,3	230,0	[M+H] ⁺
Diuron	Phenylurea	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O	233,0	233,0	[M+H] ⁺
Flutriafol	Triazole	C ₁₆ H ₁₃ F ₂ N ₃ O	301,3	302,1	[M+H] ⁺
Imidacloprid	Neonicotinoid	C ₉ H ₁₀ ClN ₅ O ₂	255,7	256,1	[M+H] ⁺
Lufenuron	Benzoylphenylurea	C ₁₇ H ₈ Cl ₂ F ₈ N ₂ O ₃	511,2	508,9	[M-H] ⁻
Malathion	Organophosphate	C ₁₀ H ₁₉ O ₆ PS ₂	330,4	331,0	[M+H] ⁺
Methomyl	Carbamate	C ₅ H ₁₀ N ₂ O ₂ S	162,2	163,0	[M+H] ⁺
Pendimethalin	Dinitroanilina	C ₁₃ H ₁₉ N ₃ O ₄	281,3	282,1	[M+H] ⁺
Pyraclostrobin	Strobilurin	C ₁₉ H ₁₈ ClN ₃ O ₄	387,8	388,1	[M+H] ⁺
Pirimicarb	Carbamate	C ₁₁ H ₁₈ N ₄ O ₂	238,4	239,1	[M+H] ⁺
Simazine	Triazine	C ₇ H ₁₂ ClN ₅	201,7	202,1	[M+H] ⁺
Teflubenzuron	Benzoylphenylurea	C ₁₄ H ₆ Cl ₂ F ₄ N ₂ O ₂	381,1	378,9	[M-H] ⁻
Thiacloprid	Neonicotinoid	C ₁₀ H ₉ ClN ₄ S	252,7	253,0	[M+H] ⁺
Thiamethoxam	Neonicotinoid	C ₈ H ₁₀ ClN ₅ O ₃ S	291,7	292,0	[M+H] ⁺
Triadimefon	Triazole	C ₁₄ H ₁₆ ClN ₃ O ₂	293,8	294,0	[M+H] ⁺

Alíquotas de 1 mL da solução foram retiradas e filtradas com filtro de seringa de membrana de Nylon 0,22 μm . Foi realizada também uma triagem com sistema de cromatografia líquida Shimadzu Nexera XR (Shimadzu, Kyoto, Japão) conectado a um espectrômetro de massa quadrupolo único Shimadzu 2020, equipado com uma interface de eletrospray operada nos modos de ionização positiva e negativa. As condições de operação foram as seguintes: vazão do gás nebulizador, 1,5 mL min⁻¹; vazão do gás de secagem, 10 mL min⁻¹; temperatura do bloco de aquecimento, 250 °C; temperatura DL, 200 °C. A separação cromatográfica foi realizada em uma coluna analítica Shim-pack UC-X de fase reversa (150 x 2,1 mm d.i., tamanho de partícula de 3,0 μm).

A eluição foi realizada com um gradiente binário composto por formato de amônio 5 mM em água (A) e formato de amônio 5 mM em metanol (B). As condições do gradiente foram as seguintes: 30% B, 0 min; 30%-100% B, 0-10 min; 100% B, 10-15 min; 30% B, 18-20 min. A fase móvel teve uma vazão de 0,5 mL min⁻¹. O volume de injeção foi de 5 μL e a temperatura do forno foi de 40 °C. A aquisição de dados foi realizada primeiro no modo de varredura completa de m/z 50 a 950 para confirmar os tempos de retenção dos analitos. Todos os padrões e extratos de amostra foram analisados no modo de monitoramento de íons selecionados (SIM).

- Poluentes orgânicos:

Os extratos das amostras e as soluções dos líquidos pirolíticos foram injetados na fonte de ionização sem nenhum tratamento prévio a uma vazão de 15 $\mu\text{L min}^{-1}$. As análises foram realizadas no modo HESI(+), com tensão de spray +3,0 kV, temperatura da região de vaporização de 80 °C, temperatura capilar de 300 °C, gás de bainha 10 a.u, gás auxiliar 10 a.u e gás de varredura 10 a.u. Para o modo HESI(-), com tensão de spray -3,0 kV, temperatura da região de vaporização de 80 °C, temperatura capilar de 300 °C, gás de bainha 10 a.u, gás auxiliar 5 a.u e gás de varredura 5 a.u. Os espectros de massa foram adquiridos usando um sistema FT-Orbitrap MS Exactive HCD Plus (Thermo Scientific, Bremen, Alemanha), na faixa m/z de 90 a 600, com acúmulo de 100 microscans e resolução de 140.000 FWHM (m/z 200).

O espectro de massa final foi obtido com a subtração do espectro em branco da amostra. O processamento dos espectros e atribuição da fórmula molecular dos íons foi realizado com o software Xcalibur v. 3.1 (Thermo Fisher Scientific), com critério de aceitabilidade de erro de até 3 ppm entre os valores m/z experimental e atribuído. Os parâmetros utilizados para processamento dos espectros e atribuição da fórmula molecular dos íons na análise FT-Orbitrap MS estão elencados no Quadro 5.

Quadro 5 - Parâmetros utilizados para processamento dos espectros e atribuição da fórmula molecular dos íons na análise FT-Orbitrap MS

Parâmetro	HESI(±)
C	3 - 50
¹³ C	0 - 1
H	5 - 100
O	0 - 10
N	0 - 10
S	0 - 3
Na	(+): 0 - 1; (-): 0
RDBE	-0.5 - 20.0
Error	3 ppm

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EFEITOS DA PIRÓLISE NAS PROPRIEDADES DO BIOCARVÃO

Após a pirólise do lodo a 400 °C, foi possível realizar a caracterização do biocarvão de lodo (BL) produzido e compará-lo com as características do lodo *in natura* (Tabela 2).

Tabela 2 – Propriedades funcionais do lodo e do biocarvão de lodo (BL)

Propriedades		Lodo	BL
Propriedades gerais	Rendimento (%)	-	87,25
	Umidade (%)	2,54	0,49
	pH	6,06	5,73
	Teor de cinzas (%)	39,5	41,0
Análise elementar	C (%)	29,83	30,90
	H (%)	4,68	4,48
	N (%)	4,59	4,77
	S (%)	0,63	0,77
	O ^a (%)	20,77	18,08
	H/C razão molar	1,89	1,74
	O/C razão molar	0,53	0,44
	C/N (%)	6,50	6,48
BET	Área superficial (m ² .g ⁻¹)	91,91	390,40
	Volume de poros (cm ³ .g ⁻¹)	0,135	0,299
	Tamanho dos poros (Å)	16,44	16,44
Macronutrientes	N _{total} (%)	4,17	4,33
	P ₂ O ₅ (%)	2,18	2,27
	K ₂ O (%)	0,26	0,28

Legenda: BL (Biocarvão de lodo pirolizado a 400 °C em forno rotativo de bancada); BET (Ensaio de Área Superficial)

^a Calculado por diferença, O = 100 – (C + H + N + S + Teor de cinzas)

O rendimento da pirólise foi elevado (87,25%), e a análise elementar revelou que os teores de orgânicos do lodo e do BL foram, em geral, ligeiramente superiores quando comparados com lodos de diferentes ETEs para temperaturas de pirólise semelhantes (Chagas et al., 2021; Jin et al., 2016; Racek et al., 2020; Wang et al., 2019). Os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio do lodo e do BL não sofreram alterações significativas. Foi observado apenas um aumento pequeno nos níveis de C e N (3,6% e 3,9%, respectivamente) e uma leve diminuição no teor de H (4,23%). A pirólise resultou em um aumento no teor relativo de enxofre no BL, sugerindo que o lodo de esgoto provavelmente continha uma fração significativa de S inorgânico em sua composição. Isto é, enquanto parte do S orgânico volatilizou durante a pirólise, o S inorgânico permaneceu.

O teor de cinzas encontrado no BL (41%) foi semelhante ao do lodo (39,5%). Inicialmente, esperava-se que a concentração de cinzas aumentasse após a pirólise devido à volatilização da matéria orgânica. No entanto, essa tendência não foi observada, uma vez que

as proporções de componentes orgânicos e inorgânicos se mantiveram praticamente constantes em ambas as amostras. Com isso, suspeitou-se que o tempo de residência do lodo no reator (2,5 minutos) tinha sido insuficiente para pirolisar o biossólido por completo, o que foi confirmado posteriormente por meio de uma análise termogravimétrica com equipamento TGA (instrumento NETZSCH STA 449C). Apesar disso, alterações notáveis foram observadas na morfologia do biocarvão e na presença de contaminantes, conforme detalhado nas seções subsequentes.

A perda de aproximadamente 12,75% de massa durante o processo de pirólise (conforme mostrado na Tabela 2), sugere a possibilidade de evaporação de água que não estava livre. McLaughlin (2010) afirma que o método convencional para calcular a umidade não representa com precisão o teor real de água em carvões devido à sua natureza hidrofílica (capacidade de absorver umidade do ambiente circundante) e altas áreas de superfície específica (propriedades de sorção). Isso significa que além da água livre, provavelmente há também água quimicamente ligada à superfície da amostra. Consequentemente, o aquecimento do material em temperaturas mais altas ($>105\text{ }^{\circ}\text{C}$) resulta na evaporação da água que foi inicialmente contabilizada como matéria orgânica/inorgânica e não como água.

Adicionalmente, a análise EDX revelou grandes quantidades de SiO_2 no lodo e no BL (2,562% e 3,164%, respectivamente). O dióxido de silício é conhecido por sua hidrofiliidade devido à sua química de superfície (Schrader et al., 2018). Portanto, pode-se presumir que o teor real de água nas amostras era mais elevado do que o relatado como umidade, mascarando o verdadeiro teor de matéria inorgânica no lodo. Isto é, a evaporação da água de hidratação da matéria inorgânica ocorreu simultaneamente com a volatilização da matéria orgânica, resultando na manutenção de suas concentrações no BL após a pirólise. Essa observação também pode ser sustentada pelo fato de que o lodo inicialmente tinha alto teor de umidade (75,6%) e a água quimicamente adsorvida pode ter permanecido no material bruto após o processo de secagem em estufa.

Quanto ao grau de acidez, o lodo apresentou pH igual a 6,06. O alto teor de matéria orgânica e a acidez podem ser atribuídos ao fato de que o lodo coletado estava fresco (não-estabilizado). Processos de estabilização frequentemente influenciam o nível de pH e a composição do lodo. Um estudo anterior mostrou uma tendência de aumento do pH após a pirólise, mesmo quando o pH inicial do lodo é ácido (Zhang et al., 2022). Contudo, no caso do BL, uma diminuição no pH foi observada. De acordo com Zoghلامي et al. (2021), o aumento no pH do biocarvão pode ser causado pelo acúmulo de sais alcalinos derivados de componentes minerais, o que é mais proeminente em biocarvões com alto teor de cinzas. Já a diminuição no

pH do biocarvão está normalmente associada ao aumento de ácidos orgânicos e substâncias fenólicas devido à decomposição de celulose e hemicelulose em temperaturas mais baixas (<300 °C). Como o pH do lodo reduziu de 6,06 para 5,73 no BL, pode-se presumir que a menor concentração de cinzas em comparação com outros biocarvões pode ter resultado em uma menor formação de sais, e a baixa temperatura de pirólise utilizada favoreceu a decomposição de materiais lignocelulósicos.

O nível de aromaticidade de biocarvões é geralmente associado às razões molares H/C e O/C. A diminuição desses parâmetros após a pirólise do lodo (Tabela 2) indicou um maior grau de carbonização e maior aromaticidade do BL (Cayuela; Jeffery; Van Zwieten, 2015; Zhang et al., 2022). O que significa que o BL possui maior estabilidade, logo, pode atuar beneficiando o solo por um período mais longo do que o lodo aplicado *in natura* (Racek et al., 2020). A razão C/N, por sua vez, relaciona-se com a capacidade da matéria orgânica de liberar N no solo. Quanto maior essa relação, mais lenta é a liberação de N (Brust, 2019). Aqui, observamos que a pirólise a 400 °C não afetou significativamente esse quesito, estando a relação C/N tanto do lodo como do BL dentro da faixa de 1 a 15, na qual o N é rapidamente mineralizado e liberado para uso pelas plantas. Tendências semelhantes foram observadas em outros estudos com biocarvões derivados de lodo de esgoto (Chagas et al., 2021; Figueiredo et al., 2019; Wang et al., 2019; Zhang et al., 2022).

A preservação de quantidades significativas de macronutrientes no biocarvão é vantajosa do ponto de vista sustentável, uma vez que possibilita a sua reciclagem (Börjesson; Kätterer, 2018). Segundo Chagas et al. (2021), além de melhorar as propriedades do solo como material condicionante, os BLs têm potencial como biofertilizantes. Isso ocorre porque biocarvões originados do lodo normalmente contêm macro (N, P, K) e micronutrientes (Cu, Mn e Zn) essenciais para o desenvolvimento das culturas. Ademais, além de disponibilizar nutrientes de forma gradual para as plantas, o biocarvão possui a capacidade de mantê-los no solo, reduzindo a perda por lixiviação.

Os seguintes teores de macronutrientes foram encontrados no BL: 4,33% de nitrogênio, 2,27% de fósforo e 0,28% de potássio, representando um leve aumento no teor relativo de nutrientes em comparação com o lodo. A concentração de N orgânico (4,77%) no lodo foi consistente com o teor total de N, indicando que grande parte do nitrogênio presente no biossólido originou-se de fonte orgânica (Zhao et al., 2023). Para mais, as concentrações de NPK observadas nessa pesquisa encontram-se dentro da faixa relatada em outros estudos que utilizaram lodo como matéria-prima para a produção de biocarvão (Racek et al., 2020).

Ainda, estudos têm demonstrado que a aplicação de biocarvão contendo quantidades relevantes de macronutrientes no solo resulta na menor necessidade por fertilizantes minerais, minimizando os custos com a aquisição desses produtos sem perder produtividade (Jatav et al., 2018; Nguyen et al., 2017). Outro ponto econômico importante está relacionado com a crise mundial iminente de escassez de fósforo. Qian et al. (2022) ressaltam que a recuperação de fósforo a partir do aproveitamento do lodo é crucial para minimizar os desafios nesse cenário.

3.2 EFEITOS DA PIRÓLISE NA MORFOLOGIA E FUNCIONALIDADE DO BIOCARVÃO

Os resultados do Ensaio de Área Superficial (BET), demonstrados na Tabela 2, indicaram que a pirólise teve um impacto significativo na morfologia da superfície do BL. Observou-se um aumento substancial da área de superfície e do volume de poros após a pirólise. Enquanto o tamanho dos poros permaneceu inalterado (16,44 Å), a área superficial do BL aumentou 324,8% em comparação com o lodo, e o volume de poros quase dobrou (Zoghlami et al., 2021).

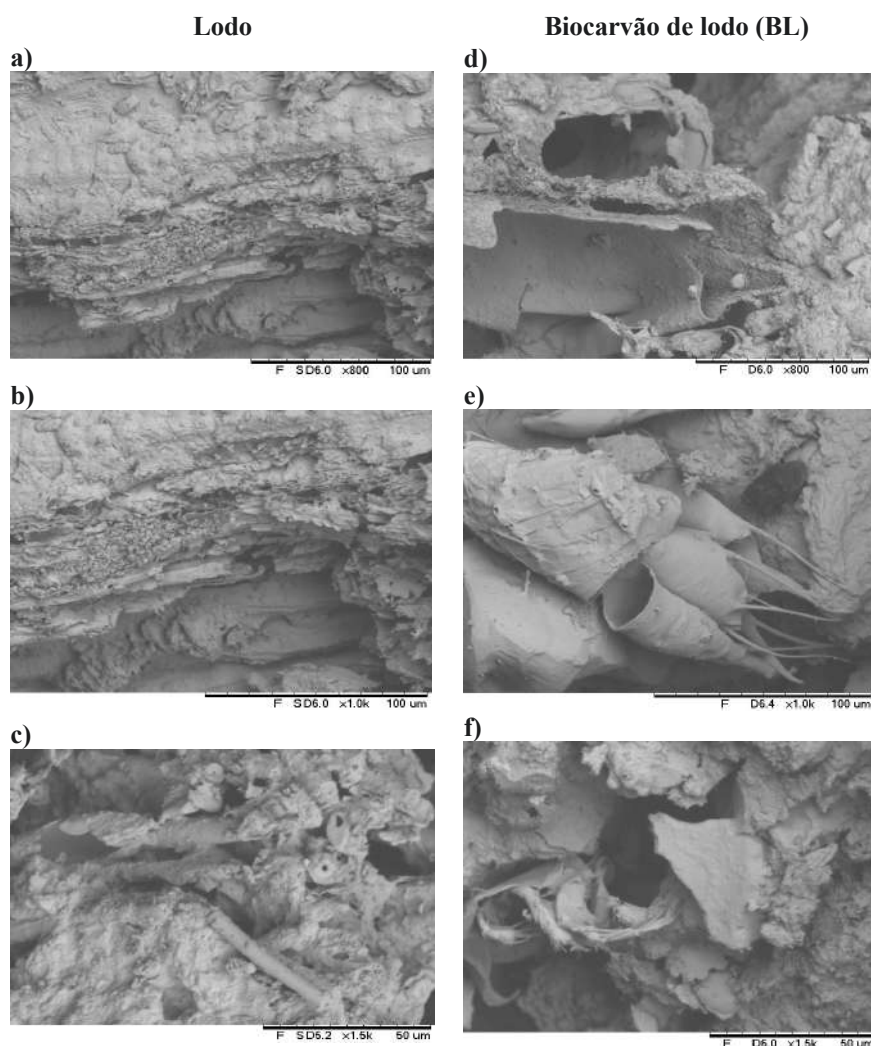
As imagens obtidas com a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) corroboram com esses resultados. As alterações morfológicas da superfície ficam claras comparando-se as imagens do lodo (Figuras 8a-c) com as do BL (Figuras 8d-f). O lodo apresenta uma mistura de estruturas semelhantes a placas lineares, com poros distribuídos de maneira irregular. À medida que a pirólise avança e a matéria orgânica volatiliza, novos poros surgem na matriz do BL, aumentando sua área superficial.

Vale ressaltar que nenhum processo de ativação foi aplicado nessa pesquisa; no entanto, as áreas superficiais do lodo e do BL foram muito superiores às relatadas em outros estudos. Por exemplo, um estudo de revisão de Ghorbani et al. (2022b) relatou áreas superficiais variando entre 2,88 e 54,1 m² g⁻¹ para biocarvões de lodo pirolisados em temperaturas entre 300 e 900 °C, enquanto o BL desse estudo exibiu uma área superficial de 390,4 m² g⁻¹. Essas propriedades demonstram que o BL possui um expressivo potencial agrícola, visto que a alta estrutura porosa do biocarvão está associada à sua capacidade de melhorar a produtividade das culturas retendo mais água e nutrientes no solo (Carey; McNamara; Zitomer, 2015).

Outros benefícios associados às propriedades adsorptivas dos biocarvões têm sido mundialmente reconhecidos, como sua habilidade de imobilizar contaminantes do solo. Quanto maior o desenvolvimento da microporosidade do biocarvão, maior sua capacidade de adsorção (Krahn et al., 2023; Li et al., 2022). Nesse contexto, os resultados demonstram que o BL também apresenta características promissoras para utilização com esse objetivo.

Complementarmente, as diferenças notáveis observadas na morfologia do lodo e BL, quando comparadas com a de outros biocarvões de lodo reportados na literatura, acende um alerta quanto à heterogeneidade característica desse tipo de matéria-prima, enfatizando-se a necessidade por estudos que abordem situações específicas para aplicações otimizadas.

Figura 8 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do lodo (figuras a-c); e do biocarvão de lodo (figuras d-f)

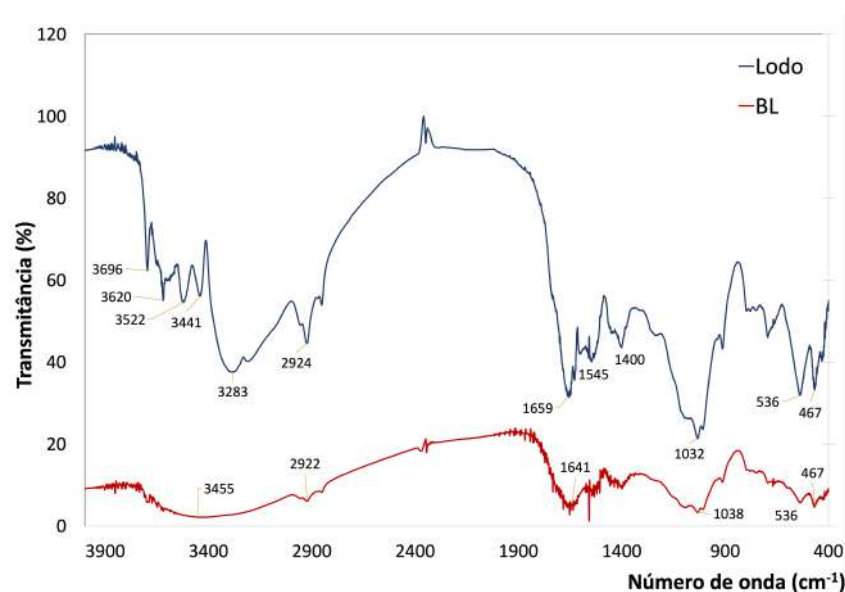


Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 9 exibe os resultados da espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), fornecendo evidências da presença de grupos funcionais na estrutura superficial do lodo e do BL. De maneira geral, os perfis das amostras foram semelhantes, embora com intensidades de banda consideravelmente divergentes. As diferenças mais notáveis podem ser vistas na região entre 3000 e 3700 cm^{-1} , onde observa-se a presença de funcionalidades hidroxila no espectro do lodo (estiramento —OH), os quais são atribuídos à

presença de substâncias polissacarídeas e ácidos carboxílicos; e por conseguinte o desaparecimento desses constituintes no espectro do BL, permanecendo apenas um pico fraco (3455 cm^{-1}) dentro desse intervalo. Isso sugere que muitos grupos hidroxila foram degradados por meio de reações de desidratação e dehidroxilação (Huang et al., 2017). Assim, é provável que os hidrocarbonetos orgânicos presentes no lodo volatilizaram ou se transformaram em estruturas aromáticas (WANG et al., 2019), o que está alinhado com os resultados da análise elementar em relação à diminuição da razão H/C do biocarvão.

Figura 9 – Espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier (FTIR) do lodo e do biocarvão de lodo (BL) pirolisado a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$



Fonte: Autoria própria (2025)

De acordo com Grube et al. (2006), os picos observados em 2924 cm^{-1} (espectro do lodo) e 2922 cm^{-1} (espectro do BL) são indicativos da presença de grupos metileno alifáticos, originários de gorduras e lipídios. Esses são grupos-chave para a melhoria do solo, pois contribuem para a retenção de água e liberação gradual de nutrientes. Os picos 1659 cm^{-1} e 1545 cm^{-1} detectados no espectro do lodo, assim como o pico 1641 cm^{-1} no espectro do BL, são atribuídos a grupos amida (base de proteínas), demonstrando que houve uma degradação parcial dessas substâncias após a pirólise. Na faixa de $1080 - 1030\text{ cm}^{-1}$, os picos observados correspondem ao estiramento de -CO (grupos polissacarídeos), típicos da composição do lodo de esgoto (Jin et al., 2016). Os picos abaixo de 600 cm^{-1} podem ser atribuídos à composição mineral (matéria inorgânica) das amostras (Xue et al., 2013).

Os resultados do ensaio FTIR estão alinhados com os resultados obtidos nas análises morfológica e elementar, pois demonstram que a pirólise transformou o lodo em um material

recalcitrante, resultando em maior aromaticidade e menor intensidade de banda no BL. Além disso, a pirólise a 400 °C preservou diversos grupos funcionais que possuem carga superficial significativa. Coletivamente, esses resultados indicam que o BL possui maior potencial para a estruturação do solo, de modo a induzir alterações mais eficazes e de longo prazo se comparado com lodo *in natura*.

3.3 EFEITOS DA PIRÓLISE NOS POLUENTES

3.3.1 Metais pesados

Os elementos-traço desempenham um papel crucial na nutrição do solo e no crescimento de plantas, incluindo metais pesados como Zn, Cu e Ni, que ocorrem naturalmente no meio ambiente em concentrações muito baixas. Uma das preocupações relacionadas à aplicação de lodo e do biocarvão de lodo no solo é que o teor de metais pesados presente neles pode elevar a concentração de metais no solo a níveis prejudiciais. Além da contaminação ambiental, existe o risco de metais pesados entrarem na cadeia alimentar e causarem toxicidade em humanos e animais (BS ISO 19698:2020, 2020; Inobeme, 2021).

A Tabela 3 mostra os teores totais de metais pesados encontrados no lodo e no BL, juntamente com os limites permitidos e recomendações propostas por organizações locais e internacionais para uso em solos.

Tabela 3 – Teores totais de metais pesados no lodo e no biocarvão de lodo (BL), e limites/valores de referência de resoluções nacional e internacionais para aplicação em solos

Metais pesados	Lodo	BL	Limites para aplicação de lodo em solos		Valores de referência para uso de biocarvão em solos	
			Brasil ^a	Padrão Internacional ^b	IBI ^c	EBC ^d
Zn (mg kg ⁻¹)	800,00	800,00	2800	7500	416 – 7400	400
Cu (mg kg ⁻¹)	131,84	147,60	1500	4300	143 – 6000	100
Cr (mg kg ⁻¹)	34,29	29,09	1000	3000	93 – 1200	90
Pb (mg kg ⁻¹)	<0.05	12,63	300	840	121 – 300	120
Ni (mg kg ⁻¹)	24.99	19,03	420	420	47 – 420	50
Cd (mg kg ⁻¹)	0,48	0,54	39	85	1,4 – 39	1,5

Legenda:

^a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama 498, referente a classificação para biossólidos (Classe 1) que podem ser aplicado em solos (Brasil, 2020);

^b Padrão britânico - BS ISO 19698:2020;

^c Iniciativa Internacional de Biocarvão (IBI - International Biochar Initiative), onde as faixas de valores de referência são baseadas em normas de várias jurisdições (Austrália, Canadá, União Europeia, Reino Unido e Estados Unidos da América) (IBI, 2015);

^d Certificado Europeu de Biocarvão (European Biochar Certificate – EBC), classe EBC-Agro (EBC, 2023).

Constatou-se que as concentrações de todos os metais pesados encontrados no lodo estavam bem abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Regulamentação Brasileira (Conama 498) e padrões internacionais para recuperação de lodo e aplicação em solos (Tabela 3). Esse resultado já era esperado, uma vez que o lodo foi coletado em uma ETE que trata esgoto tipicamente doméstico, com pouca ou nenhuma contribuição industrial. Logo, não sendo comum a presença expressiva de metais pesados.

Após a pirólise, houve uma redução nas concentrações totais de Cr e Ni, não foi observada variação no teor de Zn, e houve um aumento nos teores de Cu, Pb e Cd. Todas essas alterações foram pequenas, exceto nos níveis de Pb, que aumentaram de $<0,05$ para $12,63 \text{ mg kg}^{-1}$. Resultados semelhantes podem ser encontrados na literatura (Yang et al., 2018), juntamente com níveis mais elevados desses compostos (Jin et al., 2016; Wang et al., 2019), o que pode ser atribuído principalmente à variabilidade na composição do esgoto bruto.

Usualmente, os percentuais de metais pesados aumentam após a pirólise devido ao acúmulo de compostos inorgânicos no biocarvão. Os resultados desse estudo demonstram que essa tendência não foi padronizada para todos os metais pesados analisados. Similarmente, Zoghلامي et al. (2021) obtiveram resultados contrastantes, com uma redução na concentração de metais pesados após a pirólise de lodo à 420°C . Em geral, os aumentos e diminuições observados não foram significativamente diferentes entre o lodo e o BL, sugerindo que a pirólise não teve um efeito relevante no teor total dos metais analisados. Yang et al. (2018) também não encontraram mudanças significativas nos níveis totais de metais, independentemente da temperatura de pirólise utilizada.

Os teores totais dos seis metais pesados analisados no BL ficaram abaixo dos limites recomendados pela Iniciativa Internacional de Biocarvão (IBI, 2015). Porém, as concentrações de Zn (800 mg kg^{-1}) e Cu ($147,6 \text{ mg kg}^{-1}$) ultrapassaram os padrões propostos pela Certificadora Europeia de Biocarvão (EBC), que é de no máximo 400 mg kg^{-1} para Zn e 90 mg kg^{-1} para Cu. O teor moderado desses compostos no BL não foi resultado da pirólise, pois seus níveis já ultrapassavam os limites do EBC nas amostras de lodo (800 e $131,4 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente). É importante destacar que o EBC é um padrão voluntário para a comercialização de biocarvão na Europa, com parâmetros rigorosos para garantir a qualidade do biocarvão (EBC, 2023), portanto, o não cumprimento de seus padrões não invalida a utilização do BL como condicionador de solo.

A aplicação de qualquer biocarvão pode ser limitada pela condição do meio que irá recebê-lo, sendo necessária uma análise detalhada das propriedades do solo para garantir que as concentrações de metais não sejam elevadas para níveis tóxicos. Além disso, é importante

enfatizar que o risco ambiental dos metais pesados está relacionado à sua biodisponibilidade no solo, ao invés de sua concentração total (Huang et al., 2017). Dessa forma, o aumento da concentração total de metais pesados no BL não implica necessariamente no aumento do risco de contaminação. Pelo contrário, estudos têm mostrado que a pirólise do lodo leva a uma redução na biodisponibilidade desses metais (Figueiredo et al., 2019; Yang et al., 2018; Zhang et al., 2022).

Além do mais, segundo Racek et al. (2020), a mobilidade de metais pesados no lodo é tipicamente limitada (formas insolúveis), e outros fatores podem estar associados à diminuição da concentração de metais pesados extraíveis no biocarvão. Tendo como exemplo, Lu et al. (2013) apontam que as áreas superficiais complexas dos biocarvões restringem a liberação de metais no solo, e os metais podem ser imobilizados pela formação de complexos organometálicos devido ao desenvolvimento de grupos funcionais durante a pirólise.

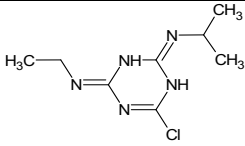
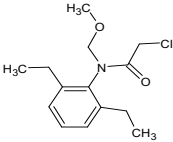
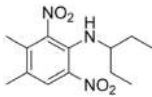
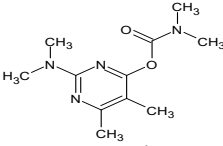
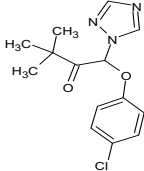
3.3.2 Pesticidas

Outra classe de poluentes avaliados quanto ao efeito da pirólise na formação do BL foram os pesticidas. Os pesticidas são substâncias perigosas que podem representar ameaças ao meio ambiente e à saúde humana, dependendo de suas concentrações e formas de exposição. Diversas classes de substâncias, incluindo inseticidas, herbicidas e fungicidas, são categorizadas como pesticidas (Zheng et al., 2019). Devido a isso, uma análise qualitativa detalhada foi realizada para detectar a presença de pesticidas nas amostras do lodo e do BL, além de ser realizada com extratos obtidos a partir da micro-pirólise do lodo em variadas temperaturas (400, 500 e 600 °C), conforme detalhado na sessão 3.3.3.2.

Sinais correspondentes aos pesticidas *atrazina*, *alaclor*, *pendimetalina*, *pirimicarba* e *triadimefon* foram encontrados no lodo, como demonstrado na Tabela 4. No entanto, nenhum sinal foi detectado nas outras amostras, indicando que tanto a pirólise em escala de bancada a 400 °C quanto a micro-pirólise a temperaturas > 400 °C degradaram efetivamente os pesticidas que estavam inicialmente presentes no lodo.

A presença desses cinco pesticidas no lodo *in natura* levanta uma alerta sobre a viabilidade do seu aproveitamento agrícola, especialmente quando se objetiva o plantio de culturas orgânicas. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2010), a *atrazina* é classificada como um pesticida ligeiramente perigoso (classe III), enquanto os outros pesticidas detectados no lodo são categorizados como moderadamente perigosos (classe II). Portanto, recomenda-se uma quantificação detalhada dessas substâncias antes de considerar a aplicação do lodo sem tratamento.

Tabela 4 – Pesticidas encontrados no lodo de esgoto *in natura*

Pesticida	Massa molecular (g mol ⁻¹)	Estrutura molecular	Íon monitorado	Tempo de retenção (min)
<i>Atrazina</i>	215,7		216,0	7,5
<i>Alaclor</i>	269,8		270,1	8,5
<i>Pendimetalina</i>	281,3		282,1	10,8
<i>Pirimicarba</i>	238,4		239,1	6,1
<i>Triadimefon</i>	293,8		294,0	8,4

A *atrazina*, um dos pesticidas detectados, é classificada como um desregulador endócrino. Mesmo em baixas concentrações, a exposição humana à *atrazina* pode levar a distúrbios metabólicos, disfunção do sistema imunológico, desenvolvimento comprometido e danos nos sistemas reprodutivos, incluindo esterilidade e defeitos congênitos (Chaturvedi et al., 2021). Ademais, os pesticidas *alaclor*, *pendimetalina* e *pirimicarba* são conhecidos por terem efeitos carcinogênicos (USEPA, 1998), e a presença de *triadimefon* em corpos d'água, solo e na cadeia alimentar representa riscos para a saúde humana e animal (Chu; Liao; Chen, 2016; Liu et al., 2017).

As propriedades físico-químicas dos biocarvões também têm inspirado pesquisas no sentido de avaliar o seu potencial para a remediação de solos contaminados por pesticidas, bem como para a remoção dessas substâncias por adsorção em corpos d'água (Liu et al., 2017; Sanz-Santos et al., 2022). Liu et al (2017) mostram que solos condicionados com biocarvão podem apresentar tanto redução como aumento na biodegradação de pesticidas presentes no solo, em comparação com solos não condicionados. Esse resultado dependerá das interações biocarvão-solo e dos mecanismos que irão prevalecer, uma vez que pode haver redução da disponibilidade de pesticidas devido ao aprisionamento da substância na estrutura do biocarvão, como também

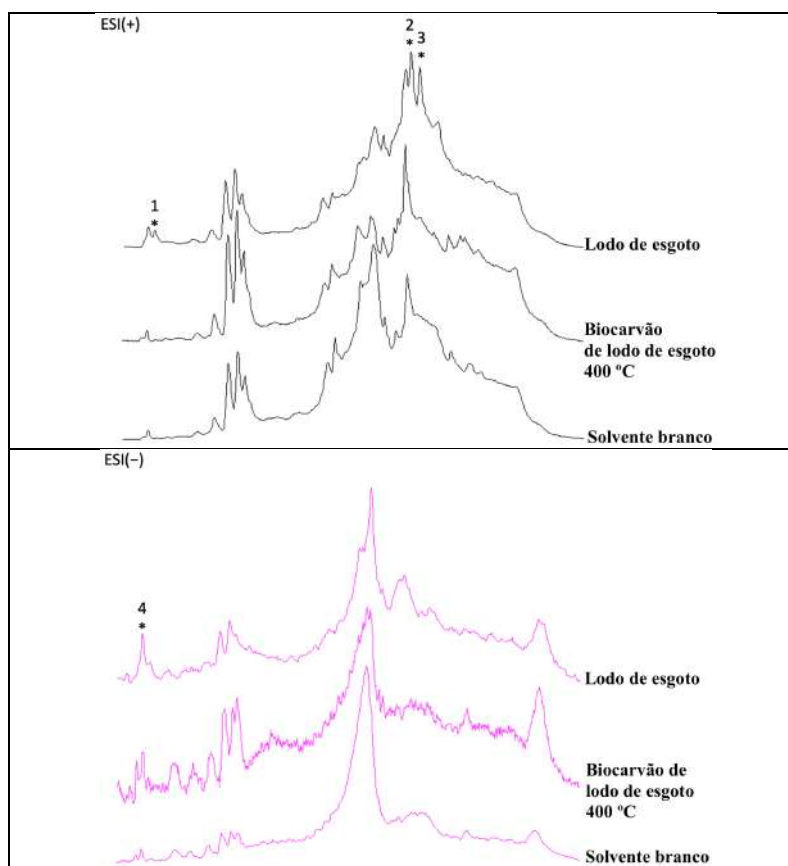
pode ocorrer um aumento da degradação dessas substâncias por comunidades microbianas bem desenvolvidas.

Salienta-se que a entrada de pesticidas no solo pela presença dessas substâncias na própria matéria-prima/biocarvão que será incorporado também merece grande atenção. Pela primeira vez, nosso estudo demonstrou que a pirólise $> 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ pode ser uma técnica eficiente para remover pesticidas do lodo bruto, reduzindo significativamente seu risco ambiental como condicionador de solo e possibilitando a sua aplicação segura tanto para agricultura convencional como orgânica.

3.3.3 Poluentes orgânicos

Deve-se ficar atento também à presença de poluentes orgânicos no lodo *in natura*, uma vez que estes compõem parte dos poluentes emergentes cada vez mais encontrados no meio ambiente (Fijalkowski et al., 2017). A Figura 10 apresenta o resultado da triagem realizada para avaliação qualitativa de poluentes orgânicos.

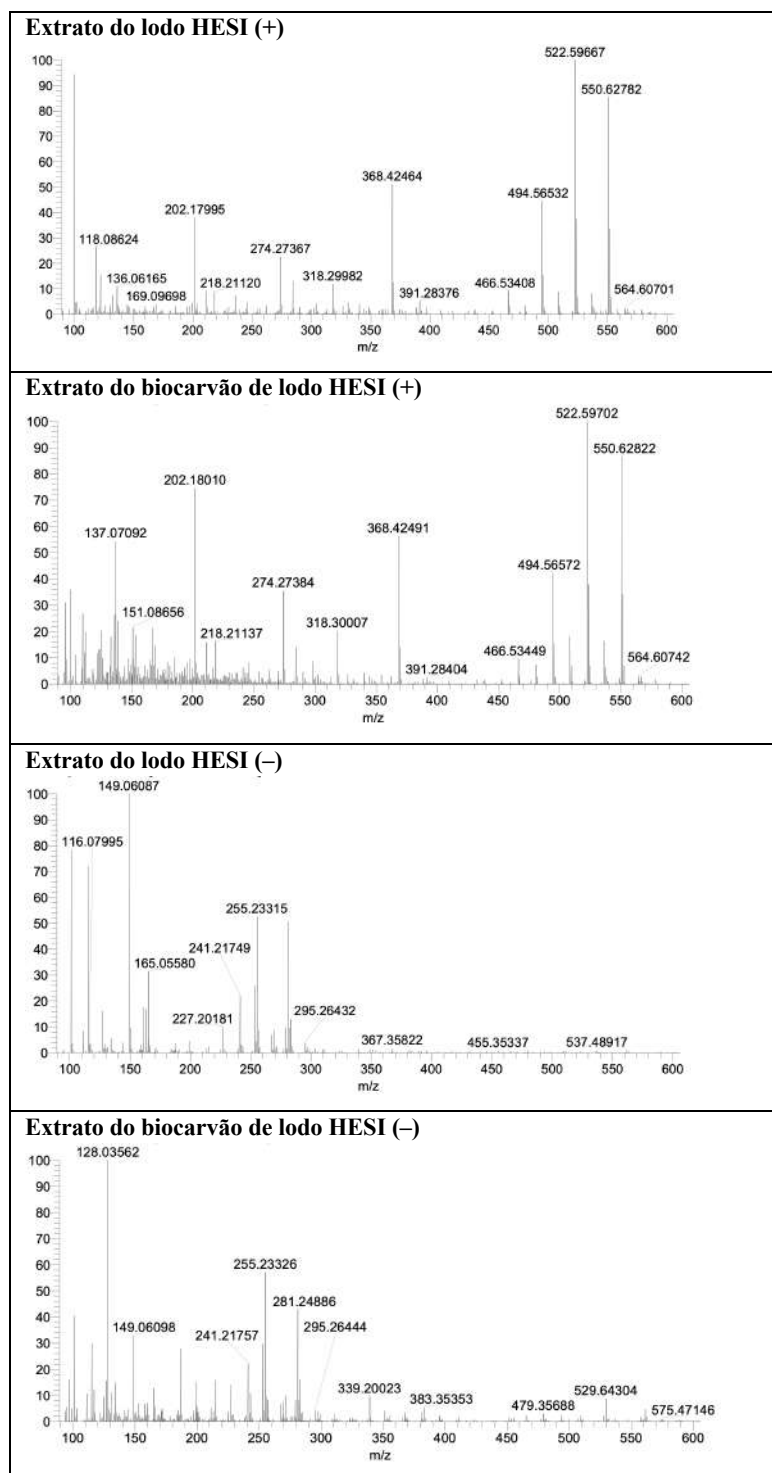
Figura 10 – Perfis cromatógrafos do lodo e do biocarvão de lodo (BL) decorrentes da triagem de poluentes orgânicos por meio de ESI($\pm$)-LC/MS



Fonte: Autoria própria (2025)

Os perfis cromatógrafos para as amostras do lodo e do BL foram muito semelhantes; no entanto, no modo positivo, foram identificados três picos no extrato do lodo que não estavam presentes no extrato do BL. Por meio da análise complementar dos extratos por ESI(+)-Orbitrap MS (Figura 11), foi possível obter a massa exata de cada um desses compostos.

Figura 11 – Espectros de massa dos extratos de lodo e de biocarvão de lodo (BL) por ESI(±)-ORBITRAP MS



Fonte: Autoria própria (2025)

A fórmula molecular proposta para os picos 2 e 3 foram $C_{35}H_{74}N_2$ e $C_{37}H_{78}N_2$ respectivamente, com um erro aproximado de 20 ppm e sem detecção de ligação dupla. Além disso, nenhuma fórmula com enxofre e cloro foi retornada durante a investigação, sugerindo que esses compostos representam aminas alifáticas que foram parcialmente degradadas termicamente, como confirmado pelos espectros de ESI(+)-Orbitrap MS. Considerando esse aspecto químico, a presença residual dessas substâncias no biocarvão não representa uma limitação para aplicação no solo, tendo em vista sua baixa toxicidade e alto potencial de biodegradação.

Paralelamente, identificou-se por meio do ESI($\pm$)-Orbitrap MS que o processo de pirólise degradou totalmente o íon com a fórmula atribuída a $C_5H_9O_1N_1$, enquanto os íons $C_5H_{10}O_2$ e $C_6H_{12}O_2$, associados a ácidos carboxílicos, foram parcialmente degradados. A análise ESI(-)-LC/MS do material bruto mostrou um pico 4 (Figura 11), com m/z 91,10, que não estava presente no extrato do BL. Quanto a este último pico, não foi possível confirmar sua fórmula molecular por ESI($\pm$)-Orbitrap MS, mas pode-se concluir que o processo de pirólise atuou sobre a sua degradação.

Nessa investigação qualitativa sobre a presença de poluentes orgânicos, foi possível analisar o potencial de infiltração de poluentes no solo por meio da incorporação de lodo ou de BL, preocupação pertinente tanto para solos já contaminados como para solos saudáveis. Embora a quantificação de tais constituintes não tenha sido realizada por limitações técnicas, evidências foram obtidas de que a pirólise do lodo em baixa temperatura (400°C) facilita efetivamente a degradação de poluentes orgânicos. Esse resultado contribui para aprimorar a segurança e a adequação do lodo para utilização ambientalmente sustentável.

4 CONCLUSÕES

Constatou-se, neste capítulo, que a pirólise de lodo de esgoto tipicamente doméstico causou alterações nas suas propriedades, estrutura físico-química e destino de poluentes. A degradação parcial da matéria orgânica em baixa temperatura (400 °C) resultou no desenvolvimento de grupos funcionais, aumento substancial da área superficial, e pequenas alterações no teor relativo de macronutrientes. Algumas propriedades do lodo e do BL foram consistentes com estudos anteriores, como àquelas referentes às concentrações de matéria orgânica e nutrientes, grau de aromaticidade (relação H/C e O/C), e capacidade de liberar nitrogênio (razão C/N). Todavia, tendências contrastantes também foram observadas, como a diminuição do pH e porosidade acima dos padrões observados na literatura. Essas descobertas destacam a importância da condução de estudos específicos considerando a heterogeneidade inerente a esse tipo de biossólido.

Quanto ao destino dos poluentes, descobriu-se que a pirólise não teve efeito relevante no teor de metais pesados (Zn, Cu, Cr, Ni, Cd) do lodo, exceto para o Pb. Apesar disso, tanto o lodo como o BL atenderam aos requisitos nacional (Conama 498) e internacional (IBI) para concentração de metais pesados em biossólido utilizado como adubo. Ainda, estudos indicam que, mesmo em concentrações mais altas, a biodisponibilidade de metais pesados no biocarvão é tipicamente reduzida após a pirólise, aumentando sua segurança para o uso na agricultura. No caso dos pesticidas, o efeito da pirólise foi notório. Cinco pesticidas (*atrazina*, *alaclor*, *pendimetalina*, *pirimicarba* e *triadimefon*) com efeitos prejudiciais associados mesmo em baixas concentrações foram detectados no lodo. No entanto, esses compostos não foram detectados no BL, independentemente da temperatura (>400 °C) e da unidade de pirólise utilizada (bancada ou microescala). Por fim, a triagem de poluentes orgânicos revelou que alguns compostos encontrados no lodo, além de apresentarem baixa toxicidade e alta biodegradabilidade, foram parcialmente degradados após a pirólise a 400 °C.

Portanto, a produção do BL se mostrou ser um método apropriado e seguro para lidar com questões de gerenciamento do lodo, eliminando ou imobilizando substâncias perigosas presentes nele. Além disso, o BL resultante apresentou propriedades funcionais aprimoradas em comparação com o lodo, tornando-o uma opção sustentável para melhoria do solo, com potenciais benefícios agronômicos, sociais e econômicos.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. et al. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. **Chemosphere**, v. 99, p. 19–33, mar. 2014.
- ANA. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2017.
- ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
- ANJOS, M.; LOPES, A. Urban Heat Island and Park Cool Island Intensities in the Coastal City of Aracaju, North-Eastern Brazil. **Sustainability**, v. 9, n. 8, p. 1379, 4 ago. 2017.
- BÖRJESSON, G.; KÄTTERER, T. Soil fertility effects of repeated application of sewage sludge in two 30-year-old field experiments. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 112, n. 3, p. 369–385, dez. 2018.
- BRASIL. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2017.
- BRASIL. **RESOLUÇÃO Nº 498, DE 19 DE AGOSTO DE 2020**. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), 2020.
- BRUST, G. E. Management Strategies for Organic Vegetable Fertility. Em: **Safety and practice for organic food**. [s.l.] Elsevier, 2019.
- BS ISO 19698:2020. **Sludge recovery, recycling, treatment and disposal — Beneficial use of biosolids — Land application**. [s.l.] British Standards Publication, 2020.
- CAREY, D. E.; MCNAMARA, P. J.; ZITOMER, D. H. Biochar from Pyrolysis of Biosolids for Nutrient Adsorption and Turfgrass Cultivation. **Water Environment Research**, v. 87, n. 12, p. 2098–2106, dez. 2015.
- CASTRO, A. L. F. G. DE; RODRIGUES, O.; SCALIZE, P. S. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 2, p. 66–73, 18 mar. 2018.
- CAYUELA, M. L.; JEFFERY, S.; VAN ZWIETEN, L. The molar H:C_{org} ratio of biochar is a key factor in mitigating N₂O emissions from soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 202, p. 135–138, abr. 2015.
- CHAGAS, J. K. M. et al. Long-term effects of sewage sludge-derived biochar on the accumulation and availability of trace elements in a tropical soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 50, n. 1, p. 264–277, jan. 2021.
- CHATURVEDI, M. et al. Emerging Contaminants in Wastewater: Sources of Contamination, Toxicity, and Removal Approaches. Em: **Emerging Treatment Technologies for Waste Management**. [s.l.] Springer, 2021.

CHU, S.-H.; LIAO, P.-H.; CHEN, P.-J. Developmental exposures to an azole fungicide triadimenol at environmentally relevant concentrations cause reproductive dysfunction in females of medaka fish. **Chemosphere**, v. 152, p. 181–189, jun. 2016.

EBC. **European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar**. Carbon Standards International (CS), 2023. Disponível em: <<http://european-biochar.org>>

FIGUEIREDO, C. C. DE et al. 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, jun. 2019.

FIJALKOWSKI, K. et al. The presence of contaminations in sewage sludge – The current situation. **Journal of Environmental Management**, v. 203, p. 1126–1136, dez. 2017.

GHORBANI, M. et al. Feasibility of Biochar Derived from Sewage Sludge to Promote Sustainable Agriculture and Mitigate GHG Emissions—A Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 19, p. 12983, 10 out. 2022a.

GHORBANI, M. et al. The Impact of Pyrolysis Temperature on Biochar Properties and Its Effects on Soil Hydrological Properties. **Sustainability**, v. 14, n. 22, p. 14722, 8 nov. 2022b.

GOLDAN, E. et al. Evaluation of the Use of Sewage Sludge Biochar as a Soil Amendment—A Review. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 5309, 28 abr. 2022.

GOUMA, V. et al. A novel approach to sorbent-based remediation of soil impacted by organic micropollutants and heavy metals using granular biochar amendment and magnetic separation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 2, p. 107316, abr. 2022.

GRUBE, M. et al. Evaluation of sewage sludge-based compost by FT-IR spectroscopy. **Geoderma**, v. 130, n. 3–4, p. 324–333, fev. 2006.

HUANG, Z. et al. Inhibition of the bioavailability of heavy metals in sewage sludge biochar by adding two stabilizers. **PLOS ONE**, v. 12, n. 8, p. e0183617, 23 ago. 2017.

IBGE. **Panorama Aracaju**. (2023) Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/aracaju/panorama>>.

IBI, B. S. **Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil**. International Biochar Initiative, , 2015. Disponível em: <<http://www.biochar-international.org/characterizationstandard>>

INOBE, A. Effect of Heavy Metals on Activities of Soil Microorganism. Em: **Microbial Rejuvenation of Polluted Environment**. [s.l.] Springer, 2021. v. 3.

JATAV, H. S. et al. Biochar and Sewage Sludge Application Increases Yield and Micronutrient Uptake in Rice (*Oryza sativa* L.). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 13, p. 1617–1628, 20 jul. 2018.

JIN, J. et al. Influence of pyrolysis temperature on properties and environmental safety of heavy metals in biochars derived from municipal sewage sludge. **Journal of Hazardous Materials**, v. 320, p. 417–426, dez. 2016.

KAVITHA, B. et al. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 227, p. 146–154, dez. 2018.

KRAHN, K. M. et al. Sewage sludge biochars as effective PFAS-sorbents. **Journal of Hazardous Materials**, v. 445, p. 130449, mar. 2023.

LI, K. et al. Insights into CO₂ adsorption on KOH-activated biochars derived from the mixed sewage sludge and pine sawdust. **Science of The Total Environment**, v. 826, p. 154133, jun. 2022.

LIU, H. et al. The cardiovascular toxicity of triadimefon in early life stage of zebrafish and potential implications to human health. **Environmental Pollution**, v. 231, p. 1093–1103, dez. 2017.

LIU, Y. et al. Impact of biochar amendment in agricultural soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: A review. **Science of The Total Environment**, v. 645, p. 60–70, dez. 2018.

LU, H. et al. Characterization of sewage sludge-derived biochars from different feedstocks and pyrolysis temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 102, p. 137–143, jul. 2013.

LUNA, J. H. M.; MARQUES, J. J.; RAMOS, A. L. D. Biocarvão: caracterização e aplicações. Em: **Energia da biomassa: termoconversão e seus produtos**. Curitiba: Brazil Publishing, 2020.

MAŠEK, O. et al. Consistency of biochar properties over time and production scales: A characterisation of standard materials. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 132, p. 200–210, jun. 2018.

MCLAUGHLIN, H. Characterizing Biochars: Attributes, Indicators, and At-Home Tests. Em: **The Biochar Revolution: Transforming Agriculture & Environment**. 1st. ed. [s.l.] NuLife Publishing, 2010.

MOŠKO, J. et al. Effect of pyrolysis temperature on removal of organic pollutants present in anaerobically stabilized sewage sludge. **Chemosphere**, v. 265, p. 129082, fev. 2021.

NGUYEN, T. T. N. et al. Short-term effects of organo-mineral biochar and organic fertilisers on nitrogen cycling, plant photosynthesis, and nitrogen use efficiency. **Journal of Soils and Sediments**, v. 17, n. 12, p. 2763–2774, dez. 2017.

NI, N. et al. The Role of Biochar in Reducing the Bioavailability and Migration of Persistent Organic Pollutants in Soil–Plant Systems: A Review. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 104, n. 2, p. 157–165, fev. 2020b.

QIAN, T. et al. A potential phosphorus fertilizer to alleviate the coming “phosphorus crisis”-biochar derived from enhanced biological phosphorus removal sludge. **Science of The Total Environment**, v. 838, p. 156559, set. 2022.

RACEK, J. et al. Biochar – Recovery Material from Pyrolysis of Sewage Sludge: A Review. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 7, p. 3677–3709, jul. 2020.

SANTANA, K. V. R.; APOLÔNIO, F. C. S. O.; WISNIEWSKI, A. Valorization of cattle manure by thermoconversion process in a rotary kiln reactor to produce environmentally friendly products. **BioEnergy Research**, v. 13, n. 2, p. 605–617, jun. 2020.

SANTOS, T. M. et al. Thermal Conversion of Sugarcane Bagasse Coupled with Vapor Phase Hydrotreatment over Nickel-Based Catalysts: A Comprehensive Characterization of Upgraded Products. **Catalysts**, v. 12, n. 4, p. 355, 22 mar. 2022.

SANZ-SANTOS, E. et al. Enhanced removal of neonicotinoid pesticides present in the Decision 2018/840/EU by new sewage sludge-based carbon materials. **Journal of Environmental Management**, v. 313, p. 115020, jul. 2022.

SCHRADER, A. M. et al. Surface chemical heterogeneity modulates silica surface hydration. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 12, p. 2890–2895, 20 mar. 2018.

SLUITER, A. et al. **Determination of Ash in Biomass: Laboratory Analytical Procedure (LAP)**. National Renewable Energy Laboratory, , 2005.

WANG, X. et al. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and environmental risk of heavy metals in pyrolyzed biochar made from hydrothermally treated sewage sludge. **Chemosphere**, v. 216, p. 698–706, fev. 2019.

WHO. **The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification: 2009**. World Health Organization, , 2010.

WISNIEWSKI JR, A. Processos de conversão térmica de biomassas. Em: **Energia da biomassa: termoconversão e seus produtos**. Curitiba: Brazil Publishing, 2020.

XUE, T. et al. Adsorption and Desorption of Mercury(II) in Three Forest Soils in Shandong Province, China. **Pedosphere**, v. 23, n. 2, p. 265–272, abr. 2013.

YANG, Y. et al. Physicochemical Properties of Biochars Produced from Biosolids in Victoria, Australia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 7, p. 1459, 10 jul. 2018.

ZHANG, X. et al. Effects of pyrolysis temperature on biochar's characteristics and speciation and environmental risks of heavy metals in sewage sludge biochars. **Environmental Technology & Innovation**, v. 26, p. 102288, maio 2022.

ZHAO, L. et al. Sewage sludge derived biochar for environmental improvement: Advances, challenges, and solutions. **Water Research X**, v. 18, p. 100167, jan. 2023.

ZHENG, Y. et al. From a Perspective of Nutrition: Importance of Organic Foods over Conventional Counterparts. Em: **Safety and practice for organic food**. [s.l.] Elsevier, 2019.

ZHU, X. et al. Pyrolysis of pre-dried dewatered sewage sludge under different heating rates: Characteristics and kinetics study. **Fuel**, v. 255, p. 115591, nov. 2019.

ZOGLAMI, R. I. et al. Biochar Derived from Domestic Sewage Sludge: Influence of Temperature Pyrolysis on Biochars' Chemical Properties and Phytotoxicity. **Journal of Chemistry**, v. 2021, p. 1–10, 17 set. 2021.

CAPÍTULO II

DEGRADAÇÃO FÍSICA DO BIOCARVÃO: EFEITOS A LONGO PRAZO COMO CONDICIONADOR DE SOLO²

RESUMO

Este estudo investigou a hipótese de que biocarvões derivados de lodo de esgoto (BL) e de *pellets* de palha de trigo (BPT) resistem ao envelhecimento ambiental de longo prazo em áreas propensas à seca, mantendo sua funcionalidade como condicionadores de solo sustentáveis. Essa questão é especialmente urgente diante da necessidade global de reduzir a dependência de fertilizantes, melhorar a saúde do solo e sequestrar carbono frente à instabilidade climática. Os biocarvões foram produzidos em temperaturas de pirólise de 400, 550, 600 e 700 °C, e submetidos a ciclos de umedecimento e secagem — método que simula processos naturais de intemperismo, como a chuva e variações de temperatura. Os resultados revelaram que o desempenho do biocarvão após o envelhecimento é fortemente influenciado pelo tipo de biomassa e pelas condições de pirólise. Os BLs são mais suscetíveis à perda de carbono e a transformações oxidativas; contudo, apresentam grande potencial como biofertilizantes devido ao seu elevado teor de nitrogênio, à disponibilidade de matéria orgânica e às características reativas da superfície. Por sua vez, os BPTs apresentam maior potencial para o sequestro de carbono e para a melhoria da capacidade de retenção de água no solo, devido à sua maior resistência à degradação e elevada porosidade. Esses resultados destacam a importância de considerar tanto a estabilidade química quanto a estrutura física na escolha do biocarvão para manejo do solo. Uma compreensão mais aprofundada desses mecanismos pode otimizar o uso de matérias-primas e aumentar a eficiência industrial, resultando em economia com fertilização e irrigação, aumento da renda com créditos de carbono e benefícios ambientais e climáticos.

Palavras-chave: Envelhecimento de biocarvão. Processos abióticos. Capacidade de retenção de água. Agricultura sustentável. Estabilidade do carbono. Economia circular.

² Artigo (versão inglês) publicado no periódico **Biomass & Bioenergy**.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108284>

BIOCHAR PHYSICAL DEGRADATION: LONG-TERM EFFECTS AS SOIL AMENDMENTS

ABSTRACT

This study investigated the hypothesis that biochars derived from sewage sludge (SS) and wheat straw pellets (WSP) withstand long-term environmental aging in drought-prone areas while maintaining their functionality as sustainable soil amendments. This is especially urgent given the global need to reduce fertiliser dependence, enhance soil health and sequester carbon in the face of climate instability. Biochars were produced at pyrolysis temperatures of 400, 550, 600 and 700 °C, and subjected to wet-dry cycling – a method that simulates natural weathering processes such as rainfall and temperature fluctuations. The results revealed that biochar performance after aging is strongly influenced by biomass type and pyrolysis conditions. SS biochars are more prone to carbon loss and oxidative transformations; however, they show great potential as biofertilisers due to their elevated nitrogen content, organic matter availability, and reactive surface characteristics. Meanwhile, WSP biochars show greater promise for carbon sequestration and improved soil water-holding capacity, owing to their higher resistance to degradation and increased porosity. These findings emphasise the importance of considering both chemical stability and physical structure when selecting biochar for soil management. A deeper understanding of these mechanisms can optimise feedstock use and boost industrial efficiency, leading to fertilisation and irrigation savings, increased carbon credit income, and broader environmental and climate resilience benefits.

Keywords: Biochar aging. Abiotic processes. Water holding capacity. Sustainable agriculture. Carbon stability. Circular economy.

1 INTRODUÇÃO

Biocarvão é um material rico em carbono com significativo valor ambiental e econômico, produzido através da conversão térmica de diversas fontes de biomassa, incluindo resíduos agroindustriais, resíduos florestais e lodo de esgoto (Wisniesivk Jr., 2020). Inspirada pela descoberta da Terra Preta de Índio — um solo excepcionalmente fértil na Bacia Amazônica, que contém quantidades substanciais de carvão — expandiram-se as pesquisas sobre a engenharia e aplicações do biocarvão, impulsionadas por suas propriedades multifuncionais. Os biocarvões oferecem benefícios promissores para melhoria do solo, sequestro de carbono, tratamento de águas residuais, recuperação energética e outras aplicações avançadas devido à sua morfologia única, propriedades de adsorção e notável estabilidade (Lehman et al., 2003; Amalina et al., 2023).

Pesquisas têm demonstrado que a pirólise da biomassa para produzir biocarvão e a sua incorporação no solo contribuem para o desenvolvimento sustentável, ao mesmo tempo em que aborda o descarte dos resíduos orgânicos complexos/tóxicos, aumentando a fertilidade de solos e fornecendo uma via para a remoção de carbono por meio do aprisionamento no solo a longo prazo (Barbosa et al., 2023; Barry et al., 2019; Baldoni et al., 2023; Khan et al., 2024). Os benefícios nos solos incluem maior capacidade de retenção de água (Edeh, Mašek e Buss, 2020), modificação da estrutura do solo (Ghorbani et al., 2022), promoção do crescimento de plantas e da diversidade microbiana, e recuperação de solos degradados (Khavita et al., 2018). Esses atributos destacam o potencial da produção de biocarvões como meio tecnológico essencial para a proteção ambiental, segurança alimentar e mitigação das mudanças climáticas.

A região semiárida brasileira, predominantemente situada no Nordeste, é caracterizada por um clima quente e árido, marcado por eventos de chuva irregulares e altamente concentrados, com precipitação anual geralmente inferior a 800 mm (INSA, 2025). Essa área enfrenta desafios substanciais relacionados à segurança alimentar, sendo a região mais vulnerável do Brasil, com insegurança alimentar severa afetando 22,1% da população, e níveis moderado e leve relatados em 16% e 35%, respectivamente (Galindo et al., 2021). Agricultores familiares representam cerca de 80% da força de trabalho agrícola na região, sendo altamente dependente das chuvas para irrigação das culturas (Aquino; Alves; Vidal, 2020). Fortes evidências indicam que as mudanças climáticas tendem a aumentar tanto a frequência quanto a severidade das secas, agravando, assim, a insegurança alimentar e apresentando obstáculos consideráveis à produtividade agrícola (Marengo et al., 2021).

Nessas condições, o biocarvão se apresenta como uma abordagem promissora para o manejo sustentável do solo no semiárido nordestino. No entanto, é importante reconhecer que a maioria das descobertas sobre as interações solo-biocarvões provém de estudos de curto prazo. Embora o biocarvão geralmente possua estrutura aromática, a sua incorporação no solo induz vários processos de degradação, como fragmentação, dissolução e oxidação, induzidos por fatores bióticos (microrganismos e exsudatos das raízes) e abióticos (precipitação e variações de temperatura) (Quan et al., 2020; Shen et al., 2018; Wang et al., 2017). Esses processos naturais, coletivamente referidos como "envelhecimento do biocarvão", não devem ser ignorados, pois as mudanças nas dinâmicas entre o biocarvão e o solo podem impactar significativamente o desempenho do biocarvão a longo prazo (Wang et al., 2020b).

De acordo com Xia et al. (2023), Yue et al. (2023) e Vedere et al. (2023), esses efeitos a longo prazo podem ser tanto benéficos quanto prejudiciais. Por exemplo, o envelhecimento do biocarvão no solo tem demonstrado aumentar a sua fertilidade e promover o crescimento das plantas (Murtaza et al., 2023). Por outro lado, Lin et al. (2018) observaram que o envelhecimento do biocarvão pode levar à acidificação do solo, aumentando potencialmente a mobilização e a biodisponibilidade de compostos tóxicos em solos inicialmente tratados com biocarvão alcalino. A estabilidade do biocarvão em termos de percentual de carbono lábil e recalcitrante influencia também o seu efeito como possível biofertilizante e condicionador de solo. Isso porque a fração rapidamente degradável pode favorecer o desenvolvimento da microbiota do solo e impulsionar a produtividade agrícola no curto e médio prazo, enquanto a parcela estável pode proporcionar a retenção de carbono e a melhor estruturação física do solo por longos períodos (Crombie et al., 2015; Mašek et al., 2013). Dessa maneira, fica evidente que compreender esses processos e seus impactos são importantes para a utilização otimizada e sustentável do biocarvão.

Todavia, destaca-se que a observação em campo dessas modificações a longo prazo levaria décadas/centenas de anos e são, portanto, difíceis de mensurar. Uma forma de contornar esse problema é através da aplicação de métodos artificiais que simulam os mecanismos naturais de envelhecimento, reduzindo consideravelmente os tempos de observação. (Li et al., 2019). Esses métodos possibilitam a elaboração de guias teóricos e previsões sobre alguns processos naturais importantes. Exemplos de abordagens de envelhecimento artificial incluem oxidação química, ciclos de congelamento e descongelamento, oxidação com ácidos orgânicos de baixo peso molecular e ciclos de umedecimento e secagem (Wang et al., 2020b). Destaca-se que cada um desses métodos possui limitações, dada a complexidade inerente do envelhecimento natural, que envolve múltiplos mecanismos simultâneos. Por exemplo, Li et al.

(2019) demonstraram que o envelhecimento químico superestima a oxidação do biocarvão, enquanto os ciclos de congelamento e descongelamento tendem a alterar apenas a sua porosidade, uma mudança não totalmente compatível com o biocarvão envelhecido naturalmente. Entre as técnicas disponíveis, os ciclos de umedecimento e secagem têm sido reconhecidos como um dos métodos mais eficazes para produzir uma composição elementar que se assemelha de forma próxima à do biocarvão envelhecido naturalmente.

Dentro desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar e comparar os efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem na degradação de biocarvões derivados de lodo de esgoto (BL) e de palha de trigo (BPT), examinando suas implicações como condicionadores/biofertilizantes de solo. Esta pesquisa busca contribuir para a sustentabilidade ambiental ao oferecer compreensões sobre a longevidade de biocarvões, destacando seu potencial para melhorar a qualidade do solo, ampliar o sequestro de carbono e apoiar iniciativas de economia circular por meio da valorização de resíduos de biomassa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Baseando-se nos conceitos de sustentabilidade, buscou-se fazer a investigação não somente das funcionalidades do biocarvão de lodo fresco (recém produzido), como também do biocarvão envelhecido, ou seja, após a sua degradação no solo. Para tanto, ensaios de envelhecimento foram realizados durante o doutorado sanduíche no Centro de Pesquisa em Biocarvão do Reino Unido “*UK Biochar Research Centre*” (UKBRC) da Universidade de Edimburgo, Escócia.

A região semiárida brasileira é caracterizada por altas taxas de evapotranspiração e temperaturas que frequentemente excedem 30 °C, combinadas com eventos de chuva irregulares e altamente concentrados, os quais contribuem significativamente para a escassez de água e impõem desafios à gestão agrícola (Marengo; Torres; Alves, 2017). Como resultado, o método de ciclos de umedecimento e secagem foi selecionado como um substituto para a degradação física natural, na ausência de fatores de degradação microbiana e química (Cao et al., 2019; Yang et al., 2022). Essa abordagem permite focar nos efeitos isolados dos principais fatores ambientais da região, facilitando assim a avaliação da degradação do biocarvão a longo prazo.

2.1 CICLOS SECO-ÚMIDO

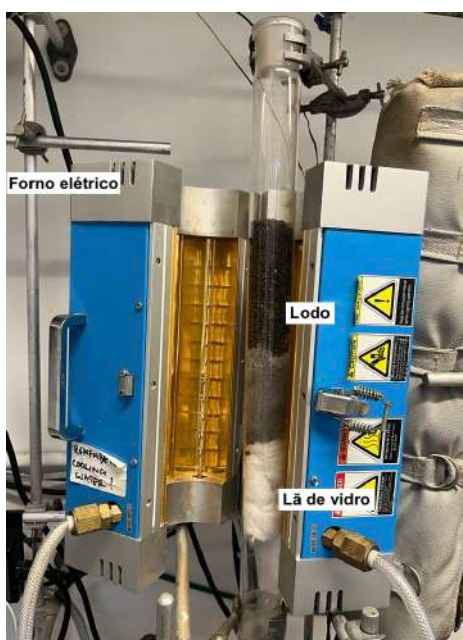
Os ciclos de umedecimento e secagem, também conhecido como “*wet-dry cycles*”, simulam os efeitos provocados pela chuva e flutuações de temperatura no ambiente natural, podendo causar oxidação, rachaduras e alterações na estrutura dos poros do biocarvão (Kumar et al., 2020).

Uma amostra da primeira rodada de pirólise do lodo coletada na ETE Orlando Dantas foi transportada para o Reino Unido para execução dos ensaios de envelhecimento acelerado. Porém, como a pirólise tinha sido insuficiente, a amostra foi pirolisada novamente em reator de leito fixo de bancada no UKBRC (Figura 12), em duas temperaturas (400 °C e 600 °C), com tempo de residência de 20 min, taxa de aquecimento de 15 °C min⁻¹ e fluxo contínuo de gás nitrogênio a uma taxa de 1,2 L min⁻¹ para garantir atmosfera inerte. O reator utilizado consiste em um tubo de vidro borosilicato de 50 mm de diâmetro, cuja parte inferior é selada com lã de vidro (Mašek et al., 2013). Aproximadamente 100 g de biomassa foi inserida no tubo e disposto dentro do forno elétrico para realização da pirólise. Tanto o biogás como o bio-óleo produzidos durante o processo poderiam ser coletados e monitorados por meio de condensadores e

medidores de vazão. Porém, como o foco de estudo dessa tese é o biocarvão, ambos foram descartados.

Além do biocarvão de lodo, os ensaios de envelhecimento foram realizados com biocarvões provenientes de outras duas biomassas: lodo de esgoto estabilizado e pellets de palha de trigo. Esse biocarvões fazem parte da série de biocarvões padrões produzidos no UKBRC, os quais foram pirolisados utilizando reator de forno rotativo em escala piloto com temperaturas de 550 °C e 700 °C (ficha técnica dos biocarvões no Anexos A). Desse modo, o experimento resultou na testagem de um total de seis biocarvões e seus respectivos biocarvões envelhecidos, conforme detalhado no Quadro 6.

Figura 12 - Reator de leito fixo utilizado na pirólise do lodo a 400 e 600 °C



Fonte: Autoria própria (2025)

Quadro 6 - Biocarvões utilizados no ensaio de envelhecimento físico (ciclos seco – úmido)

Biocarvão	Biomassa	Temperatura de pirólise (°C)	Tipo de reator pirolítico	Origem da biomassa
BL ₄₀₀	Lodo de esgoto não-estabilizado	400	Reator leito fixo (escala de bancada)	Brasil
BL ₆₀₀		600		
BL ₅₅₀	Lodo de esgoto estabilizado	550	Reator de forno rotativo (escala piloto)	Reino Unido
BL ₇₀₀		700		
BPT ₅₅₀	Palha de trigo	550		
BPT ₇₀₀		700		

Aproximadamente 1,5 kg de areia média foi utilizada para montagem das amostras em bandejas de alumínio de 11,5 x 20 x 22 cm. Optou-se por utilizar areia nos experimentos devido às características arenosas do solo da área de estudo e para evitar a necessidade de esterilização, uma vez que se deseja analisar apenas os efeitos dos processos físico-químicos nesse experimento, eliminando a interferência da ação de microrganismos naturalmente presentes nos solos.

Os biocarvões foram adicionados à areia a uma taxa de 5% em massa e misturados cuidadosamente até formar amostras homogêneas (Figura 13). Duas bandejas foram montadas para cada tipo de biocarvão, totalizando 12 exemplares. As misturas areia-biocarvão foram secas até constância de peso à 105 °C antes de iniciar os ciclos seco-úmido para determinação da massa seca. Posteriormente, objetivando garantir a saturação das amostras, água destilada foi adicionada às misturas aos poucos até que todas as amostras ficassem submersas. Após uma hora em repouso, verificou-se que 30% de água por massa de areia-biocarvão seria suficiente para submergir as amostras.

Figura 13 - Preparação das misturas areia-biocarvão para indução do envelhecimento acelerado, (a) areia de granulometria média, (b) adição de biocarvão (5% em massa) e (c) mistura homogênea de areia e biocarvão



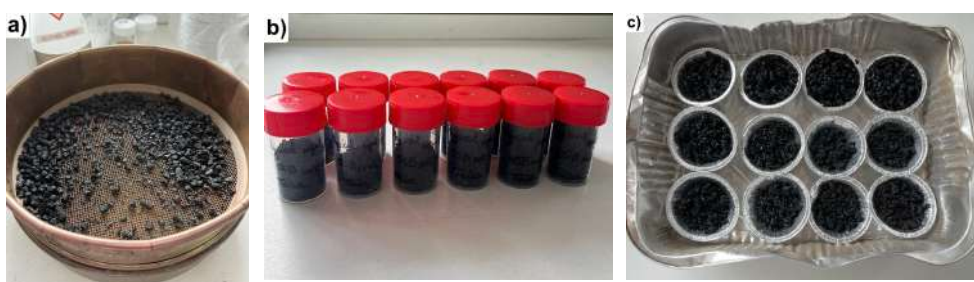
Fonte: Autoria própria (2025)

A partir de então deu-se início ao envelhecimento acelerado do biocarvão por ciclagem seco-úmida. Para cada ciclo, água destilada foi adicionada lentamente à mistura areia-biocarvão (30% em massa) com o auxílio de um irrigador para evitar a formação de buracos na areia. Em seguida, as amostras foram guardadas dentro da estufa (desligada) para evitar o contato com a luz solar e minimizar a evaporação. Após saturação em água por 24h, a estufa foi ligada à 105 °C, procedendo com a secagem das amostras. Notou-se que as amostras não secaram completamente após 24h (massa maior que a massa seca aferida previamente), por isso a etapa de secagem foi realizada por 48h. Consequentemente, um ciclo seco-úmido completo foi composto por três dias: 1 dia molhado + 2 dias secando.

Ao todo, foram realizados 20 ciclos para observação do envelhecimento do biocarvão (Figura 14). A extração do biocarvão dos exemplares foi realizada seguindo os passos a seguir:

- 1) Com o auxílio de uma pá metálica, parte da mistura areia-biocarvão foi coletada ao longo de todo o perfil da amostra, isto é, do topo até a base;
- 2) As amostras extraídas da bandeja foram peneiradas com peneira de abertura 1,4 mm para separação da areia e do biocarvão;
- 3) O biocarvão coletado após o peneiramento foi lavado com água destilada e posto para secar durante a noite em estufa à 105 °C, sendo então armazenado em potes de plástico com tampa.

Figura 14 - Extração dos biocarvões após ciclos seco-úmido, (a) peneiramento com #1,4 mm, (b) amostras coletadas após secagem, e (c) amostras lavadas com água destilada



Fonte: Autoria própria (2025)

Ao final dos ciclos, as amostras foram coletadas para caracterização. O Quadro 7 apresenta um resumo dos métodos utilizados e dos locais de realização das análises.

Quadro 7 - Parâmetros da caracterização dos biocarvões submetidos ao processo de envelhecimento acelerado

Parâmetro	Unidade	Metodologia	Instrumento	Local das análises
pH	-	pH e CE em água (1:5 em massa)	Medidor multiparâmetro HACH	UKBRC ²
CE ¹	μS/cm			
Teor de cinzas	%	ASTM “Standard Method for the Determination of Ash in Biomass” - E1755-01	Mufla	PEB ³
Análise elemental (Teor CHN)	%	Análise elemental	Analizador elemental orgânico Thermo Fisher FlashSmart 2000 com amostrador automático MAS Plus para amostras sólidas	Grant Institute, School of GeoSciences, University of Edinburgh
Morfologia da superfície	-	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	Carl Zeiss SIGMA HD VP SEM de emissão de campo com análise de raios X Oxford AZtec ED e sistemas de difração de retroespalhamento de elétrons (EBSD)	
Área superficial	m ² .g ⁻¹	BET	Análise de Adsorção de Nitrogênio – BET utilizando equipamento NOVO, 1220e	CLQM ⁴
Porosidade	cm ³ .g ⁻¹			
Volume de poros	Å			
Grupos funcionais	-	Espectroscopia de Infravermelho	Equipamento Shimadzu, IRPrestige-21	SergipeTEC ⁵

Legenda:

¹CE: Condutividade elétrica;

²UKBRC: Centro de Pesquisa de biocarvão do Reino Unido.

³PEB: Laboratório de Petróleo e Energia da Biomassa – UFS.

⁴CLQM: Centro de Laboratório de Química Multiusuários, Departamento de Química – UFS.

⁵SergipeTEC: Sergipe Parque Tecnológico

2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Testes de hipóteses foram realizados para verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre as médias das variáveis analisadas, com o auxílio do software R (R CORE TEAM, 2022) e do Microsoft Excel.

A análise de variância bidirecional (*two-way* ANOVA) é um teste paramétrico que deve ser utilizado quando se deseja testar hipóteses entre três ou mais médias populacionais, comparando-se a influência de dois fatores. Esse teste considera que a variável resposta é contínua e as variáveis explanatórias (independentes) são categóricas. Além de ser observado o efeito da interação entre os fatores, obtém-se também o efeito de cada variável explanatória sobre a variável resposta. Para utilização desse método, os seguintes pressupostos precisam ser atendidos: i) todas as observações devem ser independentes; ii) os dados devem possuir distribuição normal; iii) as variâncias de cada grupo devem ser aproximadamente iguais; iv) a variável dependente deve ser contínua (Moya, 2020).

Observa-se que as variáveis explanatórias desse estudo são categóricas: tipo de biocarvão (BL₄₀₀, BL₅₅₀, BL₆₀₀, BL₇₀₀, BPT₅₅₀, BPT₇₀₀) e idade do biocarvão (fresco ou envelhecido). Já as variáveis de resposta são quantitativas e contínuas: pH, condutividade elétrica, teor de cinzas e teor de CHN-O. Além disso, as amostras são independentes, pois foram selecionadas aleatoriamente e não existe nenhum tipo de relação entre seus elementos, atendendo às proposições da ANOVA.

O teste de Shapiro-Wilk é um teste não-paramétrico que não pressupõe uma distribuição específica dos dados, sendo adequado para verificação da normalidade de variáveis com mensuração nominal ou ordinal e para amostras pequenas (Moya, 2020). Como os dados foram obtidos em duplicata, não foi possível realizar o teste por amostra. Portanto, o teste de Shapiro-Wilk foi aplicado com os conjuntos de dados obtidos com todos os biocarvões para cada parâmetro, resultando em P-valor maior que o nível de significância adotado (5%) e, portanto, indicando que as amostras possuem distribuição normal. Adicionalmente, o pequeno número de dados por amostra impossibilitou a análise quanto à homogeneidade das variâncias, porém, assumiu-se essa homogeneidade como verdadeira devido à ínfima variação dos resultados obtidos em cada parâmetro analisado.

Desse modo, a ANOVA bidirecional foi empregada para a análise dos dados, considerando nível de confiança de 95%. Em seguida, o teste post-hoc de Tukey foi utilizado como complemento, de modo a investigar quais grupos específicos diferiam entre si, ou seja, para verificar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ESTABILIDADE QUÍMICA DOS BIOCARVÕES

A composição elementar, teor de cinzas, pH e condutividade elétrica dos biocarvões frescos e envelhecidos estão apresentados na Tabela 5. A partir desses resultados, confirma-se a influência do tipo de biomassa nas propriedades finais dos biocarvões. Os biocarvões derivados de resíduos vegetais, como o biocarvão de palha de trigo (BPT), e biocarvões oriundos de lodo de esgoto (BLs) possuem composições bastante diferentes. Identificou-se que os BPTs são formados majoritariamente por compostos orgânicos (77,43 – 86,48%), com maior teor de ligninas, o que lhes confere maior resistência à degradação em baixas temperaturas e maior potencial para sequestrar carbono (Seow et al, 2022). Em compensação, os BLs são mais heterogêneos e possuem grande proporção de compostos inorgânicos (55,98 – 70,67%), os quais podem influenciar positivamente na fertilidade do solo, como também podem propiciar uma maior vulnerabilidade a processos oxidativos (Siatecka et al, 2021).

Tabela 5 – pH, condutividade elétrica, teor de cinzas e composição elementar (CNH-O) de biocarvões de lodo (BL) e biocarvões de palha de trigo (BPT) frescos e envelhecidos

Biocarvão	pH	C.E. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Teor de cinzas (%)	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)
BL ₄₀₀	7.51 ^c	108.75 ^d	61.17 ^c	24.18 ^c	1.88 ^b	3.46 ^a	9.93 ^c
BL _{400(E)}	6.09 ^f	98.50 ^{de}	60.21 ^{cd}	20.84 ^f	1.75 ^{bc}	3.14 ^b	14.06 ^b
BL ₅₅₀	7.61 ^e	53.40 ^{fgh}	57.44 ^{ef}	29.01 ^c	1.50 ^d	3.52 ^a	8.52 ^{cd}
BL _{550(E)}	6.53 ^f	50.70 ^{gh}	56.02 ^f	24.60 ^c	1.72 ^{bc}	3.14 ^b	14.51 ^b
BL ₆₀₀	11.94 ^a	74.35 ^{efg}	70.67 ^a	20.45 ^f	0.59 ^g	2.41 ^c	5.88 ^{de}
BL _{600(E)}	7.44 ^e	50.25 ^{gh}	64.84 ^b	21.39 ^f	0.95 ^f	2.59 ^d	10.23 ^c
BL ₇₀₀	9.91 ^c	29.45 ^h	63.27 ^b	28.70 ^{cd}	0.94 ^f	2.76 ^c	4.33 ^c
BL _{700(E)}	7.31 ^e	65.60 ^{fg}	59.24 ^{de}	27.12 ^d	1.27 ^c	2.64 ^d	9.73 ^c
BPT ₅₅₀	11.21 ^b	319.50 ^a	11.28 ^j	67.17 ^b	2.28 ^a	1.03 ^f	18.24 ^a
BPT _{550(E)}	8.28 ^d	226.25 ^c	13.52 ⁱ	68.44 ^{ab}	2.26 ^a	1.13 ^f	14.65 ^b
BPT ₇₀₀	11.18 ^b	276.00 ^b	22.57 ^g	67.25 ^b	1.40 ^{de}	1.05 ^f	7.73 ^{cd}
BPT _{700(E)}	9.54 ^c	77.30 ^{ef}	18.42 ^h	69.84 ^a	1.60 ^{cd}	1.13 ^f	9.01 ^{cd}

Legenda:

BL_x (Biocarvão de lodo fresco pirolisado na temperatura “x”);

BPT_x (Biocarvão de Palha de Trigo fresco pirolisado na temperatura “x”);

“(E)” utilizado para indicar que se trata de biocarvão envelhecido;

C.E.: Condutividade Elétrica;

Letras sobrescritas representando as diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre as médias dos tratamentos (Análise de Variância Bidirecional e teste de Tukey)

Por meio da ANOVA bidirecional, observou-se uma interação estatisticamente significativa entre o tipo e a idade do biocarvão em relação à sua composição ($p < 0,05$). Após o envelhecimento, o teor de carbono dos biocarvões de lodo produzidos em baixas temperaturas (BL₄₀₀ e BL₅₅₀) diminuiu em 13,8% e 15,2%, respectivamente, enquanto permaneceu inalterado nos BL₆₀₀, BL₇₀₀ e BPT₅₅₀, com um leve aumento observado no BPT₇₀₀. Esse resultado é provavelmente devido à maior proporção de carbono lábil nos BLs (Crombie et al., 2015), o que os torna mais suscetíveis à degradação sob ciclos de chuva (Spokas et al., 2014). Em contrapartida, o teor de cinzas permaneceu estável nos BLs de baixa temperatura, enquanto reduções significativas foram observadas nos demais BLs e no BPT₇₀₀, e um aumento notável foi registrado no BPT₅₅₀. Essas mudanças podem ser explicadas pelas interações entre o solo e o biocarvão, incluindo a dissolução de compostos inorgânicos por meio de troca iônica (Li et al., 2019; Wang et al., 2020b) e lixiviação mineral após a degradação do biocarvão (Spokas et al., 2014). Alternativamente, minerais do solo podem ter aderido à superfície do BPT₅₅₀, aumentando seu teor de cinzas (Wang et al., 2020b).

Com relação aos processos oxidativos, também foram identificadas interações significativas, com efeitos de envelhecimento divergentes dependendo da biomassa de origem. O teor de oxigênio dos BLs aumentou substancialmente (de 51,2% a 124,6%), enquanto foi observada uma redução de 19,4% no BPT₅₅₀ e nenhuma alteração ocorreu no BPT₇₀₀. Essa tendência está alinhada com estudos anteriores que sugerem que a chuva pode induzir à oxidação por meio da introdução de grupos funcionais contendo oxigênio na superfície do biocarvão (Wang et al., 2020b). A maior resistência à oxidação observada nos BPTs pode estar relacionada ao maior teor de lignina e consequente maior aromaticidade (Ghorbani et al., 2023).

Os resultados também sugerem que os BLs possuem maior potencial como biofertilizantes de longo prazo em comparação com os BPTs, devido ao maior teor de nitrogênio e menor estabilidade. De acordo com Paiva et al. (2024), a maior disponibilidade de N tem sido associada a biocarvões com maior teor de cinzas e menor teor de lignina, e grandes quantidades de N disponível foram registradas em BLs pirolisados em temperaturas semelhantes (Duan et al., 2020). Essa fração mais lábil de N pode estimular a atividade microbiana do solo e melhorar a produtividade agrícola no curto e médio prazo. Além disso, o teor de N dos BLs (2,41 – 3,42%) excede o encontrado tipicamente em fertilizantes orgânicos convencionais, como esterco bovino e composto, que geralmente variam de 1,0 a 1,5% (Lehmann; Joseph, 2009).

Embora a composição elementar dos biocarvões de alta temperatura tenha se mantido consideravelmente estável após o envelhecimento, esse fenômeno teve impacto bastante

relevante na acidificação de todos os biocarvões ($p < 0,01$). Tanto os BLs como os BPTs apresentaram sensibilidade nesse ponto. Os BLs pirolisados em altas temperaturas e os BPTs apresentaram pH inicial mais elevados ($pH > 9$), enquanto os BLs de baixa temperatura exibiram pH próximos a 7 (Tabela 5). O envelhecimento resultou em diminuição significativa de pH para todos os biocarvões, entretanto, esse efeito foi mais expressivo sobre os biocarvões com pH inicial mais elevado. Por exemplo, o pH do BL₆₀₀ reduziu de 11,94 para 7,44 (diminuição de 37,7%), enquanto o pH do BL₅₅₀ variou de 7,61 para 6,53 (redução de 14,2%).

A acidificação do biocarvão é um ponto de alerta, visto que tais alterações podem influenciar negativamente a fertilidade do solo. Buss et al (2018) demonstram que biocarvões podem ser utilizados para aumentar o pH de solos ácidos a intervalos desejáveis para a agricultura, favorecendo a disponibilidade de nutrientes. Entretanto, demonstra-se aqui que tal efeito pode ser limitado no longo prazo, uma vez que os processos de envelhecimento podem provocar a acidificação dos biocarvões. Além disso, a redução do pH pode ocasionar a mobilização de metais pesados inicialmente imóveis no biocarvão fresco, aumentando a sua biodisponibilidade para as plantas (Wang et al, 2020b).

Deve-se atentar também para o potencial de incremento de condutividade elétrica (C.E.) no solo e consequente aceleração da redução do pH (Bernet et al, 2015) a depender da taxa de aplicação do biocarvão. Quanto a esse quesito, os BLs mostraram maior estabilidade do que os BPTs, com efeitos significativos identificados na interação entre o tipo e a idade dos biocarvões ($p < 0,01$). Dentre os BLs, apenas o BL₇₀₀ teve a sua C.E. significativamente aumentada (122,8%). A C.E. dos BPTs, contudo, teve comportamento antagônico, com diminuições de 29,2% (BPT₅₅₀) e 72,0% (BPT₇₀₀).

Segundo Wang et al (2020b), normalmente a acidificação em biocarvões submetidos a processos de envelhecimento físico é menor do que aquela obtida com processos químicos ou naturais. Tal fenômeno se deve ao fato de que os processos químicos utilizam ácidos para provocar o envelhecimento; dessa maneira, induzem de forma mais intensa a introdução de grupos funcionais ácidos na superfície do biocarvão, enquanto o processo puramente físico exclui a influência de substâncias ácidas e microrganismos normalmente presentes nos solos. Em geral, estudos que aplicaram o método físico de ciclos seco-úmido, mas com temperaturas de secagem abaixo de 60°C, obtiveram efeitos acidificantes menos expressivos do que os encontrados nesse estudo (Cao et al., 2019; Tan et al., 2020; Meng et al., 2020).

Por conseguinte, os altos índices de acidificação observados nos BLs e BPTs podem estar ligados às elevadas temperaturas utilizadas nos ciclos de secagem das amostras (105 °C). Ao aplicar temperaturas mais elevadas, Siatecka et al. (2021) também verificaram reduções

acentuadas de pH. As altas temperaturas podem ter provocado o craqueamento dos biocarvões, com consequente exposição de maior área superficial aos agentes agressivos (Wang et al, 2020b). A opção por temperaturas de secagem mais elevadas, todavia, permite simular os efeitos do envelhecimento para períodos muito longos, o que reforça que a acidificação dos biocarvões tende a ser menos relevante no curto e médio prazo.

3.2 DESENVOLVIMENTO DE GRUPOS FUNCIONAIS DE SUPERFÍCIE

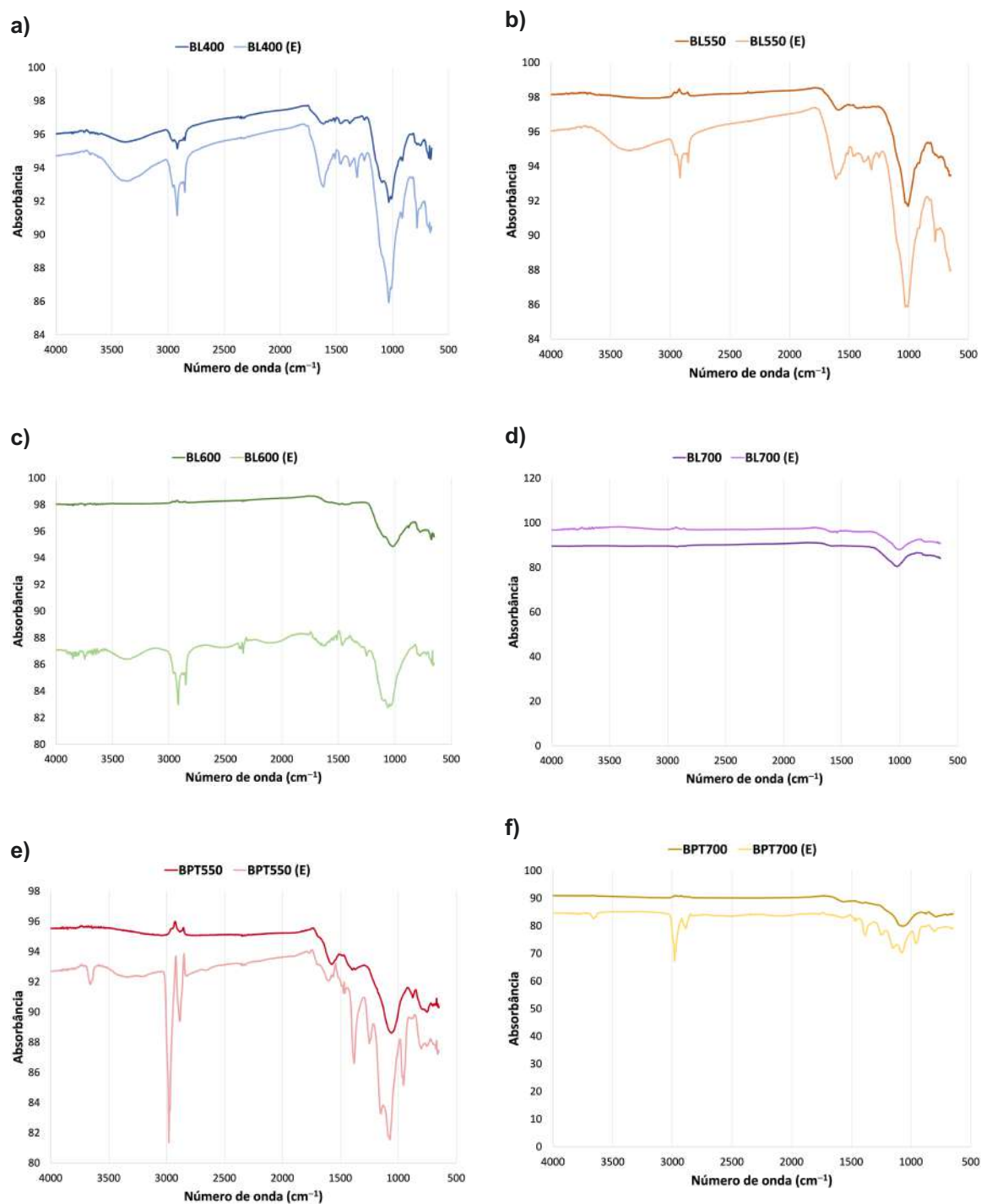
Os resultados da espectroscopia no infravermelho (Figura 15) demonstraram que a exposição a fatores ambientais, como oxigênio, umidade e variações de temperatura, impactou a complexação superficial do biocarvão de praticamente todos os biocarvões.

O BL₄₀₀, que foi submetido novamente ao ensaio do FTIR após pirólise com tempo de residência maior, obteve um espectro bastante semelhante ao obtido e apresentado no Capítulo I. O envelhecimento acelerado desse biocarvão causou o aumento das intensidades das bandas, porém, sem alterar o perfil dos grupos funcionais, indicando a presença de um maior número de grupos funcionais do mesmo tipo (Figura 15a). O impacto do envelhecimento no espectro dos outros biocarvões foi diferenciado. Os BL₅₅₀, BL₆₀₀ e BPT₅₅₀ foram os mais afetados em termos de alteração de perfil e de intensidade de bandas (Figuras 15b, 15c e 15e), implicando que houve uma tendência de desenvolvimento de novos grupos funcionais de superfície. Estiramentos como —OH (3300 – 3400 cm⁻¹), —CH (3000 – 2850 cm⁻¹) e —CO (1300 – 1000 cm⁻¹), alusivos a ácidos carboxílicos, grupos alifáticos e polissacarídeos (Grube et al., 2006), Jin et al., 2016), foram identificados nos espectros desses biocarvões envelhecidos, embora não tenham aparecido nos perfis dos respectivos biocarvões frescos. Essas mudanças refletem a modificação da composição elementar do biocarvão, conforme observado anteriormente. Além disso, isso pode ser resultado da fragmentação do biocarvão, potencialmente aumentando sua reatividade e suas interações com os constituintes do solo (Cui et al., 2024; Yang et al., 2022).

Em contrapartida, os biocarvões pirolisados a 700 °C apresentaram maior estabilidade. Picos de baixa intensidade são observados no BPT_{700(E)} (Figura 15f), referentes a estiramentos —CH e —CO, os quais não estão presentes no BPT₇₀₀. Enquanto isso, o espectro do BL₇₀₀ não foi significativamente afetado pelo envelhecimento acelerado, como pode ser notado pela ausência do surgimento de novos picos e pelo paralelismo entre os espectros desse biocarvão na condição fresca e envelhecida (Figura 15d). Adicionalmente, com exceção do BL_{700(E)}, novos estiramentos apareceram nos espectros dos biocarvões envelhecidos na faixa entre 925 –

1250 cm^{-1} . Tais estiramentos são atribuídos a substâncias inorgânicas (Siateck et al, 2021), indicando que minerais de areia provavelmente foram adsorvidos nas superfícies do biocarvão. Esse fator foi especialmente evidente no BPT₅₅₀, corroborando com o aumento identificado no teor de cinzas desse biocarvão, como discutido anteriormente.

Figura 15 - Espectros de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) de biocarvões de lodo fresco (BL) e biocarvões de palha de trigo (BPT) pirolizados em 400, 550, 600 e 700 °C, e seus biocarvões envelhecidos



Fonte: Autoria própria (2025)

Um aspecto interessante pode ser observado através da comparação entre os gráficos referentes aos biocarvões de lodo de baixa (BL₄₀₀ vs BL₅₅₀) e altas (BL₆₀₀ vs BL₇₀₀) temperaturas. Apesar de cada um desses pares corresponder a biocarvões de origens diversas (BL₄₀₀ e BL₆₀₀ produzidos a partir de lodo não estabilizado coletado no Brasil, e BL₅₅₀ e BL₇₀₀ obtidos a partir de lodo estabilizado coletado no Reino Unido), os espectros das amostras foram semelhantes. Os BLs de baixa temperatura apresentaram grande diversidade de grupos funcionais, associados aos mesmos estiramentos ao longo das diversas regiões do espectro, ao mesmo tempo em que os BLs de altas temperaturas também obtiveram perfis semelhantes, porém com poucos estiramentos e baixa diversidade.

3.3 IMPACTOS DO ENVELHECIMENTO NA AROMATICIDADE DOS BIOCARVÕES

Na Tabela 6 estão apresentadas as razões molares H/C, O/C dos biocarvões frescos e envelhecidos. Essas relações são indicativas dos níveis de aromaticidade e hidrofilicidade/hidrofobicidade dos biocarvões (REN ET AL., 2018; QU ET AL., 2016; SIATECKA ET AL. 2021).

Tabela 6 – Razões molares (H/C E O/C) de biocarvões de lodo (BL) e biocarvões de palha de trigo (BPT) frescos e envelhecidos.

Biochar	H/C (razão molar)	O/C (razão molar)
BL ₄₀₀	0.94 ^b	0.29 ^c
BL ₄₀₀ (E)	1.02 ^a	0.51 ^a
BL ₅₅₀	0.62 ^d	0.22 ^{de}
BL ₅₅₀ (E)	0.84 ^c	0.44 ^a
BL ₆₀₀	0.35 ^f	0.22 ^{de}
BL ₆₀₀ (E)	0.53 ^e	0.36 ^b
BL ₇₀₀	0.39 ^f	0.11 ^{fg}
BL ₇₀₀ (E)	0.56 ^{de}	0.27 ^{cd}
BPT ₅₅₀	0.41 ^f	0.20 ^{de}
BPT ₅₅₀ (E)	0.39 ^f	0.16 ^{ef}
BPT ₇₀₀	0.25 ^g	0.09 ^g
BPT ₇₀₀ (E)	0.28 ^g	0.10 ^{fg}

Legenda:

BL_x (Biocarvão de lodo fresco pirolisado na temperatura “x”);

BPT_x (Biocarvão de Palha de Trigo fresco pirolisado na temperatura “x”);

“(E)” utilizado para indicar que se trata de biocarvão envelhecido;

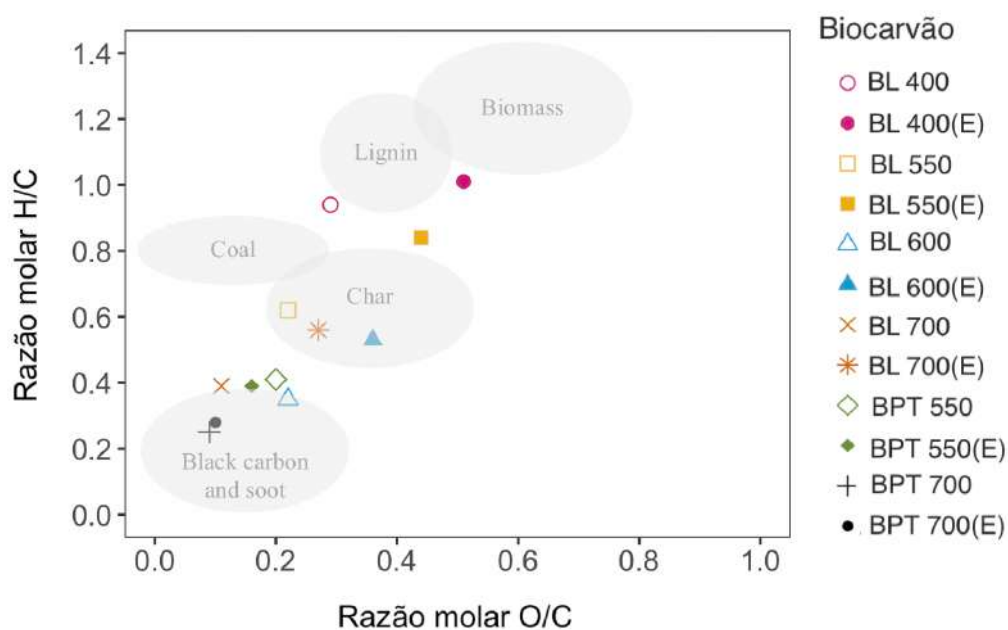
Letras sobrescritas representando as diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre as médias dos tratamentos (Análise de Variância Bidirecional – ANOVA e teste de Tukey)

Segundo Wood, Mašek e Erastova (sd), biocarvões com alto teor de cinzas, a exemplo dos derivados de lodo de esgoto, geralmente contêm parcela considerável de carbono inorgânico (C_{inorg}) em sua composição, devido à presença de carbonatos. Como os teores de carbono apresentados na Tabela 6 se referem ao carbono total ($C_{org} + C_{inorg}$), necessitou-se aferir as parcelas relativas a cada componente, a fim de averiguar as razões molares dos BLs com rigor. Para tanto, o teor de C_{inorg} foi estimado por meio da análise elementar das cinzas desses biocarvões, as quais foram obtidas com a incineração de amostras dos BLs em forno mufla a 575 °C, durante 4 horas. Os resultados mostraram que os percentuais de C_{inorg} (~0,64%) não foram suficientes para modificar os padrões aromáticos dos BLs. Portanto, as relações H/C e O/C foram mantidas e apresentadas com os resultados referentes ao carbono total das amostras.

As razões molares de H/C e O/C em biocarvões frescos e envelhecidos (Tabela 2) fornecem informações sobre sua aromaticidade e propriedades hidrofílicas/hidrofóbicas, refletindo o grau de modificação termoquímica e a subsequente formação de anéis aromáticos durante a pirólise. Essas estruturas aromáticas indicam a estabilidade intrínseca do biocarvão; ou seja, uma razão mais baixa significa um biocarvão mais aromático e, conseqüentemente, mais estável (Ren et al., 2018; Qu et al., 2016).

O diagrama de van Krevelen (Figura 16) ilustra os efeitos do envelhecimento na aromaticidade dos biocarvões, destacando aqueles com maior estabilidade (BPTs > BLs).

Figura 16 – Diagrama de van Krevelen com dados elementares dos biocarvões de lodo (BL) e biocarvões de palha de trigo (BPT) frescos e envelhecidos



Fonte: Autoria própria (2025)

Os BPTs apresentaram maior aromaticidade, independentemente da temperatura de pirólise, evidenciada pela sua posição mais próxima da parte inferior esquerda do diagrama, enquanto os BLs de baixa temperatura apresentaram menor estabilidade. O envelhecimento teve pouco efeito na aromaticidade dos BPTs, como indicado pela proximidade dos pontos dos biocarvões envelhecidos (BPT_{550(E)} e BPT_{700(E)}) na região de “*black carbon and soot*” (carbono negro e fuligem). Por outro lado, o envelhecimento deslocou os BLs para fora de sua classificação original; por exemplo, os pontos do BL_{600(E)} e do BL_{700(E)} moveram para a classificação “*char*” (carvão vegetal), enquanto seus equivalentes frescos estavam mais próximos da área de “*black carbon and soot*” (carbono negro e fuligem).

Tanto o IBI (2015) como o EBC (2023) consideram que biomassas carbonizadas com razão H/C_{org} superiores a 0,7 sofreram apenas alterações termoquímicas parciais e, portanto, não são classificadas como biocarvões. Essas instituições pressupõem que somente os produtos obtidos com razão H/C_{org} inferiores a 0,7 foram suficientemente convertidos e podem ser classificados como tais. Segundo essa classificação, portanto, o BL₄₀₀ não se qualificaria como um biocarvão (H/C igual a 0,94 – Tabela 6), evidenciando a sua menor estabilidade em comparação com os demais, os quais obtiveram razões H/C inferiores a 0,7.

Por outro lado, essa menor estabilidade do BL₄₀₀ pode ser um ponto positivo a depender do ambiente em que é aplicado e do objetivo de sua utilização. Por exemplo, um solo pobre em matéria orgânica e nutrientes pode ser enriquecido com a disponibilização dessa parcela quimicamente instável do biocarvão, contribuindo para a biofertilização e adubação do solo. Além disso, após a indução do envelhecimento acelerado, verificou-se que as relações H/C desses biocarvões aumentaram, provavelmente induzidas pela introdução de grupos funcionais hidrogenados nas superfícies dos biocarvões, conforme corroborado na análise de espectroscopia no infravermelho (Figura 15) (Wang et al, 2022a; Zhang et al., 2022).

Quanto às relações molares O/C, de acordo com Spokas (2010), estima-se que biocarvões com razões menores que 0,2 possuem meia-vida superiores a 1000 anos, ao passo que relações O/C maiores que 0,6 equivalem a meia-vida de menos de 100 anos, e as razões entre esses extremos representam biocarvões com meia-vida intermediárias. De modo geral, com exceção do BL₇₀₀, não houve alterações significativas da razão O/C resultantes do envelhecimento por ciclagem seco-úmida. Desse modo, estima-se uma meia-vida de 100 a 1000 anos para os BL₄₀₀, BL₅₅₀ e BL₆₀₀ ($0,2 < O/C < 0,6$), e de mais de 1000 anos para o BPT₅₅₀ e BPT₇₀₀ ($O/C < 0,2$).

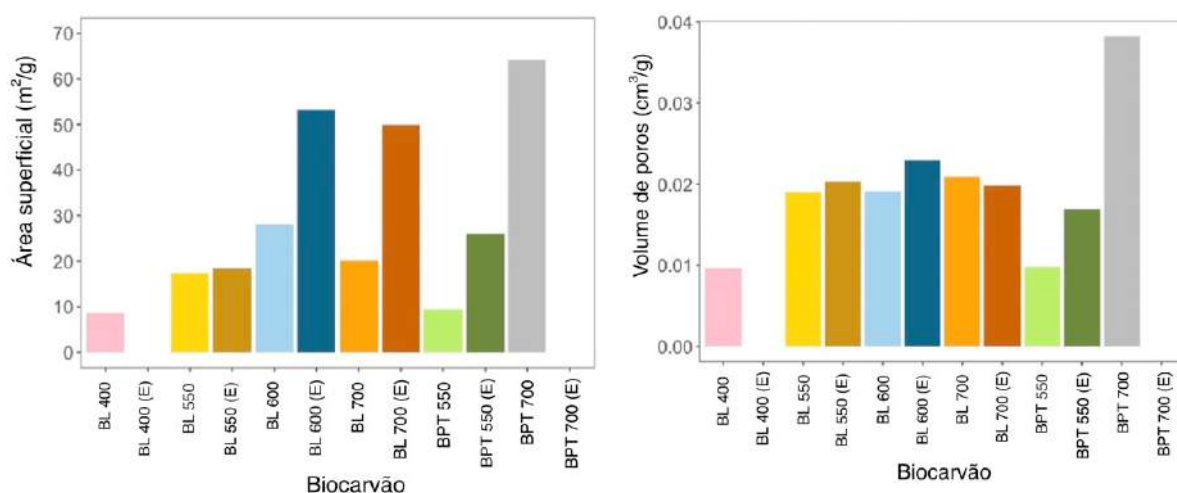
Não obstante, a razão molar O/C do BL₇₀₀ teve alteração significativa, saindo da expectativa de meia-vida equivalente a mais de 1000 anos para a faixa de 100 – 1000 anos. De

acordo com Leng et al. (2018), razões O/C menores que 0,4 são desejáveis para garantir a estabilidade dos biocarvões. Todos os biocarvões frescos testados estiveram abaixo desse valor, sendo que o processo de envelhecimento foi suficiente para elevar tal parâmetro acima deste limite apenas nos BLs de baixa temperatura.

3.4 ESTRUTURA MORFOLÓGICA DOS BIOCARVÕES

As propriedades físicas do biocarvão são fundamentais para determinar seu transporte no solo e suas relações funcionais. O método de adsorção de nitrogênio BET utilizado para caracterizar a porosidade do biocarvão fornece dados referentes a microporos (<2 nm) e mesoporos (2–50 nm) (Brewer et al., 2014). A área superficial específica e o volume de poros dos biocarvões frescos e envelhecidos estão apresentados na Figura 17. De modo geral, os biocarvões produzidos em temperaturas mais altas apresentaram maior área superficial e maior volume de poros, provavelmente devido à maior volatilização da matéria orgânica em temperaturas elevadas, consistente com diversos estudos (Mokrzycki; Magdziarz; Rutkowski, 2022; Ngambia; Mašek; Erastova, 2024).

Figura 17 – Área superficial e volume de poros dos biocarvões frescos de lodo de esgoto (BL) e de palha de trigo (BPT), e de suas versões envelhecidas, produzidos nas temperaturas 400, 550, 600 e 700 °C



Fonte: Autoria própria (2025)

Após o envelhecimento, a área superficial dos BLs de alta temperatura e do BPT₅₅₀ praticamente dobrou em relação aos seus equivalentes frescos (Figura 17). Esse aumento pode ser atribuído a diversos fatores, como fragmentação do biocarvão, oxidação, dissolução de minerais, perda de carbono lábil e/ou processos de adsorção (Wang et al., 2020b). Os BLs de baixa temperatura e o BPT₇₀₀ apresentaram comportamentos distintos. Enquanto o

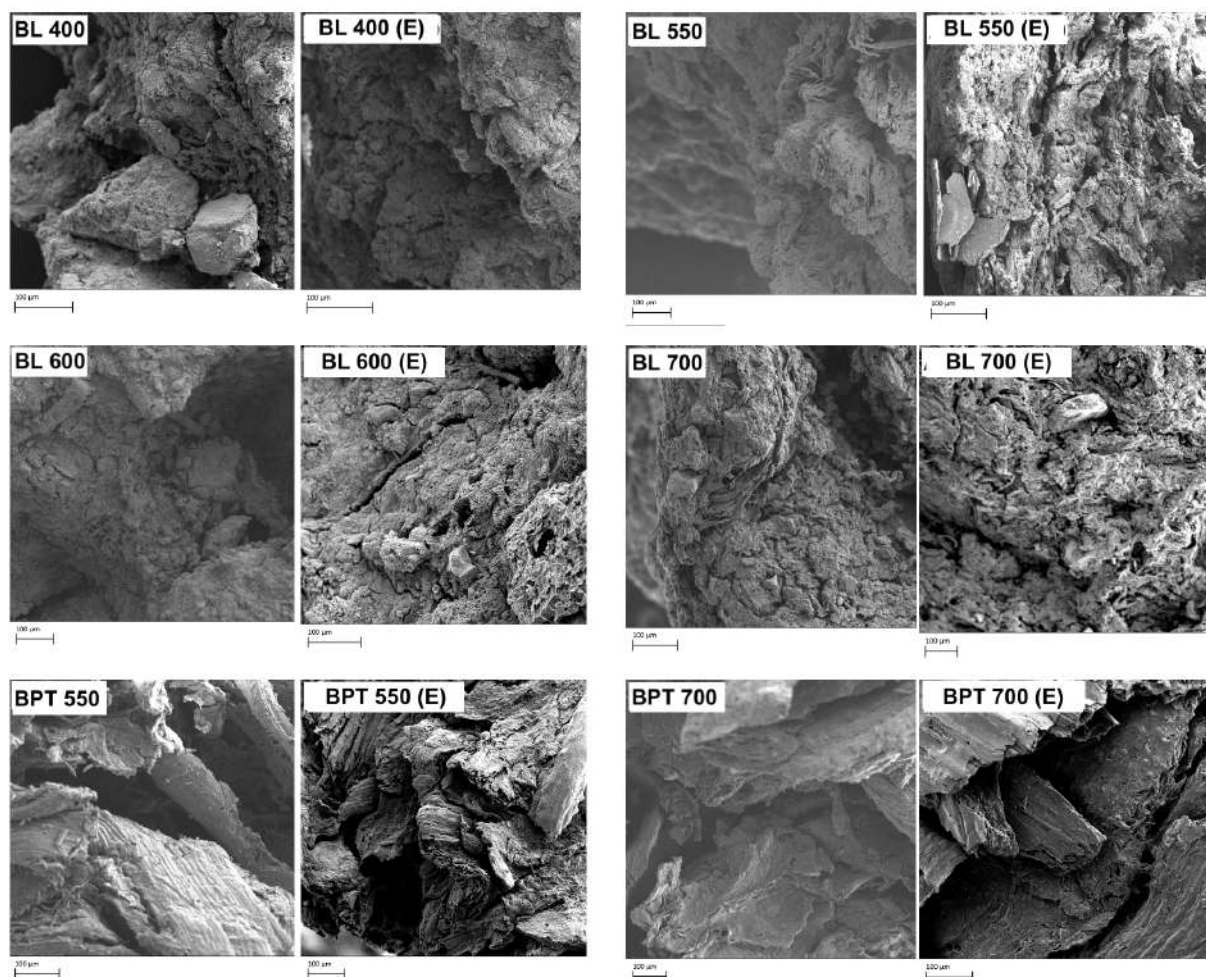
envelhecimento pareceu ter pouco afetado a área superficial do BL₅₀₀, o fenômeno pode ter provocado a obstrução da superfície do BL₄₀₀ e do BPT₇₀₀, como evidenciado pelos resultados nulos de suas versões envelhecidas (BL_{400(E)} e BPT_{700(E)}). Isso pode ter sido causado pela precipitação de minerais inorgânicos ou, ainda, pela formação de grupos funcionais contendo oxigênio nas entradas dos poros. Além disso, outra hipótese seria o colapso das micro e meso estruturas porosas (Chang et al., 2018; Tan et al., 2020).

Evidências indicam que o volume de poros do biocarvão pode tanto aumentar quanto diminuir por mecanismos semelhantes (Wang et al., 2020b). No entanto, é importante observar que, embora a área superficial dos BLs de alta temperatura e do BPT₅₅₀ tenha aumentado após o envelhecimento, seus volumes de poros permaneceram praticamente inalterados, suportando a hipótese de fragmentação do biocarvão, segundo a qual a área superficial pode aumentar devido à exposição de microporos anteriormente inacessíveis, sem mudanças significativas no volume total de poros. Além disso, a fissuração do biocarvão pode levar à formação de partículas nano e coloidais, que podem migrar com mais facilidade para camadas mais profundas do solo, resultando potencialmente na lixiviação de matéria orgânica e nutrientes, e apresentando riscos de contaminação do lençol freático a longo prazo, caso o biocarvão seja usado para adsorver materiais tóxicos em solos contaminados (Yang et al., 2021).

Tanto a área superficial quanto o volume de poros do BL₅₅₀ foram minimamente afetados pelo envelhecimento, enquanto o volume de poros do BPT₅₅₀ foi o único que aumentou junto com sua área superficial, o que pode ser atribuído à degradação das estruturas carbonáceas, levando à formação de novos micro e mesoporos (Long et al., 2024). No caso do BL₄₀₀ e do BPT₇₀₀, o colapso e/ou obstrução dos poros também resultaria nos valores nulos de volume de poros observados. Em conjunto, esses resultados sugerem que a micro e mesoporosidade do biocarvão tende a mudar significativamente ao longo do tempo, embora prever especificamente essas mudanças permaneça um desafio, já que múltiplos mecanismos podem ocorrer simultaneamente com efeitos opostos.

Além disso, embora os microporos do biocarvão desempenhem um papel importante ao facilitar interações químicas, eles contribuem pouco para a disponibilidade de água às plantas, pois estas não conseguem superar as fortes forças capilares que retêm a água nesses poros minúsculos. Por outro lado, os macroporos do biocarvão são essenciais para aumentar o teor de água disponível às plantas quando aplicado nos solos (Brewer et al., 2014). As imagens de MEV (Figura 18) demonstram que os BPTs apresentam maior macroporosidade, como evidenciado pela maior presença de cavidades em sua estrutura, enquanto os BLs exibem uma configuração superficial mais uniforme.

Figura 18 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos biocarvões frescos de lodo (BL) e de palha de trigo (BPT), e suas versões envelhecidas, produzidos nas temperaturas 400, 550, 600 e 700 °C.



Barra de escala na parte inferior de cada imagem = 100 µm

Fonte: Autoria própria (2025)

A presença de macroporos também está relacionada à oferta de habitat para microrganismos, já que os poros com diâmetro inferior a 1 µm geralmente não são adequados para a maioria dos microrganismos do solo. Apesar disso, a maior disponibilidade de macroporos não implica necessariamente em maior ocupação microbiana. A colonização dentro dos poros do biocarvão depende, em grande parte, da sua composição química, incluindo a disponibilidade de matéria orgânica e nutrientes essenciais para o crescimento microbiano. Além disso, concentrações elevadas de sais minerais e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, comumente presentes em biocarvões frescos, podem inibir a colonização microbiana, tornando esse processo mais provável de ocorrer de forma gradual ao longo do tempo (Quilliam et al., 2013).

Finalmente, deve-se enfatizar que, embora os ciclos de umedecimento e secagem sejam reconhecidos como um bom parâmetro para simular o envelhecimento natural do biocarvão, os resultados obtidos por métodos laboratoriais devem ser interpretados com cautela. A extrapolação dos achados de experimentos controlados para condições de campo envolve incertezas. O envelhecimento induzido em laboratório não captura plenamente a complexidade dos ambientes naturais, nos quais fatores bióticos e abióticos interagem simultaneamente. Essas interações podem variar amplamente entre os diferentes tipos de solo, tornando desafiador isolar e avaliar a contribuição específica de cada variável (Wang et al., 2020b).

No entanto, alguns estudos têm avançado na comparação entre processos de envelhecimento induzido em laboratório e os que ocorrem naturalmente. Um estudo de campo com duração de uma década revelou que certas propriedades físico-químicas podem prever de forma confiável as tendências de envelhecimento, dada a forte correlação entre a razão O/C e parâmetros como liberação de carbono orgânico dissolvido, carga superficial e pH (Chen et al., 2023). Além disso, implicações práticas sobre a persistência do carbono no biocarvão têm emergido de experimentos de incubação com abordagens de modelagem transparentes e reprodutíveis, confirmando que a razão H/C é o melhor preditor da estabilidade do biocarvão, enquanto fatores como parâmetros de pirólise ou condições de incubação possuem pouco valor explicativo (Azzi et al., 2024). Em conjunto, esses achados fortalecem a reprodutibilidade e a escalabilidade dos métodos laboratoriais e reforçam o potencial durável do biocarvão.

4 CONCLUSÃO

Investigou-se, nesse capítulo, o impacto do envelhecimento em biocarvões derivados de lodo de esgoto (BL) e de palha de trigo (BPT), fornecendo fortes evidências de que biocarvões produzidos a partir de resíduos podem manter e até melhorar sua funcionalidade como condicionadores de solo sob degradação física, confirmando a hipótese do estudo.

O envelhecimento levou à perda de carbono nos BLs produzidos em baixas temperaturas de pirólise ($<600\text{ }^{\circ}\text{C}$), enquanto os BLs de temperaturas mais altas e os BPTs apresentaram alterações notáveis no teor de cinzas. A oxidação foi mais evidente nos BLs, enquanto os BPT mostraram maior resistência estrutural, provavelmente devido à sua maior aromaticidade. Alterações consideráveis na funcionalidade superficial, especialmente nos biocarvões de baixa temperatura, sugerem que as interações biocarvão–solo evoluem ao longo do tempo.

O envelhecimento influenciou de maneira distinta a área superficial e a porosidade dos biocarvões, dependendo do tipo de biomassa e da temperatura de pirólise. Enquanto aumentos na área superficial e microporosidade foram associados à fragmentação e dissolução de minerais, as reduções foram atribuídas ao colapso ou obstrução dos poros. Essas tendências contraditórias dificultam a interpretação do papel da microporosidade na reatividade química de longo prazo, destacando a necessidade de estudos adicionais. Além disso, a acidificação induzida pelo envelhecimento pode limitar a eficácia do biocarvão como corretivo de acidez de solo e influenciar a mobilidade de metais pesados em solos ácidos ou contaminados, exigindo cautela em tais aplicações.

Finalmente, conclui-se que os BLs possuem grande potencial como biofertilizantes, oferecendo enriquecimento nutricional, matéria orgânica lábil e características de superfície reativas que podem estimular a atividade microbiana e a retenção de umidade no solo. Enquanto isso, os BPTs podem fornecer vantagens para o sequestro de carbono de longo prazo e melhorias na capacidade de retenção de água em solos, devido à sua maior aromaticidade e características morfológicas favoráveis.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, Sirjana; TIMMS, Wendy; MAHMUD, M. A. Parvez. Optimising water holding capacity and hydrophobicity of biochar for soil amendment – A review. **Science of The Total Environment**, v. 851, p. 158043, dez. 2022.
- ALLER, Deborah *et al.* Impacts of fresh and aged biochars on plant available water and water use efficiency. **Geoderma**, v. 307, p. 114–121, dez. 2017.
- ALOTAIBI, Khaled D.; SCHOENAU, Jeff J. Addition of Biochar to a Sandy Desert Soil: Effect on Crop Growth, Water Retention and Selected Properties. **Agronomy**, v. 9, n. 6, p. 327, 20 jun. 2019.
- AMALINA, Farah *et al.* Recent advancement and applications of biochar technology as a multifunctional component towards sustainable environment. **Environmental Development**, v. 46, p. 100819, jun. 2023.
- ANG, Jia Chun *et al.* Development of predictive model for biochar surface properties based on biomass attributes and pyrolysis conditions using rough set machine learning. **Biomass and Bioenergy**, v. 174, p. 106820, jul. 2023.
- AQUINO, Joacir Rufino; ALVES, Maria Odete; VIDAL, Maria de Fátima. Agricultura familiar no Nordeste: um breve panorama dos seus ativos produtivos e da sua importância regional. v. 51, 2020.
- BARBOSA, Taísa Andrade *et al.* Biochar from sewage sludge: Effect of pyrolysis on functional properties and pollutants fate. **Environmental Quality Management**, v. 34, n. 1, p. e22192, set. 2024.
- BARRY, Devon *et al.* Pyrolysis as an economical and ecological treatment option for municipal sewage sludge. **Biomass and Bioenergy**, v. 122, p. 472–480, mar. 2019.
- BERNERT, Michael Rogers *et al.* Características do pH e condutividade elétrica no manejo de fertirrigação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 8, 2015.
- BREWER, Catherine E. *et al.* New approaches to measuring biochar density and porosity. **Biomass and Bioenergy**, v. 66, p. 176–185, jul. 2014.
- BUSS, Wolfram *et al.* Spatial and temporal microscale pH change at the soil-biochar interface. **Geoderma**, v. 331, p. 50–52, dez. 2018.
- CAO, Yongqiang *et al.* Changes in the physicochemical characteristics of peanut straw biochar after freeze-thaw and dry-wet aging treatments of the biomass. **BioResources**, v. 14, n. 2, p. 4329–4343, 16 abr. 2019.
- CHANG, Zhaofeng *et al.* Molecular markers of benzene polycarboxylic acids in describing biochar physicochemical properties and sorption characteristics. **Environmental Pollution**, v. 237, p. 541–548, jun. 2018.
- CROMBIE, Kyle *et al.* Biochar - synergies and trade-offs between soil enhancing properties and C sequestration potential. **GCB Bioenergy**, v. 7, n. 5, p. 1161–1175, set. 2015.

CUI, Zhengwu *et al.* Effects of Ageing on Surface Properties of Biochar and Bioavailability of Heavy Metals in Soil. **Agriculture**, v. 14, n. 9, p. 1631, 18 set. 2024.

DUAN, Xing-Yu *et al.* Nutrient stability and sorption of sewage sludge biochar prepared from co-pyrolysis of sewage sludge and stalks / mineral materials. **Environmental Pollutants and Bioavailability**, v. 32, n. 1, p. 12–18, 1 jan. 2020.

EBC. **European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar**. Carbon Standards International (CS), , 2023. Disponível em: <<http://european-biochar.org>>

EDEH, Ifeoma G.; MAŠEK, Ondřej; BUSS, Wolfram. A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties – New insights and future research challenges. **Science of The Total Environment**, v. 714, p. 136857, abr. 2020.

EDEH, Ifeoma Gloria; MAŠEK, Ondřej. The role of biochar particle size and hydrophobicity in improving soil hydraulic properties. **European Journal of Soil Science**, v. 73, n. 1, p. e13138, 2021.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997.

FEITOSA, Flavia Regina Sobral *et al.* Panorama dos quilombos sergipanos: condições de vida e vulnerabilidade. **Revista Produção Acadêmica - Núcleo de Estudos Urbanos Regionais e Agrários**, v. 7, 2021.

GALINDO, Eryka *et al.* **Efeitos da pandemia na alimentação e na situação da segurança alimentar no Brasil**. Berlin: Junior Research Group Food for Justice, 2021.

GHORBANI, Mohammad *et al.* The Impact of Pyrolysis Temperature on Biochar Properties and Its Effects on Soil Hydrological Properties. **Sustainability**, v. 14, n. 22, p. 14722, 8 nov. 2022.

GHORBANI, Mohammad *et al.* A meta-analysis on the impacts of different oxidation methods on the surface area properties of biochar. **Land Degradation & Development**, v. 34, n. 2, p. 299–312, 30 jan. 2023.

GRUBE, M. *et al.* Evaluation of sewage sludge-based compost by FT-IR spectroscopy. **Geoderma**, v. 130, n. 3–4, p. 324–333, fev. 2006.

GÜNAL, Elif; ERDEM, Halil; ÇELİK, İsmail. Effects of three different biochars amendment on water retention of silty loam and loamy soils. **Agricultural Water Management**, v. 208, p. 232–244, set. 2018.

IBI, Biochar Standards. **Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil**. International Biochar Initiative, , 2015. Disponível em: <<http://www.biochar-international.org/characterizationstandard>>

INSA. **O Semiárido Brasileiro**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, , 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro>>. Acesso em: 30 abr. 2025

JIN, Junwei *et al.* Influence of pyrolysis temperature on properties and environmental safety of heavy metals in biochars derived from municipal sewage sludge. **Journal of Hazardous Materials**, v. 320, p. 417–426, dez. 2016.

KAVITHA, Beluri *et al.* Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 227, p. 146–154, dez. 2018.

KRAHN, Katinka M. *et al.* Sewage sludge biochars as effective PFAS-sorbents. **Journal of Hazardous Materials**, v. 445, p. 130449, mar. 2023.

LEHMANN, Johannes *et al.* Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. v. 249, p. 343–357, 2003.

LEHMANN, Johannes; JOSEPH, Stephen (ORGS.). **Biochar for environmental management: science and technology**. London ; Sterling, VA: Earthscan, 2009.

LENG, Lijian *et al.* Biochar stability assessment methods: A review. **Science of The Total Environment**, v. 647, p. 210–222, jan. 2019.

LI, Haixiao *et al.* How close is artificial biochar aging to natural biochar aging in fields? A meta-analysis. **Geoderma**, v. 352, p. 96–103, out. 2019.

LI, Ling *et al.* Role of Biochar in Improving Sandy Soil Water Retention and Resilience to Drought. **Water**, v. 13, n. 4, p. 407, 4 fev. 2021.

LIN, Qingyi *et al.* “Assessing the potential of biochar and aged biochar to alleviate aluminum toxicity in an acid soil for achieving cabbage productivity”. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 161, p. 290–295, out. 2018.

LONG, Xin-Xian *et al.* A systematic review of biochar aging and the potential eco-environmental risk in heavy metal contaminated soil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 472, p. 134345, jul. 2024.

MARENGO, Jose A. *et al.* Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. 2021.

MARENGO, Jose A.; TORRES, Roger Rodrigues; ALVES, Lincoln Muniz. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theor Appl Climatol**, n. 129, p. 1189–1200, 2017.

MAŠEK, Ondřej *et al.* Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar. **Fuel**, v. 103, p. 151–155, jan. 2013.

MAŠEK, Ondřej *et al.* Consistency of biochar properties over time and production scales: A characterisation of standard materials. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 132, p. 200–210, jun. 2018.

MENG, Zhuowen *et al.* Transport and transformation of Cd between biochar and soil under combined dry-wet and freeze-thaw aging. **Environmental Pollution**, v. 263, p. 114449, ago. 2020.

MOKRZYCKI, Jakub; MAGDZIARZ, Aneta; RUTKOWSKI, Piotr. The influence of the *Miscanthus giganteus* pyrolysis temperature on the application of obtained biochars as solid biofuels and precursors of high surface area activated carbons. **Biomass and Bioenergy**, v. 164, p. 106550, set. 2022.

MURTAZA, Ghulam *et al.* Effects of Biotic and Abiotic Aging Techniques on Physiochemical and Molecular Characteristics of Biochar and Their Impacts on Environment and Agriculture: A Review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 2, p. 1535–1564, jun. 2023.

NGAMBIA, Audrey; MAŠEK, Ondřej; ERASTOVA, Valentina. Development of biochar molecular models with controlled porosity. **Biomass and Bioenergy**, v. 184, p. 107199, maio 2024.

NI, Jun Jun *et al.* Two-year evaluation of hydraulic properties of biochar-amended vegetated soil for application in landfill cover system. **Science of The Total Environment**, v. 712, p. 136486, abr. 2020.

PAIVA, Igor de Oliveira *et al.* Biochar N Content, Pools and Aromaticity as Affected by Feedstock and Pyrolysis Temperature. **Waste and Biomass Valorization**, v. 15, n. 6, p. 3599–3619, jun. 2024.

QU, Xiaolei *et al.* Chemical and structural properties of dissolved black carbon released from biochars. **Carbon**, v. 96, p. 759–767, jan. 2016.

QUAN, Guixiang *et al.* Simulated photocatalytic aging of biochar in soil ecosystem: Insight into organic carbon release, surface physicochemical properties and cadmium sorption. **Environmental Research**, v. 183, p. 109241, abr. 2020.

QUILLIAM, Richard S. *et al.* Life in the ‘charosphere’ – Does biochar in agricultural soil provide a significant habitat for microorganisms? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 65, p. 287–293, out. 2013.

RABBI, Sheikh M. F. *et al.* Greater, but not necessarily better: The influence of biochar on soil hydraulic properties. **European Journal of Soil Science**, v. 72, n. 5, p. 2033–2048, set. 2021.

RAZZAGHI, Fatemeh; OBOUR, Peter Bilson; ARTHUR, Emmanuel. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. **Geoderma**, v. 361, p. 114055, mar. 2020.

REN, Xinhao *et al.* Aging effect of minerals on biochar properties and sorption capacities for atrazine and phenanthrene. **Chemosphere**, v. 206, p. 51–58, set. 2018.

SANTOS, Joseilma Araújo *et al.* Water retention and availability in tropical soils of different textures amended with biochar. **CATENA**, v. 219, p. 106616, dez. 2022.

SEOW, Yee Xuan *et al.* A review on biochar production from different biomass wastes by recent carbonization technologies and its sustainable applications. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 1, p. 107017, fev. 2022.

SHEN, Zhengtao *et al.* Assessing long-term stability of cadmium and lead in a soil washing residue amended with MgO-based binders using quantitative accelerated ageing. **Science of The Total Environment**, v. 643, p. 1571–1578, dez. 2018.

SIATECKA, Anna *et al.* Biochars ages differently depending on the feedstock used for their production: Willow- versus sewage sludge-derived biochars. **Science of The Total Environment**, v. 789, p. 147458, out. 2021.

SLUITER, A. *et al.* **Determination of Ash in Biomass: Laboratory Analytical Procedure (LAP)**. National Renewable Energy Laboratory, , 2005.

SPOKAS, K. A. *et al.* Physical Disintegration of Biochar: An Overlooked Process. **Environmental Science & Technology Letters**, v. 1, n. 8, p. 326–332, 12 ago. 2014.

SPOKAS, Kurt A. Review of the stability of biochar in soils: predictability of O:C molar ratios. **Carbon Management**, v. 1, n. 2, p. 289–303, dez. 2010.

SUN, Jiacheng *et al.* The role of feedstock and activation process on supercapacitor performance of lignocellulosic biochar. **Biomass and Bioenergy**, v. 184, p. 107180, maio 2024.

TAN, Lianshuai *et al.* Effect of three artificial aging techniques on physicochemical properties and Pb adsorption capacities of different biochars. **Science of The Total Environment**, v. 699, p. 134223, jan. 2020.

UKBRC. **Standard Biochars.** Disponível em:
<https://www.biochar.ac.uk/standard_materials.php>.

VÉDÈRE, Charlotte *et al.* The older, the better: Ageing improves the efficiency of biochar-compost mixture to alleviate drought stress in plant and soil. **Science of The Total Environment**, v. 856, p. 158920, jan. 2023.

WANG, Hong *et al.* Effects of atmospheric ageing under different temperatures on surface properties of sludge-derived biochar and metal/metalloid stabilization. **Chemosphere**, v. 184, p. 176–184, out. 2017.

WANG, Liuwei *et al.* New trends in biochar pyrolysis and modification strategies: feedstock, pyrolysis conditions, sustainability concerns and implications for soil amendment. **Soil Use and Management**, v. 36, n. 3, p. 358–386, jul. 2020a.

WANG, Liuwei *et al.* Biochar Aging: Mechanisms, Physicochemical Changes, Assessment, And Implications for Field Applications. **Environmental Science & Technology**, v. 54, n. 23, p. 14797–14814, 1 dez. 2020b.

WEI, Beilei *et al.* Drivers of biochar-mediated improvement of soil water retention capacity based on soil texture: A meta-analysis. **Geoderma**, v. 437, p. 116591, set. 2023.

WIERSMA, Wietse *et al.* No effect of pyrolysis temperature and feedstock type on hydraulic properties of biochar and amended sandy soil. **Geoderma**, v. 364, p. 114209, abr. 2020.

WISNIEWSKI JR, Alberto. Processos de conversão térmica de biomassas. *In: Energia da biomassa: termoconversão e seus produtos*. Curitiba: Brazil Publishing, 2020.

WOOD, Rosie; MAŠEK, Ondřej; ERASTOVA, Valentina. Biochars at the molecular level. Part 1 – Insights into the molecular structures within biochars. 2023.

XIA, Hao *et al.* Assessing the difference of biochar and aged biochar to improve soil fertility and cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) productivity. **Journal of Soils and Sediments**, v. 23, n. 2, p. 606–618, fev. 2023.

XUE, Tong *et al.* Adsorption and Desorption of Mercury(II) in Three Forest Soils in Shandong Province, China. **Pedosphere**, v. 23, n. 2, p. 265–272, abr. 2013.

YANG, Xiaodong *et al.* Aging features of metal(loid)s in biochar-amended soil: Effects of biochar type and aging method. **Science of The Total Environment**, v. 815, p. 152922, abr. 2022.

YANG, Zhe *et al.* A Novel Manganese-Rich Pokeweed Biochar for Highly Efficient Adsorption of Heavy Metals from Wastewater: Performance, Mechanisms, and Potential Risk Analysis. **Processes**, v. 9, n. 7, p. 1209, 14 jul. 2021.

YU, Haowei *et al.* Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 8–21, fev. 2019.

YUE, Yan *et al.* Characterization of Dissolved Organic Matter Released from Aged Biochar: A Comparative Study of Two Feedstocks and Multiple Aging Approaches. **Molecules**, v. 28, n. 11, p. 4558, 5 jun. 2023.

ZHANG, Xin *et al.* Effects of pyrolysis temperature on biochar's characteristics and speciation and environmental risks of heavy metals in sewage sludge biochars. **Environmental Technology & Innovation**, v. 26, p. 102288, maio 2022.

CAPÍTULO III

EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS DO BIOCARVÃO NA RETENÇÃO DE UMIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE COENTRO (*CORIANDRUM SATIVUM L.*)³

RESUMO

No contexto da busca por soluções sustentáveis que aliem aumento da produtividade agrícola à mitigação de impactos ambientais, o estudo avaliou os efeitos do uso de biocarvões derivados de lodo de esgoto (BL) e de palha de trigo (BPT) na retenção hídrica do solo da comunidade Serra da Guia, além das implicações do BL no crescimento de coentro (*Coriandrum sativum L.*) sob condições de irrigação ideal e estresse hídrico. Os resultados indicaram que ambos os tipos de biocarvão aumentaram a capacidade de armazenamento de água no solo, com destaque maior para o BPT. Apesar do maior teor de cinzas, o BL também apresentou desempenho positivo, sobretudo em temperaturas elevadas. Na produtividade do coentro, a aplicação de 40 t ha⁻¹ de BL resultou em massa fresca e seca totais cerca de três vezes superiores ao controle sob irrigação ideal, evidenciando efeito expressivo no curto prazo. Sob estresse hídrico, os ganhos não foram estatisticamente significativos, mas indicaram tendência de aumento com doses maiores de BL. Desse modo, conclui-se que tanto os BLs como os BPTs são promissores condicionadores e bioadubos de solo, com potencial para melhorar a fertilidade, a disponibilidade de água e a produtividade agrícola, reforçando seu papel na agricultura sustentável e na valorização de resíduos orgânicos.

Palavras-chave: Biochar, Condicionador de solo, Biofertilizante, Adubo orgânico, Agricultura sustentável, Agroecologia.

³ Artigo em elaboração (versão em inglês) que será submetido em periódico a ser definido em conjunto com os orientadores.

EMPIRICAL EVIDENCE OF BIOCHAR ON SOIL MOISTURE RETENTION AND CORIANDER (*CORIANDRUM SATIVUM L.*) PRODUCTIVITY

ABSTRACT

In the context of searching for sustainable solutions that combine increased agricultural productivity with the mitigation of environmental impacts, the study evaluated the effects of using biochars derived from sewage sludge (SS) and wheat straw pellets (WSP) on soil water retention with the Serra da Guia community soil, as well as the implications of SS biochar on the yield of coriander (*Coriandrum sativum L.*) under optimal irrigation and water stress conditions. The results indicated that both types of biochar increased the soil water-holding capacity, with greater performance for WSP. Despite its higher ash content, SS biochar also showed positive outcomes, especially at higher pyrolysis temperatures. Regarding coriander productivity, the application of 40 t ha⁻¹ of SS biochar resulted in total fresh and dry masses approximately three times higher than those of the control under optimal irrigation, indicating a significant short-term effect. Under water stress, the gains were not statistically significant but showed a trend of increase with higher SS doses. Thus, it is concluded that both SS and WSP biochars are promising soil conditioners and biofertilisers, with the potential to improve soil fertility, water availability, and agricultural productivity, reinforcing their role in sustainable agriculture and the valorisation of organic residues.

Keywords: Biochar, Soil ammendmen, Biofertiliser, Organic fertiliser, Sustainable agriculture, Agroecology.

1 INTRODUÇÃO

O biocarvão é um produto sólido, rico em carbono, obtido por meio da pirólise de diferentes tipos de biomassa, incluindo resíduos de origem animal, agrícola e florestal. Essa tecnologia apresenta expressivo potencial econômico e ambiental, uma vez que permite transformar resíduos orgânicos em um material de alto valor agregado, aplicável em diversos setores (IBI, 2015; Wisniewski Jr, 2020). Durante o processo de pirólise, a biomassa sofre degradação térmica na ausência ou em presença limitada de oxigênio, resultando na formação de um material com elevada área superficial e porosidade, características que favorecem seu uso como adsorvente e condicionador de solo (Zhu *et al.*, 2019).

A produção de biocarvão se apresenta também como uma alternativa de reciclagem de resíduos sólidos, reduzindo a pressão sobre aterros, e se insere como prática estratégica para a promoção da economia circular (Lehmann e Joseph, 2009). Pesquisas recentes têm destacado que a incorporação de biocarvão no solo pode influenciar positivamente diversos aspectos da produção agrícola. Entre os efeitos reportados estão o aumento do teor de matéria orgânica, a melhoria da estruturação do solo, a elevação da capacidade de retenção de água e a maior assimilação de nutrientes pelas plantas. Além disso, o uso do biocarvão tem sido associado ao incremento da atividade microbiana do solo e ao fortalecimento dos mecanismos naturais de defesa contra patógenos (Kavitha *et al.*, 2018). Outro aspecto relevante é a capacidade do biocarvão de mitigar problemas relacionados à contaminação ambiental. Sua aplicação pode promover a imobilização de poluentes, minimizando o risco de transferência dessas substâncias para as plantas e prevenindo seu transporte para corpos hídricos durante períodos chuvosos (Yu *et al.*, 2019).

Por outro lado, apesar das vantagens, a literatura científica aponta que os resultados obtidos com o uso de biocarvão são variáveis e dependem de fatores como tipo de biomassa utilizada, condições de pirólise, tipo de solo e dosagem aplicada. Um mesmo biocarvão pode causar efeitos significativamente distintos em diferentes contextos, e diferentes biocarvões podem apresentar desempenhos contrastantes em um mesmo solo (Gonzaga *et al.*, 2018). Essa variabilidade reforça a necessidade de estudos específicos para cada combinação de matéria-prima, processo de produção e local de aplicação. A temperatura de pirólise, por exemplo, é um parâmetro determinante para as propriedades finais do biocarvão. Alterações na estrutura física e química, na morfologia superficial e na estabilidade do material influenciam diretamente sua capacidade de retenção de água, troca de nutrientes e resistência à degradação (Ghorbani *et al.*, 2022).

Dessa forma, compreender como essas variáveis interagem é fundamental para otimizar a produção de biocarvão e adequar seu uso a diferentes objetivos agrícolas e ambientais. No contexto do desenvolvimento sustentável, a produção e uso do biocarvão representam uma solução tecnológica capaz de atender simultaneamente à demanda por aumento da produtividade agrícola e à mitigação dos impactos ambientais. Essa prática pode promover a valorização de resíduos orgânicos, a redução da dependência de fertilizantes sintéticos e a melhoria da qualidade dos solos, além de contribuir para o sequestro de carbono em longo prazo (Baldoni *et al.*, 2023; Barbosa *et al.*, 2025; Edeh e Mašek, 2021; Krahn *et al.*, 2023).

Diante desse cenário, esse estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do uso de biocarvões derivados de lodo de esgoto (BL) e de palha de trigo (BPT) na retenção hídrica de solos; bem como investigar o impacto do BL no crescimento de coentro (*Coriandrum sativum* L.) sob condições de irrigação ideal e de estresse hídrico. Buscou-se, portanto, oferecer evidências empíricas que contribuam para o avanço do conhecimento sobre os mecanismos e condições capazes de potencializar os benefícios agrônômicos e ambientais associados ao uso dessa tecnologia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CAPACIDADE DE RETENÇÃO HÍDRICA

Além das discussões apresentadas no Capítulo II sobre as propriedades dos biocarvões degradados, três biocarvões frescos e seus respectivos biocarvões envelhecidos foram selecionados para examinar os efeitos na capacidade de retenção hídrica de solos, com implicações a longo prazo. Os ensaios foram realizados com as amostras apresentadas no Quadro 8, sendo que os biocarvões foram adicionados ao solo a uma taxa de 2,4% em massa (equivalente a aproximadamente 40 t ha⁻¹, considerando uma profundidade de 10 cm e a densidade do solo igual a 1,6 g cm⁻³).

Quadro 8 – Amostras de solo e misturas solo-biocarvão utilizadas no ensaio de capacidade de retenção hídrica

Amostra	Tipo de biocarvão	Taxa de aplicação do biocarvão
Controle (apenas solo)	-	-
Solo + BL ₄₀₀	Biocarvão de lodo fresco obtido à 400 °C	40 t ha ⁻¹
Solo + BL _{400(E)}	Biocarvão de lodo envelhecido obtido à 400 °C	
Solo + BL ₆₀₀	Biocarvão de lodo fresco obtido à 600 °C	
Solo + BL _{600(E)}	Biocarvão de lodo envelhecido obtido à 600 °C	
Solo + BPT ₅₅₀	Biocarvão de palha de trigo fresco obtido à 400 °C	
Solo + BPT _{550(E)}	Biocarvão de palha de trigo envelhecido obtido à 400 °C	

As análises para determinar a capacidade de retenção hídrica das amostras foram feitas no ITPS, por meio de um aparelho extrator de Richards. Esse método consiste em determinar a umidade do solo em laboratório após aplicar uma pressão em amostras saturadas, processo que resulta na expulsão gradativa da água dos poros do solo até alcançar a drenagem máxima correspondente àquela tensão (EMBRAPA, 1997). As tensões aplicadas correspondem a tensões-chave para a investigação da capacidade de armazenamento de água em solos.

A umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) é definida como sendo a umidade do solo retida na tensão de 0,1 atm (10 kPa) para solos arenosos e de aproximadamente 0,33 atm (33 kPa) para solos argilosos. Essa umidade equivale à quantidade de água retida no solo após a drenagem por gravidade ter cessado e o ritmo do movimento descendente ter diminuído, ou seja, é o limite superior da sua capacidade de armazenamento de água (Salassier, Soares e Mantovani, 2008). A umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) é outro parâmetro importante, pois determina o limite inferior de armazenamento de água no solo. Essa umidade é obtida quando a amostra de solo é submetida à tensão de 15 atm (1500 kPa). Nesse ponto, a

água ainda remanescente é retida de forma tão intensa entre as partículas do solo que se torna impossível para as raízes das plantas removê-la, resultando no início do processo de murcha da planta (Salassier, Soares e Mantovani, 2008). Como consequência, a diferença entre os limites superior (θ_{CC}) e inferior (θ_{PMP}) do armazenamento de água no solo representa a quantidade de água que está prontamente disponível para as plantas (capacidade de água disponível - CAD).

Sendo assim, para cada amostra de solo, foram aplicados quatro níveis de pressão (10, 33, 100 e 1500 kPa), de modo a se obter as curvas de tensão (curvas características) correspondentes. O solo utilizado no ensaio foi coletado na área de estudo (terras agrícolas dos quilombolas de Serra da Guia) a uma profundidade de 0 a 20 cm. A caracterização do solo foi realizada no ITPS (Brasil, 2017), obtendo-se as seguintes características:

Tabela 7 – Características físicas e químicas do solo de Serra da Guia

Física																	
Areia					Silte			Argila			Classificação textural			Densidade			
----- % -----					-----			-----			-			g cm ⁻³			
84,04					9,07			6,89			Areia Franca			1,59			
Química																	
pH	P	Fe	Cu	Mg	Zn	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ⁺³	SB	CTC	PST	V	M.O.	
H ₂ O	----- mg dm ⁻³ -----					----- cmol _c dm ⁻³ -----					-----			---- % ----			g cm ⁻³
5,7	36,3	20,5	0,2	-	3,4	1,85	0,64	<0,1	0,04	0,37	1,05	2,9	3,95	1,09	73,4	8,7	

Legenda: SB (soma de bases trocáveis), CTC (capacidade de troca de cátions), PST (porcentagem de sódio trocável), V (índice de saturação de bases), M.O. (matéria orgânica).

2.2 DESENHO EXPERIMENTAL

O experimento para investigação dos efeitos do biocarvão na produtividade do coentro foi realizado com a incorporação do BL₄₀₀ no solo, em um ambiente protegido localizado do Instituto Federal de Sergipe – Estância, no período de agosto a outubro de 2024 (Figura 19).

O experimento consistiu no plantio orgânico de coentro (*Coriandrum sativum* L.) em vasos de 5 litros, cujas sementes foram obtidas com o fabricante “Feltrin Sementes”. O delineamento foi inteiramente casualizado, com o objetivo de avaliar os efeitos da incorporação do BL₄₀₀ e do estresse hídrico na produtividade do coentro.

Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 2. Foram utilizados quatro substratos: i) solo natural, ii) solo com biocarvão (20 t ha⁻¹), iii) solo com biocarvão (30 t ha⁻¹) e iv) solo com biocarvão (40 t ha⁻¹); e aplicados dois níveis de irrigação: 50% e 100% da evapotranspiração (ET_c) da cultura. Cada tratamento foi realizado em quatro repetições, totalizando 32 exemplares (Tabela 8).

Figura 19 – Ambiente protegido do IFS - Estância onde o experimento foi realizado.

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 8 - Tratamentos utilizados no cultivo do coentro (*coriandrum sativum* L.)

Tratamentos		Abreviação	Repetições
Substrato	Condição de irrigação		
Solo natural (controle)	Ausência de estresse (100% da ETc)	BL-0 _{100%}	4
Solo + BL ₄₀₀ (20 t ha ⁻¹)		BL-20 _{100%}	4
Solo + BL ₄₀₀ (30 t ha ⁻¹)		BL-30 _{100%}	4
Solo + BL ₄₀₀ (40 t ha ⁻¹)		BL-40 _{100%}	4
Solo natural (controle)	Estresse severo (50% da ETc)	BL-0 _{50%}	4
Solo + BL ₄₀₀ (20 t ha ⁻¹)		BL-20 _{50%}	4
Solo + BL ₄₀₀ (30 t ha ⁻¹)		BL-30 _{50%}	4
Solo + BL ₄₀₀ (40 t ha ⁻¹)		BL-40 _{50%}	4
		Total	32

Legenda: BL (Biocarvão de lodo pirolisado na temperatura de 400°C) ETc (evapotranspiração da cultura)

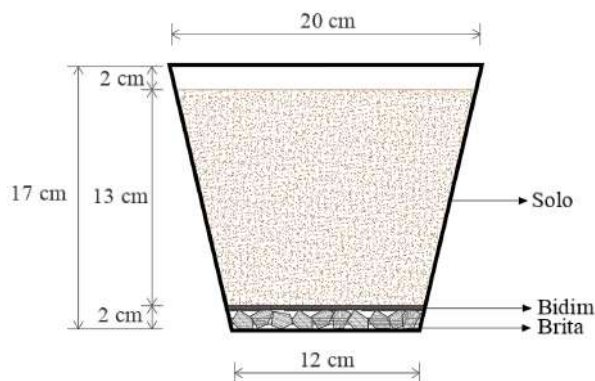
As taxas de incorporação do biocarvão de lodo no solo foram determinadas com base em benefícios observados em pesquisas anteriores (Singh *et al.*, 2021) e buscando-se otimizar o uso do BL₄₀₀ em função das características intrínsecas do solo em questão. No primeiro bloco experimental não foi aplicado nenhum estresse hídrico, sendo a lâmina de irrigação nesses tratamentos igual à 100% da ETc da cultura. Já o segundo bloco experimental foi submetido à estresse hídrico severo, sendo aplicado apenas uma lâmina equivalente à 50% da ETc, com o objetivo de avaliar o impacto desse fator no crescimento e qualidade do coentro.

2.3 COLETA E PREPARAÇÃO DO SOLO

O solo coletado na área de estudo foi levado para o ambiente protegido do IFS – Estância, onde foi peneirado com peneira de abertura #2,36 mm para remoção de pedras, raízes e vegetação. Não houve a necessidade de secar o solo, uma vez que este já estava bastante seco.

Foram utilizados vasos com capacidade para 5 litros (detalhamento na Figura 20).

Figura 20 – Dimensões dos vasos utilizados no experimento



Fonte: Autoria própria (2025)

O fundo dos vasos foi preenchido com uma camada de brita e forrado com manta bidim geotêxtil, em seguida, os vasos foram preenchidos com o solo peneirado, conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Coleta do solo no quilombo Serra da Guia e enchimento dos vasos, (a) coleta do solo, (b) peneiramento do solo (#2,36 mm), (c) preparação do fundo do vaso com brita e bidim, (d) vasos preenchidos



Fonte: Autoria própria (2025)

Em função dos resultados da caracterização do solo (Tabela 7), verificou-se a necessidade de corrigir a acidez do solo antes do plantio. Essa correção foi realizada com a adição de calcário dolomítico com Poder Relativo de Neutralização Total (PNRT) de 70%. O cálculo da necessidade de calcário foi realizado segundo Equação 4, resultando em um valor de 1,16 gramas por vaso.

$$NC = \left(\frac{V_c - V_a}{PNRT} \right) \cdot CTC \quad (4)$$

Onde:

NC = Necessidade de calcário (t ha^{-1})

V_c = Porcentagem de saturação por base desejada (80%)

V_a = Porcentagem de saturação por base do solo (73,4%)

CTC = Capacidade de Troca Catiônica do solo ($Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+ + H^+ + Al^{+3}$)

$PNRT$ = Poder Relativo de Neutralização Total (70%)

Após decorridos dois meses da calagem, o BL foi pesado para separação da quantidade necessária a ser adicionada em cada vaso, em seguida, foi lavado com água potável e acondicionado em copos plásticos submerso em água por aproximadamente 12h com a finalidade de saturá-los e de evitar uma adsorção abrupta de água após a sua incorporação no solo. Posteriormente, com o auxílio de uma pá de jardinagem, o BL foi misturado ao solo na camada superior (0 – 10 cm), adicionando água gradativamente para facilitar a mistura e garantir homogeneidade (Figura 22).

Figura 22 – Preparação do solo, (a) calagem com calcário dolomítico, (b) lavagem e umidificação do BL, (c) incorporação do BL no solo, (d) homogeneização do BL no solo, (e) fertilizante orgânico, (f) pesagem do fertilizante orgânico, (g) fertilização do solo, (h) vasos com solo preparado



Fonte: Autoria própria (2025)

A incubação do biocarvão no solo ocorreu entre os meses de junho a agosto de 2024. Na sequência, foi realizada uma fertilização de base em todos os vasos para fornecer condições mínimas para o desenvolvimento das plantas, visto que o solo apresentou característica arenosa

e pobre em matéria orgânica. Para tanto, utilizou-se um fertilizante orgânico de torta de mamona, cujas especificações estão apresentadas na Tabela 9. A fertilização foi realizada 15 dias antes da semeadura (Figura 22), conforme recomendação do fabricante, sendo adicionados 9,4 gramas por vaso.

Tabela 9 – Especificação do fertilizante orgânico

Torta vegetal de mamona – Classe “A” (Marca Vitaplan)						
N total mínimo	C orgânico	Umidade máxima	pH	CTC mínimo	Natureza física	Aplicação recomendada para o plantio hortaliças
----- % -----			-	mmol dm ⁻³	-	g m ⁻²
5,0	35,0	20,0	6,0	10,0	Farelo grosso	300

2.4 SEMEADURA E MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O plantio do coentro foi realizado no dia 29 de agosto de 2024, aplicando-se seis sementes por vaso. As plantas brotaram em torno de sete dias após a semeadura. O desbaste da cultura ocorreu aos 20 dias após a semeadura, quando as plantas atingiram aproximadamente 5 cm de altura, mantendo-se apenas as duas plantas mais vigorosas de cada vaso (Figura 23). Semanalmente, realizou-se também o monitoramento do crescimento da planta, aferindo-se a altura do substrato até o topo da folha verdadeira.

Figura 23 – Plantio do coentro (*Coriandrum Sativum* L.), (a) semeadura, (b) brotos de coentro, (c) aferição da altura da planta, (d) desbaste da cultura.



Fonte: Autoria própria (2025)

O manejo da irrigação foi realizado em função da ETc da cultura e com base na capacidade de campo do solo. As umidades na capacidade campo (θ_{CC}) de cada vaso foram determinadas no local do experimento, logo após a fertilização do solo, a partir de onde iniciou-se o manejo da irrigação. Inicialmente, todos os vasos foram completamente umedecidos até que se observasse a drenagem livre de água pelo fundo do vaso. Os vasos foram pesados 3h após o encharcamento, e a intervalos aproximados de 12h, obtendo-se a constância de peso nas últimas pesagens (~24h, 36h e 48h após o encharcamento). Dessa forma, como a variação dos teores de umidade nas últimas pesagens foi mínima, considerou-se as umidades após 36h do encharcamento como sendo as que melhor representaram a θ_{CC} de cada vaso (Salassier, Soares e Mantovani, 2008).

A ETc foi obtida diariamente, com exceção dos domingos, com base na média da perda de massa de 16 vasos (dois por tratamento), calculada de acordo com a Equação 5. A irrigação dos vasos foi então realizada buscando-se repor a lâmina de água referente à 100% da ETc em todos os vasos até o momento do desbaste, de modo que a umidade do solo se mantivesse próxima à θ_{CC} e o processo de germinação não fosse prejudicado. Após o desbaste, iniciou-se a indução do estresse hídrico no segundo bloco experimental, repondo-se a lâmina de água referente à apenas 50% da ETc.

$$ETc = \frac{\sum_{i=1}^{16} (M_{\theta_{CC}i} - M_{\theta i})}{16} \quad (5)$$

Onde:

ETc = Evapotranspiração da cultura (g), sendo 1g equivalente a 1ml de água (densidade da água igual a 1g/cm³).

$M_{\theta_{CC}i}$ = Massa do vaso “i” na capacidade de campo (g)

$M_{\theta i}$ = Massa do vaso “i” no dia da pesagem (g)

2.5 COLHEITA DO COENTRO E CARACTERIZAÇÃO

Ao final do experimento (46 dias após a semeadura), as plantas de cada vaso foram cuidadosamente colhidas e levadas ao Laboratório de Estudos em Hidráulica e Saneamento Ambiental (LEHSA) do IFS-Estância para caracterização. As plantas foram pesadas com balança analítica de precisão (0,01g) para determinação da massa fresca total (MFT), em seguida, foram armazenadas em sacos de papel devidamente identificados, sendo dispostas para secar em estufa a 65 °C até a obtenção da constância de peso. Após a secagem, as amostras foram novamente pesadas para determinação da massa seca total (MST).

2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As variáveis agronômicas obtidas com o experimento foram submetidas à análise de variância bidirecional (*two-way* ANOVA), com auxílio do software R (R CORE TEAM, 2022), considerando nível de confiança de 95%. Foram avaliados os efeitos do tipo de substrato (controle e solo com diferentes dosagens de biocarvão) e das condições de irrigação (ideal e estressante) sobre a Massa Fresca Total (MFT) e Massa Seca Total (MST) das plantas de coentro. Os pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias foram testados, a 5% de significância, utilizando os testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Além disso, um diagnóstico por *box-plot* foi realizado, de modo a identificar e remover possíveis *outliers* das análises. Em seguida, empregou-se o teste post-hoc de Tukey, a 5% de significância, como complemento para verificar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamento. As variáveis também foram interpretadas com auxílio do Microsoft Excel por análise de regressão, utilizando modelos selecionados com base nos coeficientes de determinação (R^2).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 IMPACTOS DO BIOCARVÃO NA RETENÇÃO HÍDRICA DO SOLO

O acréscimo das relações O/C após o envelhecimento discutido no Capítulo II, resultado do desenvolvimento de grupos funcionais oxigenados na superfície dos biocarvões, sugeriram o aumento da hidrofilicidade dos biocarvões com o tempo (Aller *et al.*, 2017). Wiersma *et al.* (2020) testaram os BLs e BPTs padrões produzidos no UKBRC e utilizados nesse estudo quanto a esse parâmetro, classificando-os como hidrofílicos.

Segundo Adhikari, Timms e Mahmud (2022), a hidrofilicidade/hidrofobicidade é a propriedade que determina a afinidade que o biocarvão terá com a água. Essa característica dependerá da natureza dos grupos funcionais de superfície e da composição química da biomassa, significando que mesmo biocarvões altamente porosos poderão ter baixo impacto na capacidade de retenção de água de solos, caso sejam hidrofóbicos, uma vez que esta característica dificultará a adsorção de água nos intraporos do biocarvão (Rabbi *et al.*, 2021).

A fim de investigar com mais profundidade a capacidade de retenção de água no solo a longo prazo, curvas de retenção hídrica foram construídas para misturas solo-biocarvão (40 t ha⁻¹) utilizando três biocarvões frescos e seus respectivos biocarvões envelhecidos. Os resultados correspondentes encontram-se na Tabela 10 e Figura 24.

Tabela 10 – Umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) sob tensão de 0,1 atm (10 kPa), umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) sob tensão de 15 atm (1500 kPa), e Capacidade de Água Disponível (CAD) do solo *in natura* (controle) e das misturas solo + biocarvão (40 t ha⁻¹)

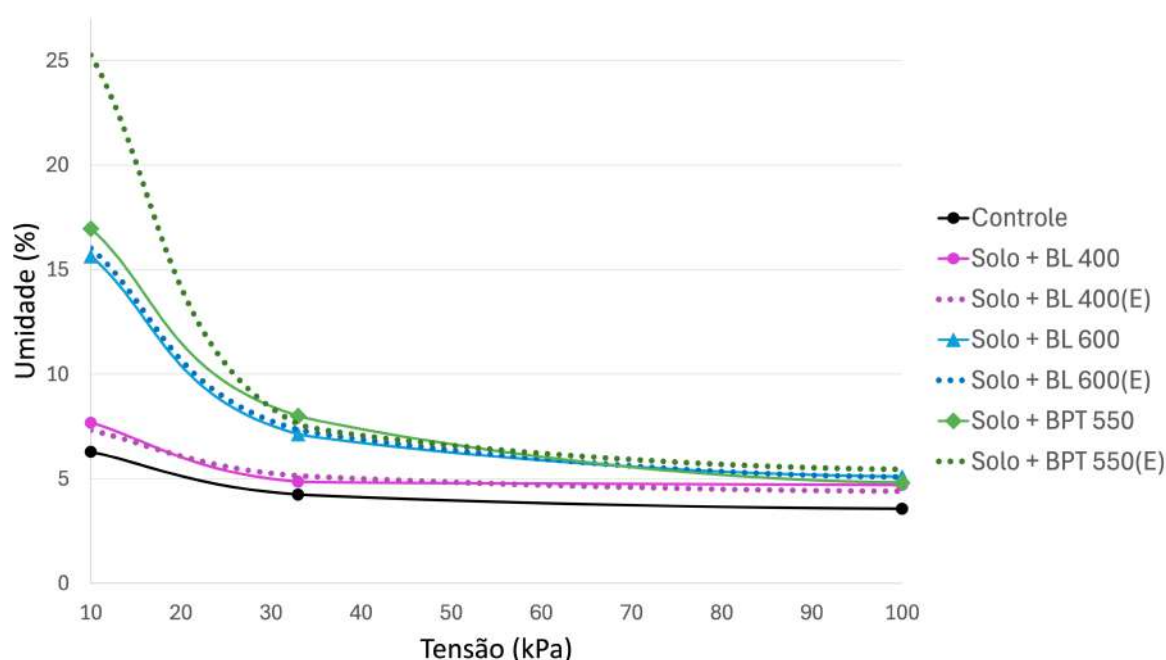
Substrato	%		
	θ_{CC}	θ_{PMP}	CAD
Controle	6,29	1,75	4,54
Solo + BL ₄₀₀	7,68	1,89	5,79
Solo + BL _{400(E)}	7,31	2,08	5,23
Solo + BL ₆₀₀	15,65	2,14	13,51
Solo + BL _{600(E)}	16,02	1,97	14,05
Solo + BPT ₅₅₀	16,96	2,28	14,68
Solo + BPT _{550(E)}	25,26	1,90	23,36

Por meio da Tabela 10 é possível observar com clareza o impacto da incorporação dos biocarvões na capacidade de campo (θ_{CC}) e na capacidade de armazenamento de água (CAD) do solo. O BL₆₀₀ e o BPT₅₅₀ apresentaram efeitos mais contundentes, com a θ_{CC} mais que dobrando em comparação com o controle, e a CAD aumentando aproximadamente três vezes. O BL₄₀₀, embora menos expressivo, também proporcionou acréscimos importantes (22,1% para

θ_{CC} e 27,5% para a CAD). As umidades θ_{PMP} dos solos misturados com biocarvão (1,89 %; 2,14% e 2,28% para BL₄₀₀, BL₆₀₀ e BPT₅₅₀, respectivamente) foram superiores à do controle ($\theta_{PMP} = 1,75\%$). Contudo, essas diferenças não foram tão relevantes como as variações observadas para as umidades na θ_{CC} , seja nos biocarvões frescos ou envelhecidos, resultando em maior margem de armazenamento de água nos solos adubados com biocarvão.

Adicionalmente, as curvas características de retenção hídrica da Figura 24 sugerem que tanto o tipo de biocarvão como o processo de envelhecimento influenciaram no armazenamento de água no solo. O BL₆₀₀ teve um efeito maior na capacidade de retenção hídrica do solo do que o BL₄₀₀, implicando que a escolha da temperatura de pirólise é importante quando se deseja utilizar o lodo para a produção de biocarvão com a finalidade de melhorar a capacidade de retenção de água do solo. Comparando-se as curvas referentes ao tipo de biocarvão e seu respectivo biocarvão envelhecido, notou-se que o efeito do envelhecimento foi menos marcante nos BLs do que nos BPTs.

Figura 24 – Comparação das curvas características de retenção hídrica do solo *in natura* (controle) e misturas solo + biocarvão (40 t ha⁻¹)



Legenda:

BL_x (Biocarvão de lodo fresco pirolisado na temperatura “x”);

BPT_x (Biocarvão de Palha de Trigo fresco pirolisado na temperatura “x”);

“(E)” utilizado para indicar que se trata de biocarvão envelhecido.

A θ_{CC} e a CAD do BPT₅₅₀ foram bastante afetadas pelo processo de envelhecimento, demonstrando que a retenção de água no solo condicionado com esse biocarvão tende a crescer com o tempo. Esse aumento é resultado de uma combinação de mecanismos, como alterações

funcionais associadas ao aumento da porosidade. Embora ambos os tipos de biocarvão tenham apresentado melhorias na complexação superficial após o envelhecimento, a macroporosidade inerentemente maior do BPT provavelmente contribuiu para seu desempenho superior na retenção de água (Figura 19). Tipicamente, biocarvões com baixo teor de cinzas, como o BPT, possuem uma morfologia superficial mais aberta e porosa; enquanto o conteúdo mineral elevado em biocarvões com alto teor de cinzas, como o BL, tende a ocupar e obstruir os espaços porosos, limitando assim sua capacidade de adsorção de água (Sun *et al.*, 2024).

Não obstante, outros aspectos também podem estar associados com o aumento da capacidade de retenção de água. Por exemplo, Edeh e Mašek (2021) apontam que o tamanho das partículas e a taxa de aplicação do biocarvão induzem alterações nas propriedades hidráulicas do solo. Em geral, a CAD de solos arenosos é principalmente controlada pela intraporosidade e hidrofobicidade do biocarvão, logo, o uso de biocarvões com característica hidrofílica e elevada intraporosidade é recomendado para um efetivo aumento da retenção de água. Além do mais, Adhikari, Timms e Mahmud (2022) ressaltam que a porosidade intrínseca do biocarvão associada à aeração provocada pela sua introdução no solo (interporosidade) pode contribuir para uma melhor reestruturação da camada cultivável, favorecendo a disponibilização de água para plantas e microrganismos. Em contrapartida, a depender das características naturais do solo, esse aumento de porosidade pode resultar em maior lixiviação e erosão, tornando o processo de análise complexo e multifatorial.

Resultados semelhantes ao desse estudo foram encontrados em diversas outras pesquisas quanto à utilização de biocarvões frescos (Li *et al.*, 2020; Razzaghi, Obour e Arthur, 2020; Santos *et al.*, 2022; Wei *et al.*, 2023), reforçando o seu potencial como condicionador de solos. Em geral, esses estudos ressaltam que o efeito do biocarvão na retenção de água é maior em solos granulares e arenosos, como consequência do incremento da intra e interporosidade. Adicionalmente, Alotaibi e Schoenau (2019), Günal, Erdem e Çelik (2018) e Ni *et al.* (2020) investigaram o efeito na retenção de água em solos utilizando biocarvões de resíduos vegetais envelhecidos (casca de amendoim, resíduo de tamareira, casca de arroz, resíduo de feijão e espiga de milho), obtendo resultados positivos. Por outro lado, Aller *et al.* (2017) identificaram efeitos neutros, positivos e negativos ao testar outros tipos de biocarvão (milho, capim-rabo-de-raposa, soja e madeira de lei), atentando para o fato de que não é possível generalizar esses resultados para todo tipo de biocarvão e de solo. No nosso estudo, para além dos benefícios obtidos com um biocarvão de origem vegetal (BPT) após o envelhecimento, identificou-se que o biocarvão de lodo (BL) também pode contribuir para o aumento da retenção hídrica em solos no longo prazo, sendo este efeito superior com BLs de maior temperatura ($BL_{600(E)} > BL_{400(E)}$).

3.2 IMPACTOS DO BIOCARVÃO NA PRODUTIVIDADE DE COENTRO

O crescimento das plantas de coentro em função dos diferentes tratamentos está apresentado na Tabela 11. A média da Massa Fresca Total (MFT) das plantas cultivadas em solo incorporado com 40 t ha⁻¹ de biocarvão de lodo foi significativamente superior à dos demais tratamentos, sendo aproximadamente três vezes maior que a do controle (solo natural), na condição de irrigação ideal (100% ETc). Isso representa um incremento absoluto de 8,07 g na MFT da amostra BL-40_{100%}, equivalente a um aumento relativo de aproximadamente 207,4% em relação ao controle (BL-0_{100%}).

Tabela 11 – Valores médios de Massa Fresca Total (MFT) e Massa Seca Total (MST) das plantas de coentro por tipo de substrato e condição de irrigação.

Tratamentos		Abreviação	MFT (g)	MST (g)
Substrato	Condição de irrigação			
Solo natural (controle)	100% ETc	BL-0 _{100%}	3,89 ± 2,85 ^b	0,56 ± 0,38 ^c
Solo + BL ₄₀₀ (20 t ha ⁻¹)		BL-20 _{100%}	3,91 ± 0,04 ^b	0,59 ± 0,03 ^{bc}
Solo + BL ₄₀₀ (30 t ha ⁻¹)		BL-30 _{100%}	7,68 ± 2,44 ^b	1,08 ± 0,34 ^{abc}
Solo + BL ₄₀₀ (40 t ha ⁻¹)		BL-40 _{100%}	11,96 ± 1,04 ^a	1,62 ± 0,15 ^a
Solo natural (controle)	50% ETc	BL-0 _{50%}	4,57 ± 0,16 ^b	0,64 ± 0,10 ^{bc}
Solo + BL ₄₀₀ (20 t ha ⁻¹)		BL-20 _{50%}	6,15 ± 0,18 ^b	0,84 ± 0,13 ^{bc}
Solo + BL ₄₀₀ (30 t ha ⁻¹)		BL-30 _{50%}	6,28 ± 0,15 ^b	0,95 ± 0,15 ^{bc}
Solo + BL ₄₀₀ (40 t ha ⁻¹)		BL-40 _{50%}	6,87 ± 0,19 ^b	1,19 ± 0,37 ^{ab}

Legenda:

Valores apresentados como média ± desvio padrão, obtidos após tratamento estatístico dos dados com exclusão de valores discrepantes (*outliers*).

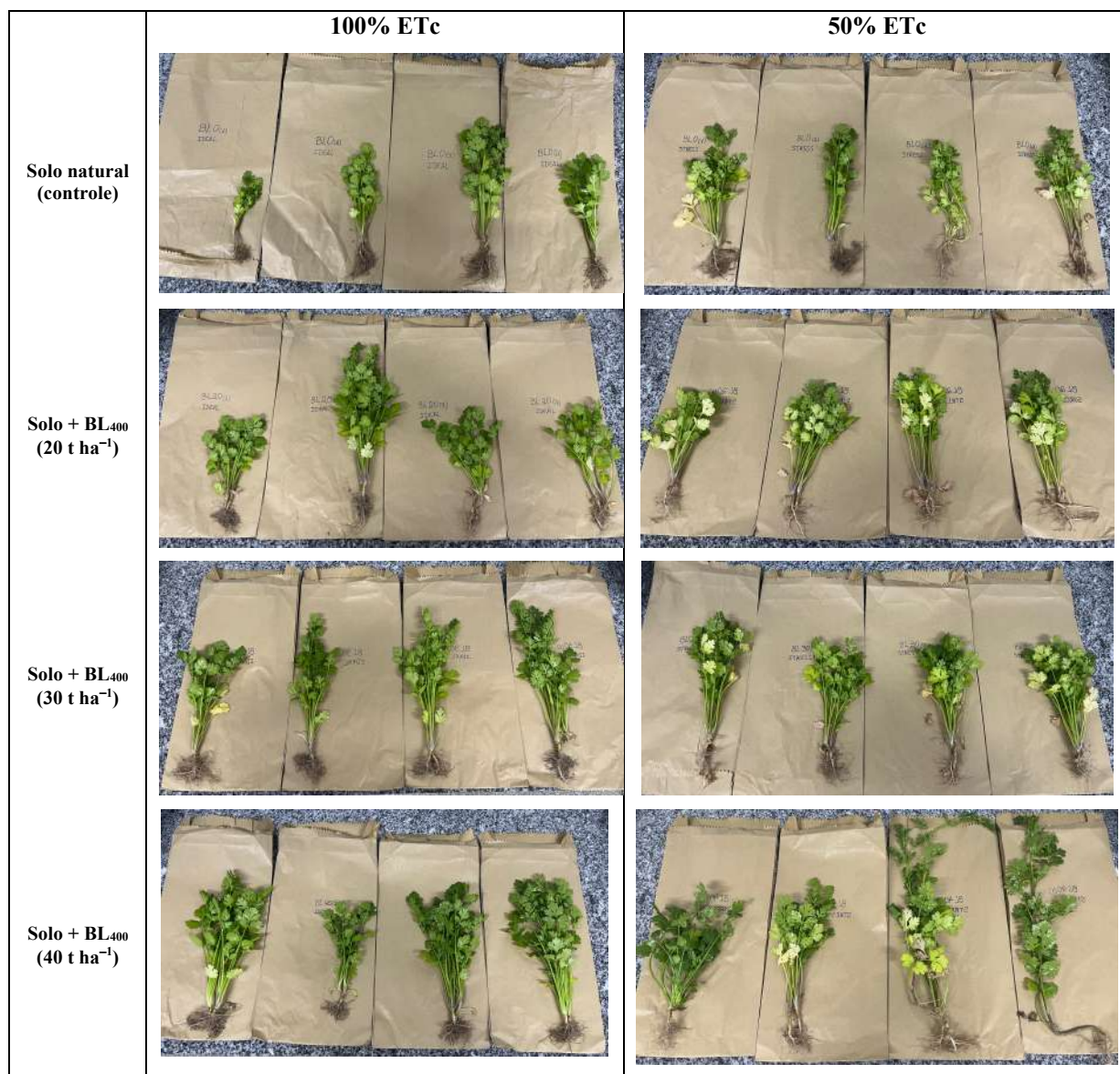
Letras sobrescritas diferentes representando as diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre as médias dos tratamentos (Análise de Variância Bidirecional – ANOVA e teste de Tukey).

Resultados semelhantes foram observados para a Massa Seca Total (MST) nas mesmas condições de irrigação. A massa seca corresponde ao material vegetal que perdeu toda a umidade após o processo de secagem, constituindo um importante indicador fisiológico da evolução da planta ao longo de seu ciclo de desenvolvimento (Souza et al., 2022). Logo, os resultados evidenciam que a maior dosagem de biocarvão testada foi eficiente em promover o crescimento do coentro, mesmo em um curto período de tempo, como também pode ser observado na Figura 25.

Em relação às respostas das variáveis à dosagem de biocarvão de lodo, a Figura 25 demonstra que as massas foram afetadas de forma quadrática. Conforme a equação de regressão ajustada para 100% ETc (Figura 26a), observa-se aumento gradativo da MFT para dosagens acima de 30 t ha⁻¹. Apesar de a dosagem BL-30_{100%} apresentar valor 97,4% superior ao controle,

a alta variabilidade dos dados, evidenciada pelas barras de desvio padrão, limitou a significância estatística, sendo os incrementos significativos detectados apenas na dosagem de 40 t ha⁻¹.

Figura 25 – Plantas de coentros colhidas por tipo de substrato e condição de irrigação.

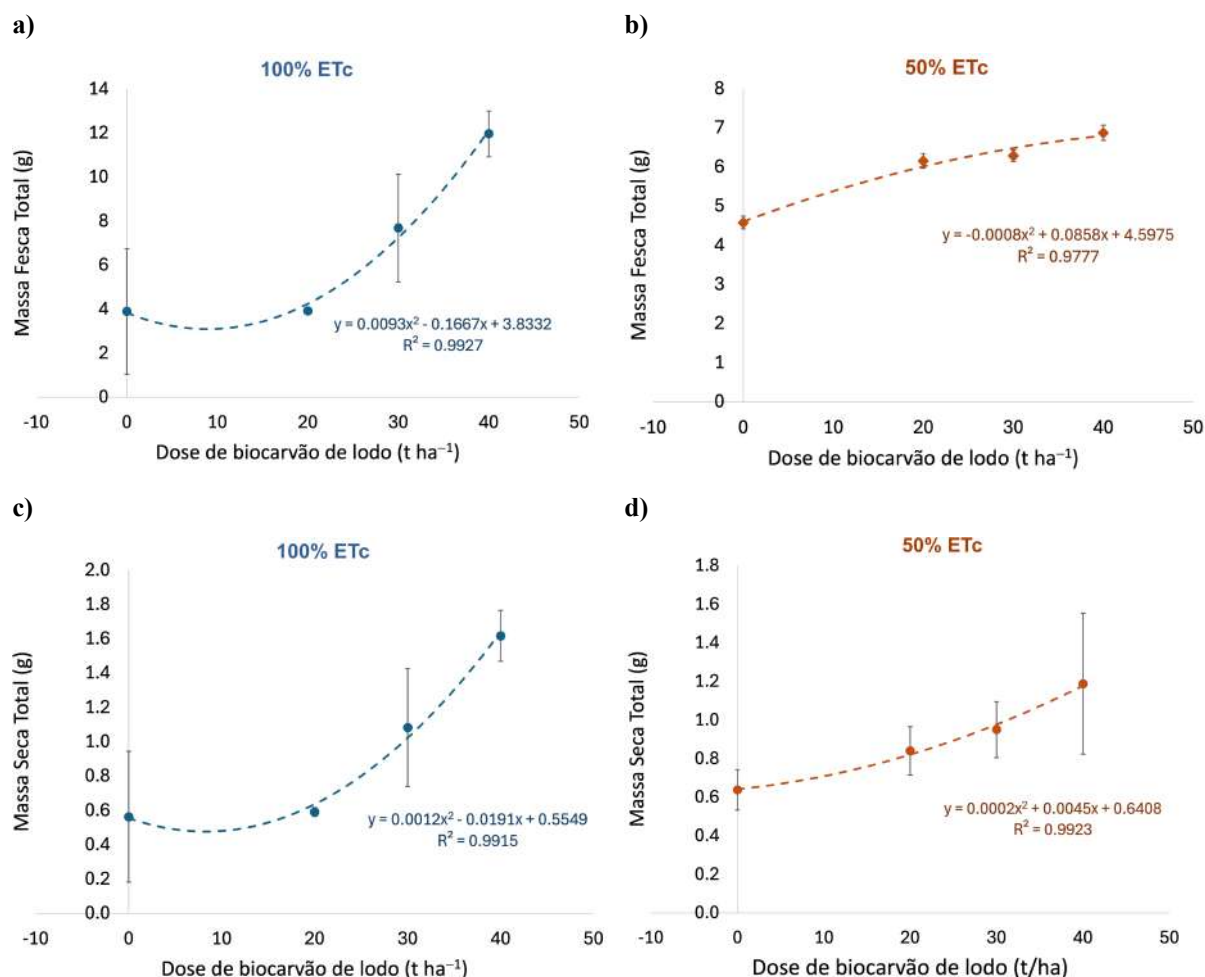


Fonte: Autoria própria (2025)

Sob estresse hídrico severo (50% ETc), não foram observados aumentos estatisticamente significativos na MFT ou MST (Tabela 11). Entretanto, as equações de regressão (Figuras 26b e 26d) indicam tendência de incremento com o aumento da dosagem de biocarvão nessas condições. A MFT foi aproximadamente 35% superior nas dosagens de 20 e 30 t ha⁻¹ e 50% maior com 40 t ha⁻¹ em comparação ao controle, enquanto a MST apresentou aumentos de cerca de 31%, 48% e 86% para as dosagens de 20, 30 e 40 t ha⁻¹, respectivamente.

Esses resultados sugerem a necessidade de estudos adicionais, com maior número de repetições, a fim de reduzir a variabilidade e consolidar as tendências observadas.

Figura 26 – Massa Fresca Total (MFT) e Massa Seca Total (MST) das plantas de coentro em função da dosagem de biocarvão de lodo e condição de irrigação.



Legenda:

Os pontos indicam as médias dos tratamentos, e as barras verticais representam o desvio padrão, obtidos após tratamento estatístico dos dados com exclusão de valores discrepantes (outliers).

Resultados semelhantes foram observados para a Massa Seca Total (MST) nas mesmas condições de irrigação. A massa seca corresponde ao material vegetal que perdeu toda a umidade após o processo de secagem, constituindo um importante indicador fisiológico da evolução da planta ao longo de seu ciclo de desenvolvimento (Souza *et al.*, 2022). Logo, os resultados evidenciam que a maior dosagem de biocarvão testada foi eficiente em promover o crescimento do coentro, mesmo em um curto período de tempo, como também pode ser observado na Figura 25.

Resultados semelhantes foram relatados por Sousa e Figueiredo (2016), que verificaram que a aplicação de biocarvão de lodo (10–30 g kg⁻¹) melhorou a fertilidade do solo

e favoreceu o crescimento do rabanete, elevando o número de folhas, a altura e a massa seca da parte aérea. Outros estudos também apontam efeitos predominantemente positivos do biocarvão de lodo de esgoto sobre a produtividade agrícola. Velli, Manolikaki e Diamadopoulou (2021), por exemplo, demonstraram que a incorporação desse material ao solo promoveu aumento significativo da biomassa seca tanto dos tecidos aéreos (caules) quanto subterrâneos (raízes) da planta de tomate. Embora não tenha sido registrado ganho significativo na produção de frutos, os autores destacam maior uniformidade na qualidade e no tamanho. Além disso, Ahmad *et al.* (2022) constataram que o condicionamento do solo com biocarvão de lodo aumentou significativamente a germinação das sementes, o crescimento e a biomassa de plantas de feijão e milho em relação ao solo natural.

Em consonância com as análises das propriedades do biocarvão de lodo no longo prazo, os resultados obtidos neste estudo sugerem que a utilização de biocarvão pode favorecer incrementos positivos na produtividade em ciclos consecutivos de cultivo, devido à liberação gradual de nutrientes e à melhoria das propriedades físico-químicas do solo ao longo do tempo. Além disso, é plausível supor que biocarvões de lodo produzidos em temperaturas mais elevadas possam apresentar desempenho ainda mais expressivo, em função da maior capacidade de reter água (Figura 24), maior estabilidade estrutural (Figura 16) e elevado potencial de retenção de nutrientes (Figura 15), o que reforça a necessidade de investigações futuras com diferentes condições de pirólise.

4 CONCLUSÃO

Os resultados deste capítulo permitem concluir que a incorporação de biocarvões, tanto de lodo quanto de origem vegetal, pode promover melhorias significativas na capacidade de retenção de água do solo e na produtividade do coentro, com efeitos dependentes das características do biocarvão. Quanto à retenção hídrica, os biocarvões aumentaram a capacidade de campo e o armazenamento de água do solo, sendo os biocarvões produzidos em temperaturas mais elevadas (BL₆₀₀ e BPT₅₅₀) os mais eficazes. O envelhecimento dos biocarvões contribuiu para o aumento da hidrofiliidade e porosidade, especialmente no biocarvão de palha de trigo (BPT), potencializando a retenção de água ao longo do tempo. O biocarvão de lodo (BL), apesar de apresentar maior teor de cinzas, também se mostrou eficiente, especialmente quando produzido em temperaturas mais altas, reforçando seu potencial para uso agrícola sustentável.

Com relação à produtividade do coentro, a aplicação de biocarvão de lodo na concentração de 40 t ha⁻¹ resultou em aumento significativo da Massa Fresca Total (MFT) e Massa Seca Total (MST) das plantas, aproximadamente três vezes superior ao controle sob condições ideais de irrigação. Embora sob estresse hídrico severo os incrementos não tenham alcançado significância estatística, as tendências indicaram benefícios crescentes com doses maiores de biocarvão, sugerindo que o material pode auxiliar no manejo de cultivos em condições adversas. Os resultados corroboram a capacidade do biocarvão de lodo de melhorar a fertilidade do solo e favorecer o desenvolvimento vegetal, com potencial para efeitos acumulativos positivos em cultivos sucessivos devido à liberação gradual de nutrientes e à melhora das propriedades físico-químicas do solo.

Dessa maneira, o estudo evidencia que biocarvões são promissores condicionadores de solo, capazes de aumentar a retenção hídrica e a produtividade agrícola, reforçando a importância de adequar a produção e aplicação do biocarvão às especificidades do solo e da cultura para maximizar seus benefícios. Futuras pesquisas devem aprofundar a avaliação de diferentes condições de pirólise e ensaios em longo prazo para consolidar essas recomendações.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, S.; TIMMS, W.; MAHMUD, M. A. P. Optimising water holding capacity and hydrophobicity of biochar for soil amendment – A review. **Science of The Total Environment**, v. 851, p. 158043, dez. 2022.
- AHMAD, A.; CHOWDHARY, P.; KHAN, N.; CHAURASIA, D.; VARJANI, S.; PANDEY, A.; CHATURVEDI, P. Effect of sewage sludge biochar on the soil nutrient, microbial abundance, and plant biomass: A sustainable approach towards mitigation of solid waste. **Chemosphere**, v. 287, p. 132112, jan. 2022.
- ALLER, D.; RATHKE, S.; LAIRD, D.; CRUSE, R.; HATFIELD, J. Impacts of fresh and aged biochars on plant available water and water use efficiency. **Geoderma**, v. 307, p. 114–121, dez. 2017.
- ALOTAIBI, K. D.; SCHOENAU, J. J. Addition of Biochar to a Sandy Desert Soil: Effect on Crop Growth, Water Retention and Selected Properties. **Agronomy**, v. 9, n. 6, p. 327, 20 jun. 2019.
- BALDONI, N.; FRANCIONI, M.; TROZZO, L.; TODERI, M.; FORNASIER, F.; D'OTTAVIO, P.; CORTI, G.; COCCO, S. Effect of wood gasification biochar on soil physicochemical properties and enzyme activities, and on crop yield in a wheat-production system with sub-alkaline soil. **Biomass and Bioenergy**, v. 176, p. 106914, set. 2023.
- BARBOSA, T. A.; GOMES FILHO, R. R.; WISNIEWSKI, A.; MAŠEK, O. Biochar physical degradation: Long-term effects as soil amendments. **Biomass and Bioenergy**, v. 203, p. 108284, dez. 2025.
- BRASIL. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2017.
- EDEH, I. G.; MAŠEK, O. The role of biochar particle size and hydrophobicity in improving soil hydraulic properties. **European Journal of Soil Science**, v. 73, n. 1, p. e13138, 2021.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997.
- GHORBANI, M.; AMIRAHMADI, E.; NEUGSCHWANDTNER, R. W.; KONVALINA, P.; KOPECKÝ, M.; MOUDRÝ, J.; PERNÁ, K.; MURINDANGABO, Y. T. The Impact of Pyrolysis Temperature on Biochar Properties and Its Effects on Soil Hydrological Properties. **Sustainability**, v. 14, n. 22, p. 14722, 8 nov. 2022.
- GONZAGA, M. I. S.; MACKOWIAK, C.; ALMEIDA, A. Q. DE; CARVALHO JUNIOR, J. I. T. DE; 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, mar. 2018.
- GÜNAL, E.; ERDEM, H.; ÇELİK, İ. Effects of three different biochars amendment on water retention of silty loam and loamy soils. **Agricultural Water Management**, v. 208, p. 232–244, set. 2018.

IBI, B. S. **Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil** International Biochar Initiative, , 2015. Disponível em: <<http://www.biochar-international.org/characterizationstandard>>

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

KRAHN, K. M.; CORNELISSEN, G.; CASTRO, G.; ARP, H. P. H.; ASIMAKOPOULOS, A. G.; WOLF, R.; HOLMSTAD, R.; ZIMMERMAN, A. R.; SØRMO, E. Sewage sludge biochars as effective PFAS-sorbents. **Journal of Hazardous Materials**, v. 445, p. 130449, mar. 2023.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (EDS.). **Biochar for environmental management: science and technology**. London ; Sterling, VA: Earthscan, 2009.

LI, J.; LI, B.; HUANG, H.; ZHAO, N.; ZHANG, M.; CAO, L. Investigation into lanthanum-coated biochar obtained from urban dewatered sewage sludge for enhanced phosphate adsorption. **Science of The Total Environment**, v. 714, p. 136839, abr. 2020.

NI, J.J.; BORDOLOI, S.; SHAO, W.; GARG, A.; XU, G.; SARMAH, A. K. Two-year evaluation of hydraulic properties of biochar-amended vegetated soil for application in landfill cover system. **Science of The Total Environment**, v. 712, p. 136486, abr. 2020.

RABBI, S. M. F.; MINASNY, B.; SALAMI, S. T.; MCBRATNEY, ALEX. B.; YOUNG, I. M. Greater, but not necessarily better: The influence of biochar on soil hydraulic properties. **European Journal of Soil Science**, v. 72, n. 5, p. 2033–2048, set. 2021.

RAZZAGHI, F.; OBOUR, P. B.; ARTHUR, E. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. **Geoderma**, v. 361, p. 114055, mar. 2020.

SALASSIER, B.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Água no solo. Em: **Manual de Irrigação**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2008. .

SANTOS, J. A.; GONZAGA, M. I. S.; DOS SANTOS, W. M.; DA SILVA, A. J. Water retention and availability in tropical soils of different textures amended with biochar. **CATENA**, v. 219, p. 106616, dez. 2022.

SINGH, S.; PRAJAPATI, A. K.; CHAKRABORTY, J. P.; MONDAL, M. K. Adsorption potential of biochar obtained from pyrolysis of raw and torrefied *Acacia nilotica* towards removal of methylene blue dye from synthetic wastewater. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 22 jun. 2021.

SOUSA, A. A. T. C.; FIGUEIREDO, C. C. Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 32, n. 2, p. 127–138, 2 abr. 2016.

SOUZA, A. M. D. S.; DA CUNHA, F. F.; FACCIOLI, G. G.; SANTANA, F. S.; SANTOS, K. V. Lettuce Fertigation with Domestic Effluent Treated with Orange Pomace Biochar. **Water**, v. 14, n. 20, p. 3272, 17 out. 2022.

SUN, J.; JAYAKUMAR, A.; DÍAZ-MAROTO, C. G.; MORENO, I.; FERMOSO, J.; MAŠEK, O. The role of feedstock and activation process on supercapacitor performance of lignocellulosic biochar. **Biomass and Bioenergy**, v. 184, p. 107180, maio 2024.

VELLI, P.; MANOLIKAKI, I.; DIAMADOPOULOS, E. Effect of biochar produced from sewage sludge on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growth, soil chemical properties and heavy metal concentrations. **Journal of Environmental Management**, v. 297, p. 113325, nov. 2021.

WEI, B.; PENG, Y.; LIN, L.; ZHANG, D.; MA, L.; JIANG, L.; LI, Y.; HE, T.; WANG, Z. Drivers of biochar-mediated improvement of soil water retention capacity based on soil texture: A meta-analysis. **Geoderma**, v. 437, p. 116591, set. 2023.

WIERSMA, W.; VAN DER PLOEG, M. J.; SAUREN, I. J. M. H.; STOOF, C. R. No effect of pyrolysis temperature and feedstock type on hydraulic properties of biochar and amended sandy soil. **Geoderma**, v. 364, p. 114209, abr. 2020.

WISNIEWSKI JR, A. Processos de conversão térmica de biomassas. *Em: Energia da biomassa: termoconversão e seus produtos*. Curitiba: Brazil Publishing, 2020. .

YU, H.; ZOU, W.; CHEN, J.; CHEN, H.; YU, Z.; HUANG, J.; TANG, H.; WEI, X.; GAO, B. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 8–21, fev. 2019.

ZHU, X.; ZHAO, L.; FU, F.; YANG, Z.; LI, F.; YUAN, W.; ZHOU, M.; FANG, W.; ZHEN, G.; LU, X.; ZHANG, X. Pyrolysis of pre-dried dewatered sewage sludge under different heating rates: Characteristics and kinetics study. **Fuel**, v. 255, p. 115591, nov. 2019.

CAPÍTULO IV

RESILIÊNCIA AGRÍCOLA NO QUILOMBO SERRA DA GUIA/SE: UM PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS SUSTENTÁVEIS EMPREGANDO BIOCARVÃO DE LODO⁴

RESUMO

A comunidade quilombola Serra da Guia, localizada no semiárido sergipano, enfrenta múltiplas vulnerabilidades socioeconômicas e climáticas que comprometem a segurança alimentar e a sustentabilidade da agricultura familiar. Este estudo realizou um diagnóstico situacional da comunidade, com ênfase nas práticas agrícolas locais e na análise das potencialidades do biocarvão de lodo como tecnologia sustentável de suporte à produção. A partir de uma abordagem qualitativa e participativa, com caminhadas transversais e entrevistas em grupos, identificaram-se práticas agroecológicas pautadas na coletividade, no respeito à natureza e na valorização de insumos orgânicos. A escassez hídrica e a ausência de políticas públicas eficazes se revelaram como os principais entraves à ampliação e diversificação produtiva. Os agricultores mostraram interesse na utilização do biocarvão de lodo como bioadubo, reconhecendo sua funcionalidade. Embora o uso do biocarvão seja promissor e corrobore com os anseios dos próprios quilombolas, sua viabilização depende de apoio institucional. Conclui-se que a valorização dos saberes tradicionais, aliada a políticas públicas integradas, podem contribuir para o fortalecimento da agricultura familiar e para o manejo sustentável de resíduos problemáticos, promovendo justiça socioambiental e maior resiliência no campo.

Palavras-chave: Agricultura Familiar, Saberes Tradicionais, Valorização de Resíduos, Mudanças Climáticas, Biochar.

⁴ Artigo em elaboração que será submetido em periódico a ser definido em conjunto com os orientadores.

AGRICULTURE RESILIENCE IN THE SERRA DA GUIA/SE QUILOMBO: A CURRENT OVERVIEW AND THE PERSPECTIVE OF SUSTAINABLE PRODUCTION USING BIOCHAR FROM SEWAGE SLUDGE

ABSTRACT

The *quilombola* (Afro-descendant) community of Serra da Guia, located in the semi-arid region of Sergipe, Brazil, faces multiple socioeconomic and climatic vulnerabilities that compromise food security and the sustainability of family farming practices. This study carried out a situational diagnosis of the community, with an emphasis on local agricultural traditions and the potential of using sewage sludge biochar as a sustainable soil improvement technology to support production. Using a qualitative and participatory research method, through transect walks and group interviews, agroecological practices were identified, based on collectivity, respect for nature, and appreciation for organic inputs. Water scarcity and the absence of adequate public policies are the primary barriers to expanding and diversifying production. Farmers expressed interest in using sewage sludge biochar, recognising its functional properties. Although biochar use is promising and aligns with the community aspirations, its viability depends on institutional support. In conclusion, we encourage the valorisation of traditional knowledge combined with integrated public policies to strengthen family farming and the sustainable management of problematic waste, thereby promoting socio-environmental justice and greater resilience in rural areas.

Keywords: Family Farming, Traditional Knowledge, Waste Valorisation, Climate Change, Biochar

1 INTRODUÇÃO

A realidade histórica vivida pelos africanos trazidos ao Brasil no regime escravocrata, e passada adiante para os seus descendentes, resultou na formação de grupos de resistência ao longo do tempo, a exemplo dos quilombos. Segundo o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), “quilombo” é um termo jurídico reconhecido pela Constituição de 1988 para garantir a posse de territórios a comunidades com identidade histórica, territorialidade própria e ancestralidade afrodescendente (INCRA, 2017).

As comunidades quilombolas brasileiras constituem importantes guardiãs da diversidade sociocultural e ecológica, desenvolvendo modos de vida pautados na coletividade, no respeito à natureza e na valorização dos saberes ancestrais. Esses territórios, historicamente formados por populações negras em resistência à escravidão e ao racismo estrutural, enfrentam desafios persistentes relacionados à garantia de direitos básicos, à segurança alimentar e à permanência digna no campo (Santos, 2022).

De acordo com Feitosa et al. (2021), o direito à terra é uma das reivindicações básicas dos quilombolas, haja vista a importância da propriedade não só como moradia, mas também como meio de subsistência, o qual é tipicamente baseado na agricultura. Para além disso, as comunidades quilombolas vivenciam a busca por reconhecimento étnico e lutam pelo direito à preservação, manifestação e perpetuação de sua cultura e saberes.

Mesmo diante de tamanha relevância, o reconhecimento jurídico dos direitos quilombolas só teve início com a Constituição Federal de 1988 (Arruti, 2016). A norma constitucional assegura o direito à posse definitiva das terras tradicionalmente ocupadas, reconhecendo-as como bens coletivos, dispensando registro formal prévio e protegendo sua identidade étnico-cultural, costumes, organização social e tradições (BRASIL, 1988). Segundo o INCRA (2020), a titulação da terra quilombola deve ser feita em nome da associação representativa da comunidade, o que exige sua formalização legal e envolve um processo jurídico complexo, baseado na autodeclaração étnico-racial.

Arruti (2022) argumenta que a questão quilombola ainda não é suficientemente explorada pela comunidade científica, refletindo a invisibilidade desses povos frente a um histórico discriminatório e excludente. Essa invisibilidade e marginalização também é traduzida nos índices socioeconômicos. Por exemplo, as pessoas pretas/pardas compreendem a maior parcela de pessoas em condição de vulnerabilidade, correspondendo a 73,04% dos beneficiários do Bolsa Família, sendo que 283,06 mil famílias beneficiárias são compostas por quilombolas (MDS, 2025a).

Pela primeira vez, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizou o levantamento completo da população quilombola residente no território nacional por meio do Censo 2022. Segundo o levantamento, existem 1,3 milhão de quilombolas no Brasil distribuídos em 1.696 municípios. Grande parte dessa população está concentrada na região Nordeste (68,19%), e apenas 12,6% reside em territórios oficialmente reconhecidos (IBGE, 2023a).

No contexto da região nordeste do Brasil, onde predomina o clima semiárido, as vulnerabilidades nos quilombos são acentuadas por fatores extremos, como a escassez hídrica e a degradação ambiental, que comprometem a produtividade agrícola e a qualidade de vida dessas comunidades. Como estratégia de sobrevivência, muitos quilombos praticam a agricultura familiar. Entretanto, o abastecimento familiar de alimentos em quantidade e qualidade muitas vezes não é suficiente, fazendo com que os quilombolas componham parte relevante das populações em situação de insegurança alimentar e nutricional. Nesse sentido, o desenvolvimento de ações e programas agrícolas específicos é crucial para garantir a soberania alimentar e o bem-estar nos quilombos, sendo importante a valorização dos saberes agrícolas e culinários que são fundamentais para a preservação de sua identidade cultural (Pinto et al., 2014b).

Diante dos desafios impostos em cenários como estes, e com o agravamento das mudanças climáticas, cresce o interesse por tecnologias sociais capazes de fortalecer a resiliência no meio rural. Um exemplo promissor é a produção de materiais carbonáceos estáveis, como o biocarvão (ou *biochar*). O biocarvão é um material sólido granular que pode ser obtido mediante o aquecimento controlado de biomassas residuais em ambiente limitado de oxigênio, processo conhecido como pirólise (Wisniewski Jr, 2020b). Trata-se de um recurso com potencial para melhorar a qualidade de solos e produtividade agrícola, além de ser uma tecnologia que promove a captura e armazenamento de carbono a longo prazo (Amalina et al., 2023; Egbedina et al., 2021; Farrar et al., 2022).

O caráter sustentável dessa tecnologia também é amparado pelo fato de ser uma solução alternativa à disposição final de resíduos orgânicos, como os provenientes de atividades agroindustriais, florestais e, inclusive, de dejetos humanos, a exemplo do lodo de esgoto. O lodo é o resíduo semissólido resultante do tratamento dos esgotos sanitários. Este material é composto por uma variedade de elementos orgânicos, metais, microrganismos patogênicos e não patogênicos, além de contaminantes tóxicos (Andreoli; Von Sperling; Fernandes, 2014).

Estima-se que há no Brasil uma produção de 3,1 milhões de toneladas de lodo seco por ano, mesmo com os atuais baixos índices de coleta e tratamento de esgoto, o que impõe sérios desafios socioambientais e econômicos à sua gestão. Além disso, a tendência é que a geração

desse resíduo aumente nos próximos anos, com a expansão dos serviços de esgotamento sanitário, o que deverá intensificar ainda mais tais complexidades (Ghorbani et al., 2022a).

Levando em consideração todo esse contexto e alinhando-se às oportunidades no caminho de um desenvolvimento mais sustentável, o presente estudo teve como objetivo realizar um diagnóstico situacional da comunidade quilombola Serra da Guia, localizada em Poço Redondo, no semiárido sergipano, com foco na compreensão da relação dos quilombolas com a agricultura familiar e na análise das possibilidades de aplicação do biocarvão de lodo como tecnologia de suporte à agricultura local. A partir de uma abordagem qualitativa e participativa, buscou-se mapear os saberes, práticas e desafios enfrentados pelos agricultores da comunidade, identificando sinergias potenciais entre seus modos de vida tradicionais e inovações voltadas à sustentabilidade ambiental.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A contextualização da comunidade quilombola de Serra da Guia foi realizada em parceria com o Centro Colaborador em Alimentação e Nutrição Escolar da UFS (CECANE/UFS), como parte do projeto “Fomento a inserção da Agricultura Familiar, Empreendedor Familiar Rural e suas organizações no PNAE”, o qual foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa com Seres Humanos, parecer nº 5.597.177 (Anexo B).

Visando uma compreensão aprofundada da estrutura organizacional e da relação do quilombo Serra da Guia com a agricultura familiar, inicialmente, uma revisão bibliográfica foi realizada, permitindo a contextualização da comunidade quanto aos aspectos histórico-culturais. Para além disso, duas metodologias qualitativas foram utilizadas: diário de campo e entrevistas com grupos focais. Informações sobre recursos naturais, moradias, características do solo e aspectos culturais dos quilombolas foram sistematicamente coletadas e anotadas no diário de campo, por meio de caminhadas transversais feitas com lideranças da comunidade e do CECANE. Segundo Verdejo (2006), a caminhada transversal é uma ferramenta importante, principalmente para o diagnóstico e reconhecimento inicial da área de estudo, possibilitando a aproximação do pesquisador com os sujeitos envolvidos na pesquisa.

Além disso, foi entregue e lido para os entrevistados um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE (Anexo C) com a explicação clara dos objetivos e metodologia da pesquisa. Este documento é importante para garantir que os participantes compreendam a pesquisa, tenham a livre escolha em participar ou não das entrevistas, e tenham suas identidades preservadas.

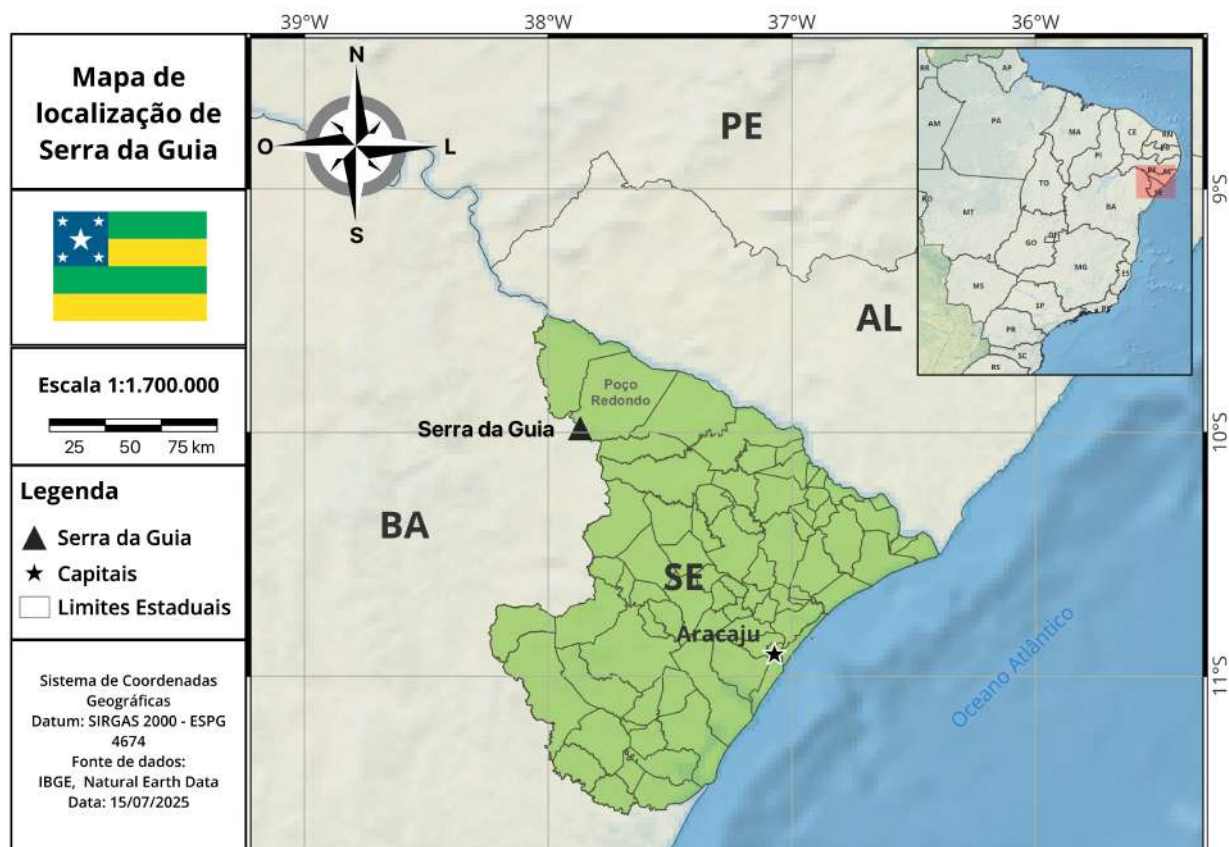
2.1 ÁREA DE ESTUDO

O território da comunidade quilombola Serra da Guia (Figura 27) está situado na divisa entre os estados de Sergipe e Bahia, contando com uma população total de 838 habitantes, dos quais 614 se autodeclararam quilombolas residentes na porção sergipana (IBGE, 2023a). Do ponto de vista geográfico, essa região é formada por um Brejo de Altitude, também conhecido como Mata Serrana, onde se localiza o ponto culminante do estado de Sergipe (Machado, 2011). Ao seu redor, encontra-se uma zona de base, que atualmente abriga o centro de apoio da associação quilombola, bem como a maior parte das residências da comunidade.

Inserida no bioma da Caatinga, a região apresenta características marcantes de um ambiente semiárido, com solos pobres em nutrientes, longos períodos de estiagem e escassez hídrica (INSA, 2025). Apesar das adversidades, a Caatinga é reconhecida por sua elevada

biodiversidade, hoje ameaçada por ações antrópicas e pela ausência de políticas públicas eficazes de conservação (Barbosa; Gomes Filho, 2022; Machado, 2011).

Figura 27 - Localização do quilombolo Serra da Guia (9°58'S E 37°52'W)



Fontes: Autoria própria utilizando software QGis (2025)

2.2 ENTREVISTAS COM GRUPOS FOCAIS

Três oficinas com grupos focais foram realizadas com os agricultores familiares quilombolas de Serra da Guia, as quais foram conduzidas por meio de um roteiro de questões (Apêndice A). Segundo Bauer e Gaskell (2008), a entrevista em grupo ultrapassa a simples reunião de indivíduos, configurando-se como uma dinâmica própria, na qual processos coletivos emergem com interações diferenciadas que não são observadas nas trocas habituais das entrevistas individuais.

A seleção dos entrevistados que compuseram os grupos focais foi feita mediante a aproximação com a comunidade e entendimento das relações existentes no quilombo e papéis sociais exercidos por seus habitantes. Buscou-se, nessa etapa da pesquisa, compreender as dificuldades, anseios e perspectivas dos quilombolas quanto à produtividade agrícola local, assim como suas opiniões quanto à possibilidade de utilização de biocarvão de lodo no solo.

Não se teve aqui a pretensão de, a partir de uma amostra estatisticamente representativa, observar a prevalência de opiniões na comunidade. Ao contrário, teve-se como finalidade ampliar e explorar as variedades dos pontos de vista dos quilombolas.

As entrevistas foram gravadas para que pudessem ser transcritas integralmente, com o auxílio do *software* gratuito “*TurboScribe*”. Após a transcrição, a qual foi realizada logo após as entrevistas, as gravações foram ouvidas para conferência da fidedignidade, sendo feitas as edições necessárias (Guazi, 2021). Neste processo, foram identificadas e corrigidas palavras transcritas de forma equivocada, a pontuação foi revisada para manter a correlação entre o que foi dito e o que foi transcrito, e alguns ajustes foram realizados de modo a preservar e valorizar a regionalidade. Por exemplo, o modo de falar foi transcrito exatamente como falado, ao invés de serem feitas correções com a escrita padrão da língua portuguesa. Isto é, expressões como “pelo enquanto” e “veneno brabo” foram transcritas sem modificações.

Os participantes da pesquisa foram identificados no texto como “Quilombola A”, “Quilombola B”, “Quilombola C” e assim por diante, sem menção a gênero ou faixa etária, a fim de assegurar o anonimato. Na transcrição, as partes incompreensíveis da gravação, causadas pela influência de ruídos ou voz muito baixa, foram representadas como “[inaudível]”. Quando os entrevistados davam ênfase em alguma parte de fala, utilizou-se “[ênfase]” na transcrição. Para mais, foi incluído entre parênteses, logo após alguns termos, complementos que deixassem o texto mais claro. Por exemplo, nos casos em que o recorte da fala ou a fala em si suprimiam o substantivo, este era adicionado ao texto para facilitar a compreensão. Em outros casos também foi adicionado o termo padrão da língua portuguesa após a utilização de alguns termos regionais específicos, trazendo mais clareza ao conteúdo da mensagem. Por fim, o texto formado pela transcrição integral das entrevistas formou o *corpus* da pesquisa.

2.3 ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA

O *corpus* da pesquisa foi analisado empregando o método “Análise Textual Discursiva”. A análise textual é uma abordagem qualitativa que contém aspectos tanto da análise de conteúdo como da análise do discurso (Moraes; Galiuzzi, 2006).

Partindo do pressuposto que um texto possibilita diversas significações, o processo de análise é elaborado a partir de um ciclo organizado, que demanda intensa imersão do autor, possibilitando a compreensão, descrição e interpretação desses possíveis significados (Moraes, 2003). Inicialmente, no processo de unitarização, houve uma desorganização proposital do texto, extraindo-se do *corpus* “unidades de análise” ou “unidades de significado”, atentando-se para a não descontextualização do fragmento. Ou seja, extraiu-se unidades com sentidos

pertinentes ao objetivo de pesquisa, porém, sem perder o sentido mais complexo do seu significado.

Em seguida, ocorreu o processo de categorização. Nessa etapa, as unidades pré-definidas após uma leitura cuidadosa e aprofundada foram comparadas e agrupadas entre si, com o propósito de formar categorias com elementos semelhantes. Segundo Moraes (2003), essas categorias constituíram a organização primária do texto final, as quais respondem as questões de pesquisa por meio da descrição e interpretações extraídas das entrevistas. Isto é, acredita-se que uma nova ordem somente pode ser estabelecida a partir de uma desordem inicial. Cabe destacar, no entanto, que essa nova ordem não compreendeu a retomada do *corpus* da pesquisa, mas sim a construção de um novo texto, originado a partir dessa amostra e fiel a ela. A última fase, portanto, foi a construção do texto discursivo, com reflexões orientadas ao objetivo da pesquisa. A sua validade e confiabilidade foi atestada a partir do rigor metodológico empregado e da inclusão recorrente de argumentos próprios dos entrevistados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA COMUNIDADE SERRA DA GUIA

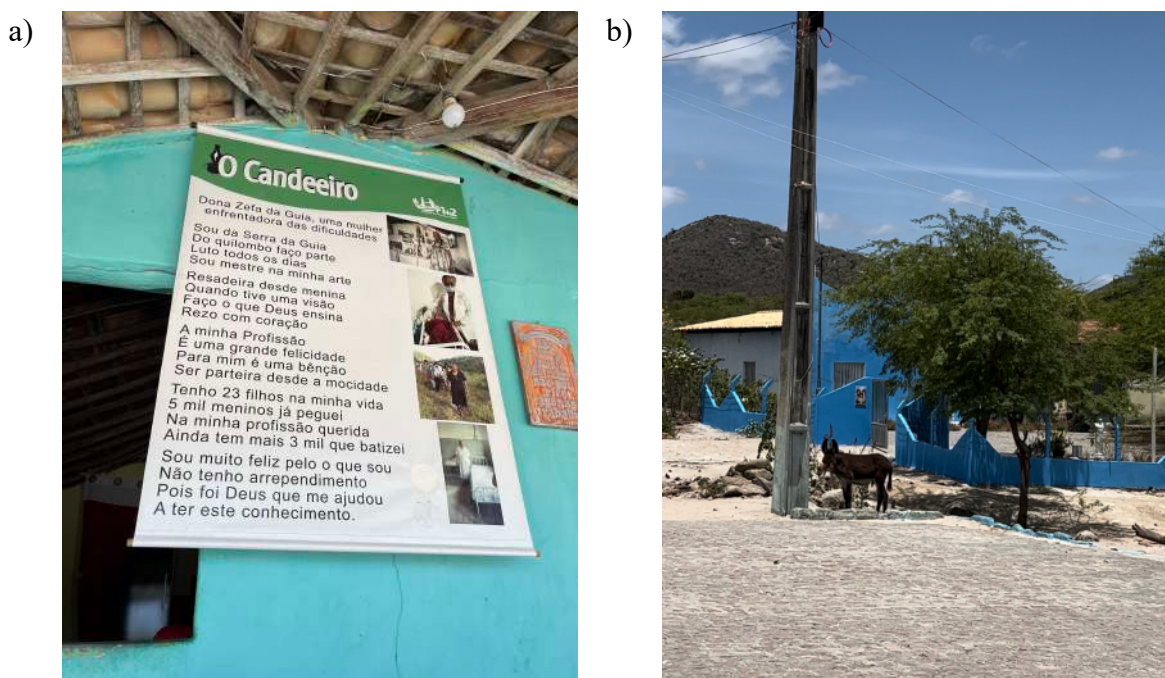
O reconhecimento oficial de Serra da Guia como comunidade remanescente de quilombo somente ocorreu no início do século XXI, em um contexto de valorização das identidades étnico-raciais impulsionado pela III Conferência Mundial da ONU contra o Racismo, em 2001 (Jesus et al., 2019). Em 2006, a Fundação Cultural Palmares concedeu a certificação da comunidade, viabilizando o acesso inicial a políticas públicas específicas (Frizero, 2016); enquanto a titulação territorial, respaldada por estudos históricos e antropológicos, foi consolidada pelo INCRA apenas em 2012, por meio de decreto de desapropriação (Tanezini, 2014). Dois marcos simbólicos foram considerados evidências históricas e culturais da presença quilombola no território de Serra da Guia: um cemitério com mais de 400 anos, localizado no topo da serra, e a Capela de São Clemente (Machado, 2011; Santos, 2022). Essa titulação representou uma conquista jurídica e simbólica fundamental, ao garantir a posse coletiva da terra, fortalecer a autonomia comunitária e reafirmar a identidade coletiva da comunidade (Feitosa, 2021).

No contexto do nordeste brasileiro, conflitos fundiários e ambientais são comuns, impulsionados por interesses associados ao agronegócio, à mineração e à implantação de grandes projetos de infraestrutura. Tais disputas afetam de forma desproporcional populações tradicionais, especialmente quilombolas e indígenas, evidenciando a dimensão étnico-racial dos conflitos e expondo problemas estruturais relacionados à demarcação de terras e à alteração do uso tradicional do solo (Lacerda; Silva, 2016). A comunidade de Serra da Guia, devido ao seu isolamento geográfico e distanciamento dos centros de decisão política, manteve-se relativamente preservada de confrontos mais intensos, ao contrário do quilombo Mocambo, localizado no município vizinho de Porto da Folha, que vivenciou disputas agrárias significativas (Tanezini, 2014).

Destaca-se que as mulheres negras quilombolas ocupam um papel central na preservação das tradições culturais de seus povos, assumindo funções de liderança e protagonismo social. De acordo com Santos (2022), sua atuação é fundamental na organização política e na manutenção da identidade coletiva das comunidades. Reconhecidas por processos internos de legitimação, essas mulheres exercem liderança ativa e são guardiãs da memória coletiva. Santos (2013) afirma que a liderança das mulheres em Serra da Guia é notada tanto no âmbito familiar como nos movimentos políticos. Um exemplo emblemático é Dona Zefa da Guia, nome pelo qual é conhecida Josefa Maria da Silva Santos.

Parteira, rezadeira, benzedeira e líder comunitária, Dona Zefa acumula mais de seis décadas de atuação, tendo realizado mais de cinco mil partos e se tornando uma referência nacional por sua trajetória de fé, resistência e empoderamento feminino (Frizero, 2016). O respeito dos integrantes da comunidade à Dona Zefa ficou evidente durante a realização das observações de campo, percebendo-se frequentes pedidos de bênção, cumprimentos e atitudes de acolhimento. A casa de Dona Zefa, situada próxima ao centro da associação comunitária, se revelou como um ponto de encontro, onde as pessoas se reúnem na varanda para conversar (Figura 28).

Figura 28 - a) Banner disposto na varanda da casa de dona Zefa da Guia; b) Sede da associação comunitária



Fontes: Autoria própria (2025)

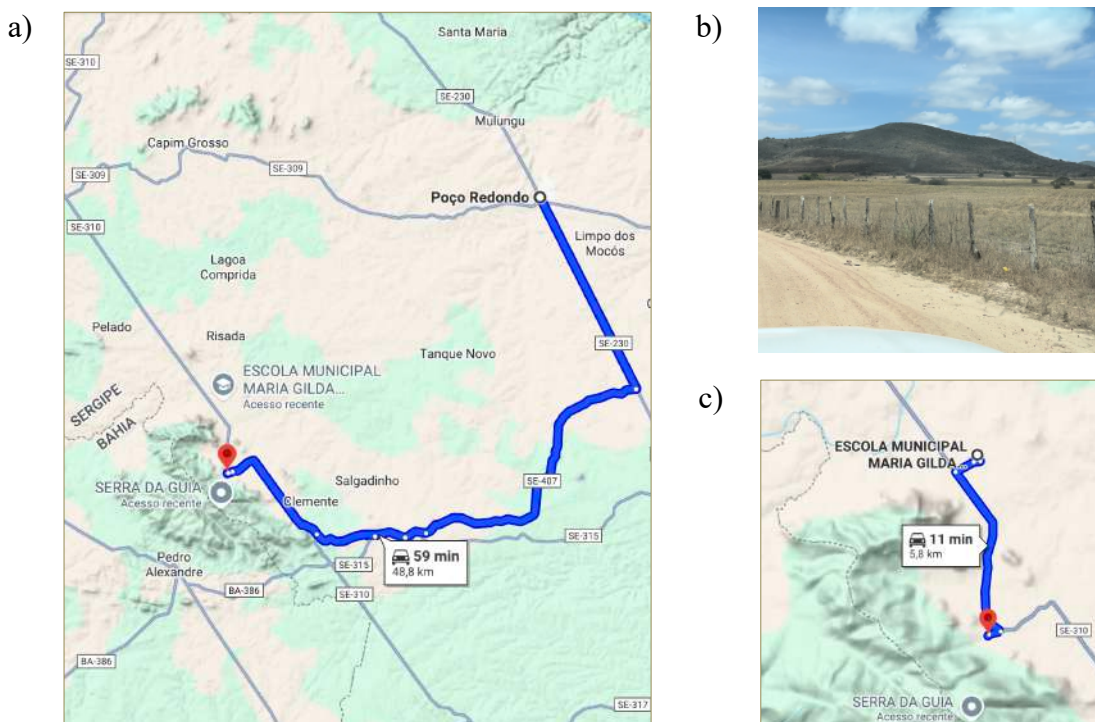
A história do quilombo Serra da Guia é contada por Dona Zefa como fruto da aliança entre pessoas escravizadas que, fugindo de fazendas onde sofriam maus-tratos, buscaram refúgio nas matas da região. Enfrentando dor, morte e resistência, esses fugitivos decidiram formar uma nova coletividade, baseada na solidariedade e na autonomia. O nome “Serra da Guia”, teria nascido do espírito de autocondução e resistência: *“Vamos se transformar por nós mesmos, vamos botar Serra da Guia, porque nós vamos se guiar por nós mesmos”* (“Zefa da Guia: Serra da Guia em Sergipe”, 2014). De acordo com Santos (2022), existem registros que indicam a presença de quilombolas nessas matas desde meados do século XVII.

Para mais, observa-se que a religiosidade assume um papel estruturante no cotidiano da comunidade. Práticas religiosas diversas coexistem no território, como o catolicismo, o espiritismo e religiões de matriz africana e indígena, com destaque para o Candomblé (Santos 2013; Frizero 2016). Tais expressões de fé são vivenciadas de modo integrado, articulando-se com saberes da medicina tradicional e reforçando vínculos com a ancestralidade, especialmente por meio do uso de ervas medicinais e do respeito à natureza (Lacerda, 2017). Elementos como musicalidade, dança e rituais espirituais se relacionam com o cuidado com a saúde e o fortalecimento das relações sociais. Essas experiências coletivas são fundamentadas na valorização do cuidado compartilhado, na autoestima e no respeito à diversidade religiosa e ambiental, funcionando como ferramentas de empoderamento individual e coletivo (Santos, 2022).

Por outro lado, as condições socioeconômicas da comunidade são marcadas por múltiplas vulnerabilidades. A infraestrutura no quilombo é extremamente precária, com ausência de saneamento básico e serviços básicos de saúde (Feitosa, 2021). O município de Poço Redondo, onde se insere a comunidade, apresenta um dos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) mais baixos do estado, apenas 0,529 (IBGE, 2023b). Ao mesmo tempo, a localização geográfica, distante das rodovias principais e dos centros urbanos, acentua o isolamento e as dificuldades de acesso a políticas públicas. Esse isolamento pode ser notado na Figura 28, na qual se observa que o acesso à comunidade é realizado por meio de estradas de terra de baixa qualidade, além de estarem a uma distância de aproximadamente 48,8 km do centro do município, em um percurso que dura aproximadamente 59 minutos de carro.

Durante as caminhadas transversais foi identificado a presença de um ônibus escolar que conduz os estudantes do quilombo à escola. Embora a escola da comunidade seja mais acessível, visto que se encontra a 5,8 km da comunidade (Figura 29), os desafios no âmbito da educação se revelam igualmente significativos. Santos (2013) alega que práticas pedagógicas marcadas por preconceitos e estereótipos racistas são predominantes na escola da região, dificultando o reconhecimento e a valorização da identidade quilombola. O autor defende que a escola tem falhado em promover uma educação verdadeiramente inclusiva. A ausência de uma proposta pedagógica voltada à realidade quilombola, aliada ao desconhecimento dos docentes sobre as especificidades culturais da comunidade, resulta em um processo educativo distante das necessidades do território. Nesse sentido, Lima e Lima (2021) reforçam a necessidade de uma educação formal libertadora, que reconheça os quilombolas como sujeitos históricos e coautores do processo educativo.

Figura 29 - a) Percurso entre o quilombo Serra da Guia e o centro de Poço Redondo/SE; b) Estrada (SE-407) que dá acesso à comunidade; c) Percurso entre o quilombo e a escola municipal Maria Gilda.



Fonte: a) e c) Google Maps (2025); b) Autoria própria (2025)

3.2 RELAÇÕES AGRICULTURA FAMILIAR - NATUREZA

Os quilombolas da comunidade Serra da Guia mantêm uma relação intrínseca com a terra, sendo a agricultura familiar voltada ao autoconsumo uma de suas principais estratégias de subsistência. Ao serem questionados sobre a importância dessa atividade em suas vidas, os entrevistados expressaram sentimentos profundos de pertencimento e valorização:

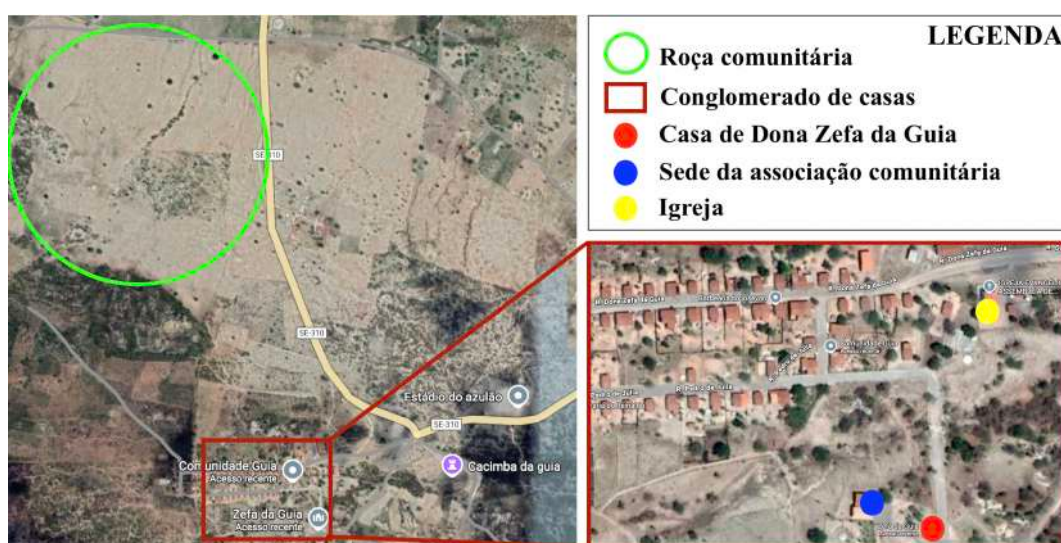
Quilombola B: É a melhor coisa do mundo pra nós aqui do interior.
 Quilombola O: É praticamente um modo de sobrevivência, né? Porque a pessoa planta e dali mesmo colhe pra comer.
 Quilombola H: A gente que quer alguma coisa, trabalha pra poder conseguir. E a gente só consegue por causa da agricultura.

Esta realidade se alinha com os dados apresentados no censo de 2022, no qual observa-se que 61,7% da população quilombola brasileira reside em áreas rurais, com base econômica centrada na agricultura de subsistência e no extrativismo, em contraste com a maioria da população do país, predominantemente urbana (IBGE, 2023a).

A prática agrícola desenvolvida na comunidade revelou uma dinâmica enraizada na cooperação e nos laços familiares, sendo majoritariamente realizada no âmbito familiar por pais, mães, filhos e avós, em roças de uso comunitário (Figura 30). Ainda que a terra seja

compartilhada, cada família delimita, de maneira informal, sua área de cultivo dentro da zona comum, utilizando piquetes e, sobretudo, baseando-se no bom senso, no respeito mútuo e na solidariedade. Essa organização demonstrou uma forte consciência coletiva, sem abrir mão da autonomia e responsabilidade individuais. Os depoimentos revelaram que o preparo da terra e o plantio são realizados por meio de mutirões, embora cada família seja responsável por seu próprio “pedaço”. A ausência de cercas ou divisórias físicas é um indicativo da confiança e da eficiência das normas estabelecidas socialmente.

Figura 30 - Localização da roça comunitária onde é realizado o plantio do feijão em relação à sede do quilombo Serra da Guia.



Fonte: Autoria própria, adaptado de *Google Maps* (2025)

Em relação aos meios de produção, os agricultores relataram que as atividades de plantio e colheita são predominantemente manuais. A comunidade conta com um trator de uso compartilhado para manejo e preparação do solo, além de carroças utilizadas para o transporte de alimentos. Os quilombolas associados alegaram que contribuem com o pagamento proporcional às horas de utilização de um trator, sendo esses recursos revertidos para sua manutenção, a qual é realizada pelos próprios agricultores. Apesar da importância desse recurso, eles apontaram que um único trator não é suficiente para atender à demanda da comunidade, motivo pelo qual demonstraram entusiasmo com a recente doação de um segundo veículo agrícola.

As principais culturas plantadas na região são feijão, milho e palma. Parte do milho e a palma são destinados à alimentação animal. Outras espécies como coentro, alface, abóbora, couve e melancia são plantadas pontualmente por alguns agricultores em quintais ou na roça

comunitária, com a inclusão de alguns pés isolados em meio ao plantio do milho e do feijão. A janela de plantio é bastante restrita, com duração média de aproximadamente três meses, em virtude da ausência de sistemas de irrigação. Assim, o plantio fica condicionado às chuvas, que geralmente são concentradas entre os meses de junho a agosto. Dados da Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (EMDAGRO, 2024) revelam que a precipitação média anual no município de Poço Redondo, entre 2000 e 2021, foi de apenas 387,8 mm.

O feijão, apesar de ser uma cultura sensível à escassez hídrica, ocupa lugar central na produção agrícola e na alimentação cotidiana da comunidade. Segundo Hara et al. (2022), trata-se de uma cultura de elevado valor nutricional e profundo enraizamento cultural, especialmente nas regiões norte e nordeste do Brasil, onde é base da agricultura de subsistência. Os depoimentos dos quilombolas reforçam a importância desse alimento: “*Feijão é de manhã cedo, meio-dia e de noite*” (quilombola Q), “*O feijão é o mais consumido*” (Quilombola N). Ademais, a produção própria do feijão é vista também como uma estratégia de defesa contra as oscilações de preços de mercado, conforme demonstrado no seguinte diálogo:

Quilombola N: Planta o feijão e fica o ano todinho, graças a Deus! Quando o feijão está lá no alto no mercado, aí a gente não compra [...] Quando o feijão chegou de R\$7,00, R\$8,00, que a gente chegava lá...”
 “Quilombola P: De R\$8,00 e R\$10,00 já chegou!”
 “Quilombola N: A gente passava lá e não comprava o feijão porque já tinha em casa.”
 “Quilombola P: Imagine quem tem muito filho?”

Além do feijão, o cultivo do milho também é amplamente valorizado pelos agricultores em função de sua versatilidade, sendo utilizado tanto para o consumo humano (*in natura* ou em preparações como o cuscuz), quanto na alimentação animal, especialmente de galinhas. A palma, por sua vez, é essencial para a nutrição do gado, especialmente nos períodos mais secos. Na comunidade existem ainda algumas árvores frutíferas, como cajueiros, coqueiros, laranjeiras, pés de acerola, manga, jenipapo e goiaba. No entanto, a diversidade de alimentos produzidos localmente não é suficiente para suprir integralmente as necessidades alimentares, o que exige a complementação da dieta com itens adquiridos em feiras livres e mercados.

A dependência por alimentos externos é percebida de forma negativa pelos quilombolas, tanto pelo custo elevado quanto pela qualidade duvidosa dos alimentos *in natura*, especialmente em relação à presença de agrotóxicos: “*Os (alimentos) que nós come que vem da feira, meu Deus do céu, é o veneno brabo!*” (Quilombola I)”. Essa preocupação reflete um alto grau de consciência ambiental e sanitária, evidenciando o desejo por uma alimentação livre de insumos químicos: “*O melhor mesmo é plantar sem estar botando nada [...] Porque, botando os*

produtos, tanto para saúde da gente, como das crianças da gente também não presta. Dá para a gente ter mais uma boa qualidade de vida produzindo assim, sem nenhum agrotóxico. (Quilombola P)”.

Apesar do desejo por autossuficiência, o contexto climático e socioeconômico impõe limites concretos à diversificação da produção. Além disso, os relatos dos agricultores indicam uma progressiva redução na diversidade das culturas plantadas ao longo dos anos. A mandioca, por exemplo, era anteriormente cultivada e processada em casas de farinha, mas foi abandonada devido à desativação dessas estruturas, sendo a produção reorientada em favor do feijão e do milho. Conforme Thomas (2016), a mandioca é um alimento fundamental do ponto de vista nutricional e cultural, que possui alta tolerância a solos pobres e seca prolongada. Ainda assim, os agricultores se mostraram desmotivados a continuar o cultivo da mandioca em virtude da falta de infraestrutura para o seu processamento.

O cenário de redução das espécies cultivadas em comunidades tradicionais não é exclusivo de Serra da Guia. Ferreira-Alves e Santos-Fita (2023), ao estudarem o quilombo de Santa Luzia do Pará, identificaram um cenário parecido, atribuindo as causas a fatores como a escassez de mão de obra local e a crescente preferência por alimentos de preparo rápido. Canepelle et al. (2018) observaram fenômeno semelhante no município de Crissiumal, no Rio Grande do Sul, indicando uma tendência de transformação dos hábitos agrícolas em comunidades tradicionais, que passam a priorizar o plantio de culturas alimentares de consumo primário, em detrimento de uma maior agrobiodiversidade. Ademais, os autores destacam o impacto da expansão do agronegócio e dos monopólios do setor agrícola como fatores que comprometem a produção local e a soberania alimentar dessas populações.

No que se refere ao manejo da terra, os quilombolas manifestaram resistência expressiva ao uso de produtos químicos, preferindo alternativas mais sustentáveis. Para melhorar a qualidade do solo, eles afirmaram recorrer principalmente ao uso de adubos orgânicos, como o esterco bovino, especialmente no cultivo da palma. No caso do milho e do feijão, o uso de esterco é evitado, sob a justificativa de que ele eleva excessivamente a temperatura do solo, o que comprometeria o desenvolvimento dessas culturas. Os quilombolas enfatizaram que os adubos comerciais são utilizados esporadicamente, devido aos altos custos, à suspeita de contaminação por agrotóxicos e à incerteza sobre sua eficácia a longo prazo. Percebe-se, portanto, uma consciência agroecológica no quilombo, com saberes importantes no cuidado com as plantas e respeito a terra.

Quanto ao controle de pragas, os agricultores declararam que não enfrentam grandes dificuldades. O problema mais comum é a presença ocasional de lagartas, que não chega a

comprometer a produção: “*Se der lagarta, não vai botar nada para combater a lagarta. O que der, deu, o que não der, também não usa nada (Quilombola N)*”. Além disso, práticas espirituais, como simpatias, são empregadas no controle das pragas, evidenciando a conexão religiosidade-natureza no combate às adversidades:

Quilombola R: O meu pai mesmo, ele pega uma caixa de fósforo, pega as largatinha, enche, e coisa lá na roça e... acaba.

Quilombola P: É tipo simpatia, entendeu?

Quilombola R: É, simpatia. Pega a caixinha e coloca...

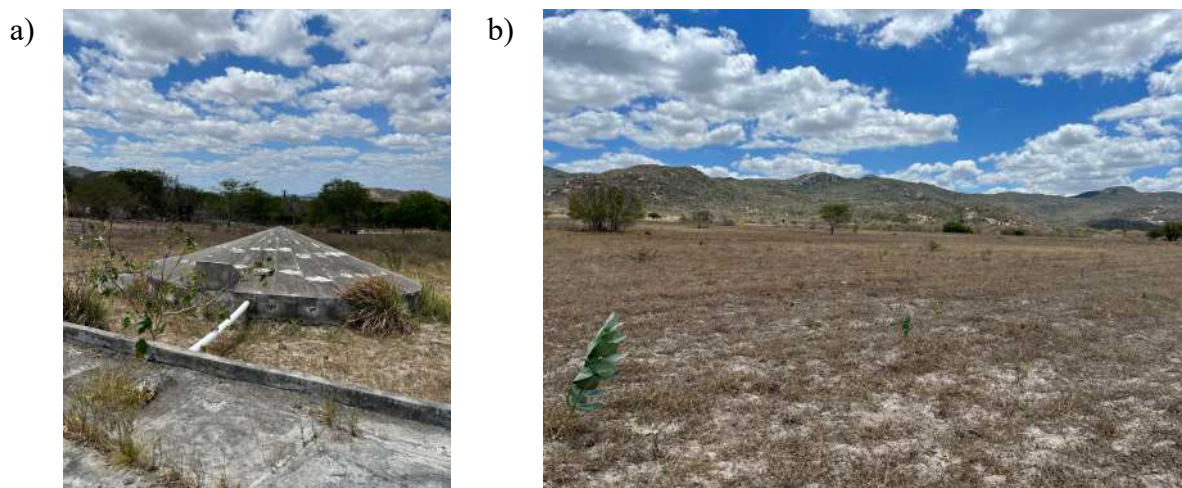
Quilombola O: Aí vai se embora elas (lagartas).

Quilombola P: Dificilmente a roça acaba por causa de lagarta, dessas coisas. Só come umas folhinhas e pronto. No feijão dá, limpa, está bom. Já tem pra comer.

3.3 PRINCIPAIS DESAFIOS NO QUILOMBO

Os quilombolas de Serra da Guia identificaram a escassez de recursos hídricos como o principal desafio enfrentado cotidianamente. A gravidade da situação é expressa em depoimentos como: “*É contada a água aqui*” (Quilombola N) e “*A dificuldade daqui hoje primeiramente se chama água*” (Quilombola G). Não há água encanada na comunidade. A principal fonte de abastecimento são cisternas, que captam água das chuvas (Figura 31).

Figura 31 - a) Cisterna utilizada no armazenamento de água para consumo próprio; b) Roça comunitária no período de estiagem.



Fonte: Autoria própria (2025)

Essa reserva, no entanto, é insuficiente ao longo do ano, sendo necessário complementar o suprimento por meio de carros-pipa. Embora alguns caminhões sejam enviados por instituições públicas, como o Exército e, eventualmente, a Defesa Civil, o fornecimento é irregular e insuficiente, conforme relatou um morador: “*Cinco carradas (de carro-pipa) por*

mês por ponto não dá pra combater (suprir) nem 5% da população da comunidade. Só que é um critério em contrato deles, né? A gente tem que receber o que eles determinam” (Quilombola G). Diante dessa precariedade, muitos moradores se veem obrigados a adquirir água com recursos próprios.

A gestão da água disponível impõe à comunidade uma rotina de constante vigilância e preocupação, o que tem levado os quilombolas a adotarem estratégias de economia e reaproveitamento. Uma agricultora, por exemplo, relatou utilizar a água residuária proveniente da lavagem de utensílios domésticos para irrigação de plantas cultivadas em seu quintal. Ainda, de acordo com um dos líderes comunitários, existe a possibilidade de captação de água por meio de poços. No entanto, a elevada salinidade da água subterrânea a torna imprópria para o consumo humano. O mesmo líder explicou que, anteriormente, um sistema de dessalinização foi utilizado com sucesso, mas se encontra inoperante devido à quebra da bomba e à impossibilidade financeira de substituir as membranas filtrantes.

A nossa água aqui dá acima de 100% sal, se cavar um pouco nesta região. E para você ampliar hoje no sanalizador (dessalinizador) para água doce, tem que ter um recurso mais ou menos na média de cinquenta a cem mil reais. O poço aqui que tem bastante água, eu capturo do poço quinze mil litros de água por hora. Dos quinze mil litros de água, eu consigo fazer só cinco mil litros de água potável [...] Eu tenho que fazer lavagem nas membranas depois para fazer o processo. Se eu fazer três operações e não lavar, o salito gruda tudo e perde. Só as membranas que eu tenho lá, são quatro membranas, vai ficar em torno de quase 40 mil reais. (Quilombola G)

A criação do Programa Água Doce (PAD), em 2004, constituiu uma estratégia do Governo Federal para garantir a segurança hídrica de comunidades rurais do semiárido brasileiro, mediante a instalação de sistemas de dessalinização e a capacitação técnica das populações locais para sua operação (MIDR, 2025). No entanto, conforme a análise de Ferreira et al. (2025) sobre a eficácia do programa em uma comunidade alagoana, limitações técnicas e operacionais significativas são persistentes. Entre os principais entraves, destacam-se o elevado consumo energético associado ao bombeamento e à dessalinização da água, o que torna o sistema oneroso e com necessidade constante de manutenção. Assim sendo, os autores reforçam a importância do fortalecimento das políticas públicas por meio de maior apoio técnico e financeiro. Isso inclui investimentos contínuos na manutenção e conservação dos equipamentos, além de monitoramento sistemático e articulação institucional com os entes municipais.

Tais fragilidades também se manifestaram na comunidade de Serra da Guia, visto que a ausência de suporte técnico-financeiro comprometeu a funcionalidade do sistema de dessalinização anteriormente implementado. Para mais, conforme relato do quilombola, mesmo durante o período de pleno funcionamento, a eficiência do sistema era limitada, convertendo-se apenas cerca de um terço da água bruta captada em água potável. Desse modo, chama-se atenção para o fato de que essa eficiência operacional restrita deve ser relevante no planejamento de políticas públicas voltadas à segurança hídrica da localidade.

Adicionalmente, ressalta-se que a escassez de água compromete não apenas o abastecimento humano, mas inviabiliza também a irrigação regular, elemento essencial à prática agrícola. A produção local, assim, torna-se altamente dependente das condições climáticas, as quais não favorecem a estabilidade da agricultura familiar. Os longos períodos de estiagem e as altas temperaturas são apontados pelos agricultores como os principais limitadores da produtividade, observando-se também um agravamento deste cenário nos últimos anos: “(A chuva) diminuiu 50% [...] Hoje, quando cai lá pra o mês de agosto, às vezes, quando o feijão já está soltando a flor para colher, a vagem já pega sol. Pegou sol, já perdeu. Três dias de sol é o suficiente já para você perder 50% da lavoura” (Quilombola G). Consequentemente, essas incertezas têm levado os agricultores a plantarem culturas que eles consideram mais adaptáveis à essas condições e que, ao mesmo tempo, possuem maior capacidade de armazenamento ao longo do ano, como o feijão e o milho.

Quando questionados sobre o destino dos alimentos produzidos, os agricultores relataram que a produção é apenas para autoconsumo, mesmo quando se tem boas safras. A comercialização dos alimentos é impraticável, dado o baixo poder de negociação e a ausência de mercados consumidores nas proximidades, como explica um agricultor:

A gente tinha uma boa safra de algodão, mas o despachamento para ir para fora também, hoje a gente já não acha mais [...] Lá para fora é muito combinado o preço, porque lá tem a quem vender, né? Tem as indústrias e tal que compra. Nós aqui, se plantar, dá muito também, mas só que a gente não tem a quem vender. (Quilombola I)

Nesta perspectiva, o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) configura-se como uma alternativa de inserção comercial para a produção local. Integrado ao Programa Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (PNSAN), o PNAE tem como objetivo combater a fome por meio da aquisição de alimentos saudáveis e diversificados oriundos da agricultura familiar, os quais são destinados à alimentação escolar (Frizero, 2016). De acordo com a Lei nº 11.947/2009, art. 14, ao menos 30% dos recursos do Fundo Nacional de

Desenvolvimento da Educação (FNDE) devem ser destinados à compra direta de alimentos da agricultura familiar, com prioridade para assentamentos da reforma agrária, comunidades indígenas e quilombolas (BRASIL, 2009).

A inclusão dos agricultores de Serra da Guia no PNAE poderia contribuir para o incremento da renda local e para o fortalecimento da agricultura familiar. No entanto, para garantir o fornecimento regular de alimentos ao longo do ano, seria indispensável assegurar condições mínimas para a produção contínua de alimentos, sobretudo por meio da viabilização de fontes de irrigação, que permitiriam a ampliação da diversidade agrícola e maior previsibilidade produtiva.

Além disso, é importante enfatizar que a execução do PNAE também deve ser uma forma de valorizar e perpetuar a culinária quilombola, ao invés de ser apenas um incentivo à melhoria de renda. Estudos demonstram que a execução do programa tem falhado quanto a isso em algumas comunidades. Sousa et al. (2022) apontam, por exemplo, um distanciamento entre os quilombolas de Pacoval/Pará e os representantes governamentais na gestão do programa, resultando em problemas como dieta incompatível com a cultura quilombola e baixa participação dos agricultores familiares em organizações coletivas. Correa, Cardoso e Silva (2020) alertam para o mesmo problema na comunidade Umarizal/Pará, reportando presença considerável de alimentos industrializados na merenda escolar e descaso quanto à escolha dos alimentos oferecidos, resultando na insatisfação dos estudantes.

Nesse interim, o Governo Federal, por meio do FNDE, tem disponibilizado cursos à distância (Curso Alimentação Escolar Indígena e Quilombola) com o propósito de capacitar nutricionistas sobre oportunidades e estratégias para adequação qualitativa dos cardápios escolares em comunidades tradicionais. Com isso, espera-se que as escolas ofereçam alimentos que não só considerem as necessidades nutricionais, mas também respeitem os hábitos alimentares, pautando-se na sustentabilidade, sazonalidades e agrobiodiversidade da região (FNDE, 2024). Todavia, alerta-se sobre a necessidade de investigar e fiscalizar sobre a real aplicação de tais diretrizes, de modo a garantir que essas políticas estejam, de fato, alcançando os objetivos propostos.

Outro fator importante a se considerar no atual contexto de globalização, no qual as pessoas estão altamente conectadas por redes sociais, é a tendência de homogeneização dos hábitos, inclusive os alimentares, e riscos à perda gradativa de costumes e tradições por vezes construídos em processos históricos seculares. O domínio do capital frente a esse panorama tem levado a mudanças nas preferências alimentares em comunidades tradicionais, especialmente entre os jovens e crianças. À vista disto, observa-se um cenário de desestímulo à produção

diversificada de alimentos, comprometendo a segurança e soberania alimentar dessas populações. Tudo isso é ainda motivado pela propagação e facilidade de acesso a alimentos industrializados, os quais são de fácil manipulação e preparo rápido (Ferreira-Alves; Santos-Fita, 2023).

Esta tendência também é observada em Serra da Guia. Muito embora os principais entraves identificados quanto à produção agrônômica sejam o calor excessivo e a falta de água, notou-se que a pouca variedade na escolha das culturas plantadas também é influenciada por esses aspectos. A insuficiência agrícola para o autoconsumo, que os obrigam a irem a mercados, juntamente com as dificuldades financeiras, induzem os quilombolas a optarem por alimentos mais baratos, como os ultraprocessados. Paralelo a isso, existe uma tendência de preferência por esses alimentos, visto que são muito palatáveis e ricos em sódio, gordura e açúcares, aumentando o risco de desenvolverem doenças crônicas (Santos et al., 2023).

A partir de um levantamento realizado em 140 quilombos, distribuídos em 11 estados brasileiros, Borges e Kimura (2023) identificaram que, em média, 32,1% dessa população é hipertensa. Além do mais, de acordo com Paiva et al. (2022), observa-se um aumento do sobrepeso, obesidade e outros elementos associados ao maior risco de doenças cardiovasculares em comunidades remanescentes de quilombo, decorrente das mudanças nos hábitos alimentares. A maior prevalência desses fatores é percebida em mulheres e em quilombos menos afastados. Cabe destacar, entretanto, que a influência do estilo de vida urbano é generalizada, não ficando restrita aos quilombos urbanos e/ou adjacentes às cidades, mas atingindo, inclusive, as comunidades mais isoladas.

No tocante à questão financeira, os relatos dos quilombolas revelaram uma alta dependência de programas sociais, principalmente o Bolsa Família e o Garantia Safra:

Quilombola G: Na verdade, esses programas (Bolsa Família e Garantia Safra), se não fossem eles, praticamente a maioria aqui não sobrevivia, né?

Quilombola P: Se não fosse o Bolsa Família todo mundo já estava era morto. Não sabia nem onde estava.

Quilombola R: Não tenho emprego. Não tem do que viver... Acaba só o Bolsa Família mesmo.

O Bolsa Família é um programa federal de transferência de renda importante para o combate à fome no Brasil. De acordo com a principal regra atual, para ter direito ao benefício, a renda mensal de cada pessoa da família não pode ser maior que R\$ 218. O valor total transferido para cada família varia conforme a sua situação, com valor mínimo de R\$ 600 por família e alguns adicionais por criança, adolescente, gestantes e nutrízes (MDS, 2025b). Já o Garantia Safra é um auxílio financeiro do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura

Familiar (PRONAF), o qual se propõe a garantir condições mínimas de sobrevivência aos agricultores familiares que enfrentam perdas severas de safra em decorrência de fenômenos climáticos (BRASIL, 2025).

É evidente, portanto, o caráter indispensável dessas políticas públicas para assegurar um cotidiano minimamente digno no quilombo Serra da Guia. Primordialmente, averiguou-se que a dependência do auxílio estatal na comunidade advém de duas principais razões: a) severas adversidades climáticas e escassez hídrica, que impõem enormes desafios aos agricultores familiares, fazendo-os reféns de períodos muito limitados para o plantio; b) isolamento geográfico da comunidade, que limita as oportunidades de emprego alternativas à agricultura, fazendo com que os quilombolas precisem migrar do quilombo caso almejem diferentes condições de vida.

Finalmente, os agricultores mencionaram receber apoio ocasional de órgãos estaduais, ainda que, frequentemente, inadequado à realidade local. Um exemplo disso é a entrega de sementes, que são doadas de forma descontínua e com atrasos. Alguns agricultores relataram ter passado por grandes dificuldades à espera de sementes, pois embora tenham preparado o solo no momento adequado, o plantio só pode ser realizado cerca de um a dois meses depois de ter iniciado o período de chuvas, o que inviabilizou toda a produção. Diante disso, eles argumentam que a única forma de obter sucesso na colheita é por meio da aquisição de sementes com recursos próprios. Não obstante, alguns agricultores se demonstraram satisfeitos com o apoio fornecido pela EMDAGRO/SE, destacando a participação de seus representantes nas reuniões da associação comunitária e a assistência técnica fornecida no que concerne às questões burocráticas, como com a renovação de cadastros visando a manutenção do Garantia Safra.

3.4 PROSPECÇÕES DA COMUNIDADE

O olhar para o futuro no contexto da agricultura familiar em Serra da Guia, diferentemente dos aspectos discutidos anteriormente, expôs uma maior diversidade de opiniões, sobretudo quanto à expectativa do aumento e diversificação da produção. Alguns agricultores se mostraram empenhados com a prática e interessados em plantar outras culturas, a exemplo de hortaliças (alface, tomate, coentro, etc). Boa parte desse interesse foi atribuído ao desejo por autossuficiência e pelo consumo de alimentos livres de agrotóxicos. Entretanto, mesmos os agricultores mais entusiasmados enfatizaram que essa autonomia, embora possível, é improvável, caso as principais adversidades não sejam superadas.

Quilombola I: Na cabeça da gente a gente pensa muita coisa boa. É porque é difícil de chegar lá, né? Mas a gente pensa em crescer. Não ficar atrasado. Aumentar, cada vez mais, avançar [...] Isso (apoio) é muito importante porque nós precisamos muito dessa ajuda. Em tudo, um reforço pra pessoa, né? Pra ter mais potencial para trabalhar [...] Se a gente tivesse uma produção dessa, bem avançada, nós não sairíamos mais para a feira. Nós ía comer uma coisa que não ía se dar mal. Por isso todo mundo vai morrendo com câncer, por causa desses veneno brabo. Se nós tivesse uma perna do rio, dava uma irrigação mais linda do mundo aqui, e saudável e sadia.

Enquanto isso, outros quilombolas exibiram desencantamento com o futuro agrícola: *“Eu acho assim, que o problema, do que do jeito que o sol vai, a tendência é só piorar”* (Quilombola N); *“Mas só dá (para plantar) quando Deus manda a chuva mesmo que dá”* (Quilombola P). A desmotivação de um agricultor idoso ao trabalhar na roça foi atribuída às dificuldades físicas impostas pela idade avançada e à descrença quanto ao recebimento de apoios mais efetivos ou melhorias das condições climáticas. Nas prospecções, a religiosidade também é manifestada: *“Confiar em Deus e... Colher”* (Quilombola B); *“Bota a roça, mesmo que perca, porque no inverno a chuvinha é pouca, mas todo mundo está com aquela fé, fé naquela roça”* (Quilombola I).

Situação semelhante é observada no quilombo Tabacaria, em Alagoas. Morais e Magalhães (2020) revelam que, nesta comunidade, a precariedade das habitações associada à falta de oportunidades de trabalho e geração de renda, baixa valorização da cultura afrodescendente e produção agrícola restrita devido à carência de água, resultam em um contexto desanimador à estadia no campo. Sob outra perspectiva, Silva e Gonçalves (2020) relatam a dinâmica dos processos migratórios temporários dos quilombolas de Lagoas/Piauí, os quais são impulsionados pelas dificuldades de sobrevivência da agricultura familiar no ambiente climaticamente hostil do semiárido nordestino. Os autores defendem que esses processos se configuram como ações de “r-existência”, ao invés de sugerirem a decadência dessas comunidades, visto que representam uma forma de ressignificação, tendo como finalidade raiz a defesa e permanência do território originário.

Outro ponto de reflexão relevante sinalizado pelos quilombolas de Serra da Guia, no que tange as prospecções da agricultura familiar na comunidade, é o desinteresse das novas gerações em trabalhar na roça. Os agricultores atribuíram essa renúncia, em parte, ao modelo de educação conferido aos jovens e às crianças nos últimos anos, quando o ensino passou a ser obrigatório e, muitas vezes, em tempo integral. Eles argumentaram que a permanência prolongada desses jovens e crianças nas escolas os impede de ter um contato ativo com a agricultura e de se conectar com o campo, além de que, essas práticas não são ensinadas nas escolas. Alguns desses relatos são exemplificados a seguir:

Quilombola N: Desde pequena eu já ia pra roça. Mesmo sem saber, mas eu já comecei a aprender...

Quilombola A: A minha menina estuda o dia todo.

Quilombola B: Os mais velhos tudo trabalhava, né? (quando criança/jovem). Então, eu mesmo aprendi com o pessoal mesmo, dentro de casa mesmo [...] Não vou dizer que (os jovens) estão bem se destacando pra o lado de roça não. Eles ficam pela aqui mesmo. Eles acham que a roça trabalha muito [...] Uma coisa que eu pra mim mesmo acho muito desusado. Porque, sabe? Você não aprende trabalho de pequeno, aí depois de grande vai querer trabalhar? Aí vão partir pra emprego se achar, futuramente... Em firma, por aqui e acolá. É por isso que hoje em dia a roça, os mais novos, é poucos, [ênfase] POUCOS que se lembram de tá na roça.

A legislação brasileira de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB - Lei nº 9.394/96) estabelece que a educação é um dever da família e do Estado. Desde 2013, constituiu-se a obrigatoriedade da matrícula das crianças na educação básica a partir dos quatro anos de idade. O Estado deve assegurar atendimento educacional de pelo menos quatro horas diárias para o turno parcial e de sete horas para a jornada integral, exigindo, inclusive, frequência mínima de 60% (BRASIL, 1996).

De acordo com um estudo realizado na escola que atende a comunidade, apenas iniciativas pontuais são percebidas nas salas de aula no sentido de refletir sobre a influência de culturas externas, com ausência de abordagens pedagógicas conectadas com a realidade local (Santos, 2013). Diante desse cenário, os agricultores mais experientes lamentam a percepção de distanciamento entre a geração atual e os costumes tradicionais da agricultura familiar. Nesse ponto, cabe reforçar a importância da inclusão de estratégias de ensino mais integradoras, que valorizem e contribuam para a perpetuação dos saberes tradicionais, promovendo um maior engajamento das novas gerações e fortalecendo sua conexão com o campo.

Refletindo sobre as falas dos agricultores, e com base nas observações de campo, suspeita-se também que a crescente conectividade virtual, de maneira especial às mídias sociais, pode estar contribuindo para esse cenário. Isso se deve, possivelmente, ao vislumbre de crianças e jovens com o modo de vida urbano e suas potenciais facilidades e/ou oportunidades, levando-os a crer que a migração para os centros urbanos proporcionará melhores condições de vida. À vista disso, entende-se como natural que tais prospecções sejam almejadas, especialmente quando se está inserido em um contexto de amplas vulnerabilidades. Outra hipótese é que esse desinteresse esteja relacionado à percepção dos enormes desafios agrícolas frente ao clima extremamente desfavorável. Isto é, em um cenário no qual houvesse maior oferta de água, com melhores condições para a agricultura, talvez as prospecções fossem mais favoráveis à permanência no quilombo.

Em contrapartida, alguns autores destacam a inserção quilombola nos espaços virtuais sob uma perspectiva otimista. Veloso e Andrade (2021) alegam que a participação ativa de quilombolas nesses ambientes é uma forma de reconstruir narrativas, quebrar estereótipos e aumentar o engajamento e debates no combate ao racismo. Djankaw Kilombola é um exemplo admirável dessa representatividade. Travesti negra, ativista quilombola, pedagoga e artista performática, as postagens de Djankaw valorizam sua ancestralidade e perpetuam sua cultura, saberes e tradições (Marques; Camargo, 2020). Segundo os autores:

As performances de Djankaw na internet instigam um debate produtivo sobre a identidade Afro-brasileira ‘quilombola’ e ressoam com as lutas dos grupos marginalizados pela ocupação de diversos tempo-espacos no interior do Brasil. As postagens de Djankaw e suas práticas corpóreas operam como sítios propícios ao questionamento sobre o que significa ser negra, trans e quilombola. A complexidade das posições de sujeito de Djankaw é aumentada por sua conexão com diferentes religiões; ela incorpora diferentes práticas espirituais que também orquestram discussões sobre raça, sexualidade e gênero (Marques e Carmago, 2020, p. 1946).

3.5 OPORTUNIDADES COM O BIOCARVÃO DE LODO NA AGRICULTURA

Quando questionados sobre as impressões acerca do biocarvão de lodo, os quilombolas demonstraram curiosidade e entusiasmo. A princípio desconfiou-se que poderia haver uma resistência quanto ao seu uso, por ser um produto derivado do tratamento de esgoto. Porém, nenhum agricultor demonstrou ter receio em utilizar o biocarvão de lodo. Muito pelo contrário, eles inteligentemente associaram a sua funcionalidade à do esterco bovino, amplamente valorizado na comunidade.

Um elevado grau de conscientização ambiental foi observado no tocante aos benefícios oriundos do aproveitamento e valorização do lodo. A única ressalva dos agricultores foi com relação à possível presença de pesticidas no biocarvão, conforme pode ser observado nos relatos a seguir:

Quilombola B: Nada (não tem receio de usar), que ninguém tem a ver com isso nada. Bom, a gente não usa o adubo (esterco)? Se usa adubo... Se for bom (o biocarvão de lodo), a gente tem que usar também.

Quilombola C: A gente gostaria de usar pra ver.

Quilombola A: Meu medo que faz é os venenos que as vezes botam nas coisas, mata lagarta, essas coisas.

Quilombola I: Se a gente pudesse recolher (os nutrientes do esgoto) para fazer o intermediário, e outra coisa melhor para a gente era bom. Vai tudo para o esgoto, pra gente é um consumo perdido que está lá. Eu vejo muitas casas, quando eu passo ali, jorrando água assim, cheinho. Se pudesse aproveitar de voltar, entendeu? Mas não tem como.

Quilombola P: Eu também não teria não (receio de usar), porque o nome em si... Não significa que, por causa daquele nome, que seja uma coisa que afeta (prejudica), né?

É importante ressaltar também o conhecimento prévio dos agricultores sobre os benefícios da adição de materiais carbonáceos no solo. *“Porque como é biocarvão, carvão a gente já sabe que é uma coisa que ativa muitas coisas, os nutrientes, essas coisas, entendeu? Acho que não teria problema não (usar o biocarvão), eu por mim não.”* (Quilombola P). Tal saber eventualmente provém de conhecimentos perpetuados por populações tradicionais. Por exemplo, a carbonização de compostos orgânicos enterrados, com consequente beneficiamento do solo, é uma técnica antiga amplamente reconhecida em comunidades tradicionais da região amazônica. Popularmente chamadas de “Terra Preta de Índio (TPI)” ou “Terra Preta Arqueológica (TPA)”, essas terras compreendem regiões com manchas de solo de cor escura e elevada fertilidade, as quais surgiram como consequência da ocupação prolongada de povos pré-colombianos que se utilizavam dessa técnica (Oliveira et al., 2020; Sousa et al., 2020).

Para mais, a preocupação dos quilombolas quanto à possível existência de produtos tóxicos no biocarvão de lodo também é pertinente. O teor de pesticidas (agrotóxicos, inseticidas, fungicidas, etc) no esgoto e no lodo tem apresentado aumento significativo nos últimos anos, assim como o de outros contaminantes, a exemplo de fármacos, metais pesados e microplásticos. Esse crescimento é atribuído a diversos fatores, entre os quais se destacam: a) rápido crescimento populacional, b) uso excessivo e indiscriminado de agrotóxicos, medicamentos e cosméticos, c) alta persistência dessas substâncias em meio aquoso, o que favorece sua solubilização e transporte a longas distâncias, e d) insuficiência dos sistemas convencionais de tratamento de esgoto para remover tais compostos (Chaturvedi et al., 2021; Lekše et al., 2024).

Entretanto, uma forma sustentável de enfrentar esse problema é fazendo a conversão do lodo em biocarvão. Barbosa et al. (2024) revelaram, por exemplo, que a pirólise do lodo em temperaturas acima de 400 °C é suficiente para degradar pesticidas e poluentes orgânicos, além de contribuir para a imobilização de metais pesados. As pesquisas também têm demonstrado que é mais seguro e sustentável utilizar o biocarvão de lodo ao invés do lodo *in natura* em virtude de sua maior estabilidade e capacidade de sequestrar carbono, atuando na mitigação do aquecimento global e possibilitando uma redução de 80% do volume de material a ser transportado (Goldan et al., 2022; Huang; Mohamed; Li, 2022; Wang et al., 2019). Outra questão é a desinfecção do lodo, provocada pelas altas temperaturas, que tornam o seu manuseio mais seguro do ponto de vista sanitário (CONAMA, 2020).

As pesquisas ratificam que o biocarvão de lodo tem potencial para melhorar a fertilidade de solos, com liberação gradual de matéria orgânica e nutrientes essenciais para a agricultura, além de contribuir para maior atividade microbiana, estruturação física e maior capacidade de

retenção hídrica (Börjesson; Kätterer, 2018; Ghorbani et al., 2022b; Racek et al., 2020; Zhang et al., 2022). Tais funcionalidades são importantes no contexto de Serra da Guia, uma vez que o estresse hídrico é a principal queixa da comunidade e estes praticam a agricultura familiar sob uma perspectiva agroecológica.

Complementarmente, estudos indicam que a aplicação de biocarvão em regiões semiáridas pode melhorar a qualidade das plantas, especialmente quando integrada a outros fertilizantes orgânicos. Por exemplo, Thapa et al. (2024) observaram que a aplicação conjunta de biocarvão e esterco aumentou significativamente a biomassa de gramíneas, com incrementos de até 101%. Além disso, melhorou o teor de matéria orgânica do solo e a capacidade de troca catiônica, favorecendo a retenção de umidade e nutrientes em áreas que dependem exclusivamente da água da chuva para seu crescimento. Masazumi et al. (2019) constataram que o biocarvão tem potencial para aumentar a sobrevivência de mudas em condições áridas, promovendo a colonização de fungos no solo mesmo durante períodos de déficit hídrico, sugerindo que a aplicação de biocarvão pode desempenhar um papel de apoio importante em ações de revegetação e restauração de paisagens semiáridas degradadas.

Em uma última análise, é decisivo ressaltar que a viabilidade econômica do biocarvão depende, em grande parte, das taxas de aplicação, do contexto regional e da eficiência da produção, com perspectivas de relação custo-benefício favorável e alto retorno financeiro, especialmente quando os créditos de carbono são considerados (Patel; Panwar, 2024). Entretanto, Latawiec et al. (2019) apontam que os elevados custos de produção, mão de obra e transporte, podem representar empecilhos econômicos significativos no contexto da agricultura familiar.

Em Serra da Guia, embora a produção de biocarvão a partir do lodo seja uma alternativa tecnológica inovadora e promissora, a sua implementação dependerá de subsídios e apoio tecnológico. Primeiramente, porque a comunidade não possui autossuficiência financeira, convivendo com enormes desafios relativos aos aspectos básicos de sobrevivência. Em segundo lugar, não há nenhum sistema de coleta de esgoto que permita a produção de lodo no próprio quilombo. Logo, superar essas barreiras exigirá medidas políticas específicas e assistência técnica, que poderiam ser integradas a iniciativas públicas já existentes, como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF).

Além disso, sugere-se que o biocarvão de lodo seja produzido pelas companhias de saneamento, visto que o lodo é continuamente gerado nas estações de tratamento e seu gerenciamento inadequado se traduz em sérios riscos socioambientais (Andreoli; Von Sperling; Fernandes, 2014). A lei nº 14.026/2020, que atualizou o novo marco legal do saneamento

básico, prevê a possibilidade de concessão dos serviços de saneamento à iniciativa privada (BRASIL, 2020). Nesse sentido, evidencia-se o caráter intrínseco da responsabilidade social na prestação desses serviços, que podem ser de grande relevância não apenas do ponto de vista sanitário, mas também no que se refere ao desenvolvimento agrônomo, à valorização do saber quilombola e ao enfrentamento de suas vulnerabilidades.

Dessa forma, compreende-se que a produção do biocarvão de lodo pode ser uma maneira de agregar valor a este resíduo, com benefícios às companhias, ao mesmo tempo em que se alinha às práticas e saberes do quilombo, configurando-se como uma alternativa sustentável. Tais colaborações também poderiam se estender à outras comunidades com contextos similares. Nesse interim, estimula-se que parcerias sejam formadas entre os entes governamentais, companhias de saneamento e associações de comunidades tradicionais, com vistas a viabilizar a produção do biocarvão de lodo, combater os riscos associados à disposição final do lodo e contribuir para o desenvolvimento da agricultura familiar.

4 CONCLUSÃO

Observou-se neste capítulo que a comunidade quilombola Serra da Guia, situada em Poço Redondo, Sergipe, representa um exemplo de resistência histórica, preservação cultural e protagonismo feminino. Sua ancestralidade é mantida viva através dos saberes da agricultura familiar e das práticas culturais e religiosas, com destaque para a atuação de lideranças femininas como Dona Zefa da Guia. O reconhecimento jurídico do território como quilombo possibilitou o acesso a direitos básicos, como a posse da terra. Ainda assim, o quilombo enfrenta severas vulnerabilidades socioeconômicas e carências de infraestrutura e serviços básicos, evidenciando um cenário de marginalização, desigualdade e invisibilidade social.

A agricultura familiar é fundamental para a sobrevivência e identidade do quilombo Serra da Guia. Os agricultores demonstram forte relação com a natureza, com práticas agrícolas que refletem um ambiente de cooperação social, reciprocidade e respeito mútuo. Detentores de conhecimentos tradicionais próprios quanto ao manejo do solo, esses agricultores apreciam ações agroecológicas que valorizam a produção de alimentos livres de agrotóxicos. A produção é voltada para a subsistência, com destaque para o cultivo do feijão, milho e palma. Outras culturas são cultivadas apenas pontualmente, revelando um contexto de baixa agrobiodiversidade. Tal cenário é atribuído a uma combinação de fatores, que vão desde às adversidades climáticas severas, com crescentes períodos de estiagem, elevadas temperaturas e escassez de fontes de água, até fatores como a carência de infraestruturas de beneficiamento (ex. casa de farinha) e a tendência de homogeneização dos gostos, influenciado por hábitos alimentares urbanos.

A grande dependência de programas sociais como o Bolsa Família e o Garantia Safra ratifica a condição socioeconômica vulnerável da comunidade. Esses programas são fundamentais no combate à fome, atuando como meio complementar à agricultura de subsistência. Entretanto, os quilombolas mais experientes lamentam o panorama crescente de distanciamento entre os jovens e o campo, com prospecções voltadas ao abandono da agricultura familiar. A falta de oportunidades de fonte de renda alternativa nas proximidades, aliado ao desinteresse das novas gerações em trabalhar na agricultura, ameaçam a perpetuação da cultura agrícola quilombola, com reflexos no que diz respeito à valorização e à própria continuidade da agricultura familiar. Todos esses fatores demonstram a complexidade no enfrentamento das dificuldades na região.

Nesse contexto, o biocarvão de lodo surge como um bioadubo promissor para o fortalecimento da agricultura familiar, possibilitando o aumento da fertilidade do solo e maior capacidade de retenção de água, além de corroborar com os anseios e saberes dos próprios

quilombolas. Ao mesmo tempo, a produção de biocarvão é uma alternativa sustentável para o manejo do lodo nas estações de tratamento de esgoto, visto que possibilita a sua desinfecção e degradação de compostos tóxicos, promovendo maior segurança sanitária e ambiental, além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas. Nesse interim, sugere-se que a produção de biocarvão de lodo seja assumida por companhias de saneamento e integrada a políticas públicas, com apoio técnico e participação ativa das comunidades tradicionais. Desse modo, gerando benefícios favoráveis a todos os envolvidos e enaltecendo o desenvolvimento de estratégias sustentáveis com responsabilidade social.

Finalmente, é importante ressaltar que a superação dos obstáculos em Serra da Guia depende de políticas públicas efetivas, que englobe aspectos multifatoriais. A comunidade enfrenta desafios estruturais sérios que precisam ser endereçados com atenção e comprometimento. Embora o biocarvão de lodo se apresente como um recurso de grande valia para a comunidade, apenas a sua viabilização e disponibilização para os agricultores não seria suficiente para garantir sua soberania alimentar. A incorporação de biocarvão no solo contribui para maior resiliência agrícola, mas provavelmente não é suficiente para sustentar uma produção durante períodos de estiagem tão longos. Portanto, a disponibilização de algum meio de abastecimento de água é fundamental, inclusive, como um estímulo à permanência das novas gerações no campo e à perpetuação dos saberes ancestrais.

REFERÊNCIAS

AMALINA, Farah; KRISHNAN, Santhana; ZULARISAM, A.W.; NASRULLAH, Mohd. Recent advancement and applications of biochar technology as a multifunctional component towards sustainable environment. **Environmental Development**, [s. l.], vol. 46, p. 100819, Jun. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100819>.

ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

ARRUTI, José Maurício. **Panorama Quilombola**. Campinas, SP: UNICAMP: BCCL, 2022. Available at: <https://econtents.bc.unicamp.br/omp/index.php/ebooks/catalog/series/jurema>.

BARBOSA, Taísa Andrade; GOMES FILHO, Raimundo Rodrigues. Biodiversidade e conservação da Caatinga: revisão sistemática. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [s. l.], vol. 7, no. 4, p. 177–189, 11 Nov. 2022. <https://doi.org/10.24221/jeap.7.4.2022.5228.177-189>.

BARBOSA, Taísa Andrade; SANTOS, Roberta Menezes; SILVA, Wenes Ramos Da; SÁ, Mirele Santana De; SILVA, Miliana Gouveia Da; NAVICKIENE, Sandro; GOMES FILHO, Raimundo Rodrigues; WISNIEWSKI JR, Alberto. Biochar from sewage sludge: Effect of pyrolysis on functional properties and pollutants fate. **Environmental Quality Management**, [s. l.], vol. 34, no. 1, p. e22192, Sep. 2024. <https://doi.org/10.1002/tqem.22192>.

BAUER, Martin W.; GASKELL, George. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. Editora Vozes. Petrópolis, RJ: [s. n.], 2008. vol. 7, .

BÖRJESSON, Gunnar; KÄTTERER, Thomas. Soil fertility effects of repeated application of sewage sludge in two 30-year-old field experiments. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], vol. 112, no. 3, p. 369–385, Dec. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10705-018-9952-4>.

BRASIL. Consultar o Garantia Safra. 2025. [Serviços e Informações do Brasil]. Available at: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/consultar-o-garantia-safra>.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. 1996. [Presidência da República. Casa Civil.]. Available at: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm.

CANEPELLE, Eduardo; STEINHAUS, Jocieli Caroline; KEMPER BACK, Patricia Inês; SIPPET, Luciane; DA SILVA, Danni Maisa; REDIN, Marciel; GEHELEN BOHRER, Robson Evaldo; GUERRA, Divanilde. Análise evolutiva sócio produtiva de alimentos da Agricultura Familiar no município de Crissiumal-RS. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, [s. l.], vol. 8, no. 2, 16 Aug. 2018. DOI 10.21206/rbas.v8i2.492. Available at: <https://periodicos.ufv.br/ojs/rbas/article/view/3029>. Accessed on: 15 Jul. 2025.

CHATURVEDI, Mudita; MISHRA, Ambuj; SHARMA, Krati; SHARMA, Geetansh; SAXENA, Gaurav; SINGH, Amit Kumar. Emerging Contaminants in Wastewater: Sources of Contamination, Toxicity, and Removal Approaches. **Emerging Treatment Technologies for Waste Management**. [S. l.]: Springer, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-2015-7>.

CONAMA. **Resolução nº 498, de 19 de Agosto de 2020**. [S. l.]: Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente, 2020.

CORREA, Nádia Alinne Fernandes; CARDOSO, Luis Fernando Cardoso; SILVA, Hilton Pereira. Comida de quilombo na merenda escolar: interfaces entre a cultura alimentar e o Programa Nacional de Alimentação Escolar. **Amazônica - Revista de Antropologia**, [s. l.], vol. 12, no. 1, p. 145, 29 Oct. 2020. <https://doi.org/10.18542/amazonica.v12i1.8497>.

EGBEDINA, Abisola O.; ADEBOWALE, Kayode O.; OLU-OWOLABI, Bamidele I.; UNUABONAH, Emmanuel I.; ADESINA, Morenike O. Green synthesis of ZnO coated hybrid biochar for the synchronous removal of ciprofloxacin and tetracycline in wastewater. **RSC Advances**, vol. 11, n.30, p.18483–18492, 2021. <https://doi.org/10.1039/D1RA01130H>.

EMDAGRO. Poço Redondo - Pluviosidade 2000 a 2021. 2024. **Estatísticas diversas**. Available at: <https://emdagro.se.gov.br/estatisticas-diversas/>.

FARRAR, Michael B.; WALLACE, Helen M.; XU, Cheng-Yuan; JOSEPH, Stephen; NGUYEN, Thi Thu Nhan; DUNN, Peter K.; BAI, Shahla Hosseini. Biochar compound fertilisers increase plant potassium uptake 2 years after application without additional organic fertiliser. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], vol. 29, no. 5, p. 7170–7184, Jan. 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16236-9>.

FEITOSA, Flavia Regina Sobral; CASTILHO, Cláudio Jorge Moura de; FACCIONI, Gregório Guirado; LACERDA, Roberto dos Santos. Panorama dos quilombos sergipanos: condições de vida e vulnerabilidade. **Revista Produção Acadêmica - Núcleo de Estudos Urbanos Regionais e Agrários**, [s. l.], vol. 7, 2021. .

FERREIRA, Sandreanio Nascimento; LACERDA, Francinete Francis; LOPES, Geraldo Majella Bezerra; CORRÊA, Marcus Metri; PESSOA NETO, Amaury Gouveia. O Programa Água Doce (PAD) como alternativa para segurança hídrica nas comunidades rurais da bacia leiteira de Alagoas. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, [s. l.], vol. 18, no. 1, p. e14364, 8 Jan. 2025. <https://doi.org/10.55905/revconv.18n.1-061>.

FERREIRA-ALVES, Ellem Suane; SANTOS-FITA, Dídac. As roças e o extrativismo na comunidade quilombola do Jacarequara, Santa Luzia do Pará, Nordeste Paraense. **Núcleo de Estudos, Pesquisas e Projetos de Reforma Agrária**, [s. l.], vol. 26, no. 66, 2023. .

FRIZERO, Mariana Gonçalves. **Comunidade Quilombola: Serra da Guia**. [S. l.]: FAFICH, 2016. Available at: https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/serra_da_guia.pdf.

GHORBANI, Mohammad; AMIRAHMADI, Elnaz; NEUGSCHWANDTNER, Reinhard W.; KONVALINA, Petr; KOPECKÝ, Marek; MOUDRÝ, Jan; PERNÁ, Kristýna; MURINDANGABO,

Yves Theoneste. The Impact of Pyrolysis Temperature on Biochar Properties and Its Effects on Soil Hydrological Properties. **Sustainability**, [s. l.], vol. 14, no. 22, p. 14722, 8 Nov. 2022. <https://doi.org/10.3390/su142214722>.

GHORBANI, Mohammad; KONVALINA, Petr; WALKIEWICZ, Anna; NEUGSCHWANDTNER,

Reinhard W.; KOPECKÝ, Marek; ZAMANIAN, Kazem; CHEN, Wei-Hsin; BUCUR, Daniel. Feasibility of Biochar Derived from Sewage Sludge to Promote Sustainable Agriculture and Mitigate GHG Emissions—A Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], vol. 19, no. 19, p. 12983, 10 Oct. 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912983>.

GOLDAN, Elena; NEDEFF, Valentin; BARSAN, Narcis; CULEA, Mihaela; TOMOZEI, Claudia; PANAINTE-LEHADUS, Mirela; MOSNEGUTU, Emilian. Evaluation of the Use of Sewage Sludge Biochar as a Soil Amendment—A Review. **Sustainability**, [s. l.], vol. 14, no. 9, p. 5309, 28 Apr. 2022. <https://doi.org/10.3390/su14095309>.

GUAZI, Taísa Scarpin. Diretrizes para o uso de entrevistas semiestruturadas em investigações científicas. **Revista Educação, Pesquisa e Inclusão**, [s. l.], vol. 2, 16 Dec. 2021. DOI 10.18227/2675-3294repi.v2i0.7131. Available at: <https://revista.ufr.br/revista/article/view/e202114>. Accessed on: 15 Jul. 2025.

HARA, Francisco Adilson Dos Santos; SERUDO, Rafaela Noel; VENDRUSCOLO, Jhony; INÁCIO, Ariele Cristine Ferreira; MOURA, Rodolfo Pessoa De Melo. Resposta do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a diferentes níveis de reposição de água na fase vegetativa. **Research, Society and Development**, [s. l.], vol. 11, no. 6, p. e15311629013, 23 Apr. 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29013>.

HUANG, Carol; MOHAMED, Badr A.; LI, Loretta Y. Comparative life-cycle assessment of pyrolysis processes for producing bio-oil, biochar, and activated carbon from sewage sludge. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], vol. 181, p. 106273, Jun. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106273>.

IBGE. **Censo Demográfico 2022: Quilombolas Primeiros resultados do universo**. [S. l.]: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023.

INCRA. **Regularização de território quilombola**. [S. l.]: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2017.

INCRA. Titulação de Assentamento. 2020. Available at: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/titulacao>.

INSA. **O Semiárido Brasileiro**. [S. l.]: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2025. Available at: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro>. Accessed on: 30 Apr. 2025.

JESUS, Gidelmo Santos; NEVES, Odair Ledo; LIMA, Lúcia da Silva; CARVALHO, Romário Pereira. As lutas e os movimentos sociais do campo no Alto Sertão Sergipano. **V Encontro Nacional e XI Fórum Estado, Capital, Trabalho**, [s. l.], p. 1–10, 2019. .

LACERDA, Roberto dos Santos. **Territorialidade, saúde e meio ambiente: conexões, saberes e práticas em comunidades quilombolas de Sergipe**. 2017. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 2017.

LATAWIEC, Agnieszka E.; STRASSBURG, Bernardo B. N.; JUNQUEIRA, André B.; ARAUJO, Ednaldo; D. DE MORAES, Luiz Fernando; PINTO, Helena A. N.; CASTRO, Ana; RANGEL, Marcio; MALAGUTI, Gustavo A.; RODRIGUES, Aline F.; BARIONI, Luis Gustavo; NOVOTNY, Etelvino H.; CORNELISSEN, Gerard; MENDES, Maiara; BATISTA, Nilcileny; GUERRA, Jose Guilherme; ZONTA, Everaldo; JAKOVAC, Catarina; HALE, Sarah E. Biochar amendment improves degraded pasturelands in Brazil: environmental and cost-benefit analysis. **Scientific Reports**, [s. l.], vol. 9, no. 1, p. 11993, 19 Aug. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47647-x>.

LEKŠE, Nina; ŽGAJNAR GOTVAJN, Andreja; ZUPANČIČ, Marija; GRIESSLER BULC, Tjaša.

Oil-based extraction as an efficient method for the quantification of microplastics in environmental samples. **Environmental Sciences Europe**, [s. l.], vol. 36, no. 1, 2 Apr. 2024. DOI 10.1186/s12302-024-00898-6. Available at: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-024-00898-6>. Accessed on: 15 Jul. 2025.

MACHADO, Wedna de Jesus. **Composição florística e estrutura da vegetação em área de Caatinga e Brejo de Altitude na Serra da Guia, Poço Redondo, Sergipe, Brasil**. 2011. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2011.

MARQUES, Djankaw Matheus; CAMARGO, Mabia. Studying quilombola practices of resistance on instagram. **Trabalhos em Linguística Aplicada**, [s. l.], vol. 59, no. 3, p. 1946–1965, Sep. 2020. <https://doi.org/10.1590/010318138795411120201130>.

MASAZUMI, Kayama; KOICHI, Takenaka; BURUH, Abebe; EMIRU, Birhane. Effects of biochar on the growth of *Olea europaea* subsp. *cuspidata* and *Dodonaea angustifolia* planted in Tigray, northern Ethiopia. **Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology**, [s. l.], vol. 45, no. 1, p. 115–120, 31 Aug. 2019. <https://doi.org/10.7211/jjsrt.45.115>.

MDS. Bolsa família. 2025. **Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome**. Available at: <https://www.gov.br/mds/pt-br/acoes-e-programas/bolsa-familia>.

MIDR. Tecnologia e capacitação levam segurança hídrica ao Nordeste. 2025. **Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional**. Available at: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/tecnologia-e-capacitacao-levam-seguranca-hidrica-ao-nordeste#:~:text=Programa%20%C3%81gua%20Doce,-O%20Programa%20%C3%81gua&text=A%20iniciativa%20surgiu%20como%20uma,por%200%20meio%20do%20Novo%20PAC>.

MORAES, Roque. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação (Bauru)**, [s. l.], vol. 9, no. 2, p. 191–211, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132003000200004>.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria Do Carmo. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação (Bauru)**, [s. l.], vol. 12, no. 1, p. 117–128, Apr. 2006. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132006000100009>.

MORAIS, João Rafael Gomes De; MAGALHÃES, Luíz Fernando Barbosa Gomes. Enraizamento, circuitos curtos e combate à pobreza rural no semiárido nordestino: uma experiência de desenvolvimento rural no Quilombo Tabacaria. **Extensão Rural**, [s. l.], vol. 27, no. 3, p. 20–39, 30 Sep. 2020. <https://doi.org/10.5902/2318179641255>.

OLIVEIRA, Edmar Almeida de; MARIMON-JUNIOR, Ben Hur; MARIMON, Beatriz Schwantes; IRIARTE, José; MORANDI, Paulo S.; MAEZUMI, S. Yoshi; NOGUEIRA, Denis S.; ARAGÃO,

Luiz E. O .C.; DA SILVA, Izaias Brasil; FELDPAUSCH, Ted R. Legacy of Amazonian Dark Earth soils on forest structure and species composition. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], vol. 29, no. 9, p. 1458–1473, Sep. 2020. <https://doi.org/10.1111/geb.13116>.

PATEL, Maga Ram; PANWAR, Narayan Lal. Evaluating the agronomic and economic viability of biochar in sustainable crop production. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], vol. 188, p. 107328, Sep. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107328>.

PINTO, Alexandro Rodrigues; BORGES, Júlio César; NOVO, Marina Pereira; PIRES, Pedro Stoeckli. **Quilombos no Brasil: Segurança Alimentar e Nutricional em Territórios Titulados**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, 2014.

RACEK, Jakub; SEVCIK, Jan; CHORAZY, Tomas; KUCERIK, Jiri; HLAVINEK, Petr. Biochar – Recovery Material from Pyrolysis of Sewage Sludge: A Review. **Waste and Biomass Valorization**, [s. l.], vol. 11, no. 7, p. 3677–3709, Jul. 2020. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00679-w>.

SANTOS, Laurici Maria Pires dos; SILVA, Cleide Leite da; SILVA, Hildson Dornelas Angelo da; CARDOSO, Valbérico De Albuquerque. Estimular o senso crítico dos alunos sobre o consumo de Sódio na alimentação através da investigação. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], vol. 9, no. 4, p. 13898–13905, 19 Apr. 2023. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n4-093>.

SANTOS, Maria Taires dos. **Entre Josefas, rezas e rodas: a práxis do cuidado em saúde e o empoderamento da mulher quilombola**. 2022. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar em Culturas Populares) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2022.

SILVA, Judson Jorge da; GONÇALVES, Cláudio Ubiratan. Para além de partir ou permanecer: a migração quilombola em busca de trabalho acessório como estratégia de r-existência no território. **Revista de Geografia**, [s. l.], vol. 37, no. 1, p. 132, 26 Mar. 2020. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.244537>.

SOUSA, Vander Luiz Barbosa de; RIBEIRO, Efrain Da Silva; SOUZA, Edilene Da Silva; AZERÊDO, Raoni Fernandes. Interfaces entre o PNAE, capital social e o fortalecimento da agricultura familiar no quilombo do Pacoval/Alenquer-Pará. **NAU Social**, [s. l.], vol. 13, no. 24, p. 923–936, 18 Feb. 2022. <https://doi.org/10.9771/ns.v13i24.38838>.

SOUSA, Mateus Alves; REIS, Iolanda Maria Soares; ALMADA, Adão Pires; ROSSI, Celeste Queiroz; PEREIRA, Marcos Gervasio; SILVA PINTO, Luiz Alberto Rodrigues; SILVA, Cristiane Figueira; SANTOS, Otavio Augusto Queiroz. Atributos químicos e frações da matéria orgânica em solos antrópicos na Amazônia Oriental. **Brazilian Journal of**

Development, [s. l.], vol. 6, no. 5, p. 29623–29643, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-424>.

TANEZINI, Theresa Cristina Zavaris. **Territórios em conflito no alto sertão sergipano**. 2014. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2014.

THAPA, Resham B.; COUPAL, Roger H.; DANGI, Mohan B.; STAHL, Peter D. An Assessment of Plant Growth and Soil Properties Using Coal Char and Biochar as a Soil Amendment. **Agronomy**, [s. l.], vol. 14, no. 2, p. 320, 1 Feb. 2024. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020320>.

THOMAS, André Luís. Desenvolvimento da planta de mandioca. **Faculdade de Agronomia/UFRGS**, [s. l.], 2016. .

WANG, Xingdong; CHI, Qiaoqiao; LIU, Xuejiao; WANG, Yin. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and environmental risk of heavy metals in pyrolyzed biochar made from hydrothermally treated sewage sludge. **Chemosphere**, [s. l.], vol. 216, p. 698–706, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.189>.

WISNIEWSKI JR, Alberto. Processos de conversão térmica de biomassas. **Energia da biomassa: termoconversão e seus produtos**. Curitiba, Paraná: Brazil Publishing, 2020.

ZEFA DA GUIA: SERRA DA GUIA EM SERGIPE. [S. l.]: Publicado pelo canal Santiago Oxi, 2014. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=Spt-Rc8bRQc&t=75s>.

ZHANG, Xin; ZHAO, Baowei; LIU, Hui; ZHAO, Yue; LI, Liujun. Effects of pyrolysis temperature on biochar's characteristics and speciation and environmental risks of heavy metals in sewage sludge biochars. **Environmental Technology & Innovation**, [s. l.], vol. 26, p. 102288, May 2022. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102288>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONCLUSÕES GERAIS

As evidências obtidas por meio das investigações quali-quantitativas desenvolvidas nesta tese respondem à questão central da pesquisa: Quais são as implicações da produção de biocarvão de lodo e oportunidades para a agricultura familiar no contexto da comunidade quilombola de Serra da Guia? O conhecimento produzido no âmbito das ciências ambientais, com uma abordagem sistêmica e interdisciplinar sustentada por evidências científicas, históricas e sociais, não apenas corrobora a hipótese principal de que a utilização do biocarvão de lodo pode favorecer a produção agroecológica no quilombo, como também destaca sua relevância inovadora ao articular justiça ambiental, saberes tradicionais e tecnologias sustentáveis.

Inicialmente, constatou-se a viabilidade da pirólise como tecnologia alternativa para o tratamento do lodo de esgoto, resultando em um material carbonáceo de alto valor agregado – o biocarvão de lodo. O estudo demonstrou, pela primeira vez, que a pirólise do lodo de esgoto em temperaturas superiores a 400 °C promove a degradação de pesticidas, como também contribui para a decomposição parcial de poluentes orgânicos, imobilização de metais pesados, e preservação de nutrientes essenciais à fertilidade do solo, configurando-se como um insumo agrícola seguro e eficaz.

As investigações sobre os mecanismos de degradação de biocarvões sob a ação de intemperismo físico, simulando processos de envelhecimento natural, apontaram que biocarvões derivados do lodo de esgoto e da palha de trigo podem manter, ou até mesmo melhorar sua funcionalidade como condicionadores de solo ao longo do tempo. As alterações na reatividade superficial e na morfologia sugerem que as interações entre biocarvão e solo são dinâmicas e dependentes da biomassa, não devendo ser generalizadas. No caso dos biocarvões analisados, essas transformações foram favoráveis à retenção de água e à liberação gradual de nutrientes, apresentando-se como aliados estratégicos para maior resiliência hídrica em ambientes agrícolas propensos à seca, como o semiárido sergipano.

Além disso, as evidências empíricas obtidas sobre os efeitos da incorporação do biocarvão de lodo no solo da comunidade Serra da Guia, caracterizado por textura arenosa, confirmaram sua eficácia em aumentar a retenção hídrica e o volume de água disponível para as plantas, com efeitos promissores a longo prazo, especialmente quando produzido em temperatura mais elevada. Seus benefícios também se evidenciaram no desenvolvimento de coentro (*Coriandrum sativum* L.), indicando forte correlação entre a dosagem de biocarvão

aplicada e os valores de massa fresca e massa seca total das plantas, sendo a concentração de 40 t ha⁻¹ a mais vantajosa dentre as avaliadas.

No quilombo Serra da Guia, observou-se um contexto caracterizado por resistência histórica e protagonismo feminino, mesmo diante de profundas vulnerabilidades socioeconômicas. A dependência de programas sociais, aliada à carência de infraestrutura e serviços básicos, evidenciam um cenário de marginalização e invisibilidade social. A agricultura familiar na comunidade é atualmente marcada por baixa diversidade de culturas, com ênfase no cultivo de feijão, milho e palma, sendo fortemente afetada por escassez hídrica crônica e possivelmente influenciada por hábitos urbanos. Ainda, é preocupante o fato do crescente desinteresse das novas gerações e da falta de fontes alternativas de renda na região, que ameaçam a continuidade das práticas agrícolas tradicionais, reforçando a complexidade dos desafios enfrentados.

Apesar disso, as práticas culturais baseadas na cooperação social e respeito mútuo, bem como a centralidade da agricultura familiar enquanto meio de subsistência, evidenciam a força do território. O mapeamento dos saberes, práticas e desafios vivenciados pelos agricultores permitiu identificar convergências entre modos de vida tradicionais e inovações voltadas ao desenvolvimento sustentável. O elevado grau de consciência ambiental dos agricultores demonstrou abertura à adoção de novas tecnologias, como a utilização do biocarvão de lodo na agricultura, desde que estejam alinhadas com os seus valores, necessidades e em harmonia com o respeito à natureza.

Nesse sentido, o biocarvão não se apresenta como solução isolada, mas como parte de uma estratégia mais ampla que envolve infraestrutura hídrica, assistência técnica, investimentos públicos e, sobretudo, o reconhecimento da importância da agricultura familiar na superação da fome, redução das desigualdades e promoção da soberania alimentar e cultural em territórios quilombolas. Do ponto de vista ambiental, a transformação do lodo em insumo agrícola de valor agregado exemplifica os princípios da economia circular, convertendo passivos ambientais em recursos estratégicos. Trata-se de uma oportunidade multifacetada, que contribui para a mitigação das mudanças climáticas via sequestro de carbono, redução da dependência de fertilizantes sintéticos e reciclagem de nutrientes essenciais, como o fósforo, cuja escassez global já é reconhecida.

No aspecto econômico, observou-se que a viabilidade financeira da produção de biocarvão depende de fatores como contexto regional, desenvolvimento tecnológico e eficiência produtiva, sendo potencialmente favorecida com a inclusão de créditos de carbono. Entretanto, os custos de investimento e manutenção da tecnologia no contexto de

vulnerabilidade econômica em quilombos representam um obstáculo relevante, demandando articulação entre atores sociais e institucionais que possam viabilizar sua implementação.

Sob a perspectiva social e político-institucional, a adoção do biocarvão em comunidades tradicionais requer o fortalecimento e a integração de políticas públicas que envolvam saneamento básico, agricultura familiar e ciência ambiental. A cooperação entre companhias de saneamento, entes governamentais e movimentos sociais pode transformar a produção de biocarvão de lodo em política pública intersetorial, ampliando seus impactos positivos para diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, como o ODS 2 (fome zero), ODS 6 (água e saneamento), ODS 10 (redução das desigualdades) e ODS 13 (combate às alterações climáticas).

Conclui-se, portanto, que a utilização de biocarvão de lodo em Serra da Guia vai além da melhoria da produção agrícola. Trata-se de uma proposta inovadora que agrega valorização da agricultura familiar, preservação da cultura quilombola e gestão responsável de resíduos. Assim, oferece um modelo aplicável a outras comunidades com contextos semelhantes, apontando caminhos concretos para a adoção de práticas sustentáveis que dialogam com os saberes tradicionais e fortalecem a resiliência dos sistemas agrícolas em territórios vulneráveis.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como dito anteriormente, o tratamento do lodo de esgoto via pirólise com consequente beneficiamento da agricultura familiar em comunidades tradicionais é uma proposta promissora do ponto de vista social, ambiental, econômico e cultural. Entretanto, destaca-se que a sua viabilização não se encerra na produção científica alcançada até aqui. Um aprofundamento contínuo é necessário, com estudos de maior abrangência e metodologias complementares que permitam sua adaptação a diferentes realidades, ampliando a robustez das conclusões e o alcance sustentável da proposta.

Um dos principais aspectos se refere à ampliação da escala dos experimentos, de modo a avaliar os efeitos da pirólise do lodo e da aplicação do biocarvão em condições reais de produção agrícola. Ensaio em escala piloto ou industrial poderão gerar dados complementares quanto à eficiência técnica, à estabilidade do biocarvão e aos impactos sobre o solo e as culturas agrícolas no campo.

A adoção do biocarvão de lodo em larga escala também demanda estudos aprofundados de viabilidade econômica, especialmente no contexto de sistemas descentralizados de produção em Estações de Tratamento de Esgoto. Investigações futuras devem considerar não apenas os custos de implantação, operação e manutenção, mas também as economias associadas com a

redução do volume de lodo transportado, a valorização obtida por meio de créditos de carbono e o aproveitamento energético dos subprodutos da pirólise. Nesse sentido, a abordagem da economia circular deve orientar as análises, articulando benefícios ambientais, sociais e financeiros.

Além disso, embora este estudo tenha evidenciado benefícios do biocarvão de lodo no cultivo do coentro, recomenda-se investigar seus efeitos em uma diversidade maior de culturas, especialmente aquelas de relevância socioeconômica para o semiárido nordestino, como feijão, milho, mandioca e hortaliças variadas. Sugere-se que trabalhos futuros ampliem as investigações com a testagem de diferentes concentrações de biocarvão e em ciclos consecutivos, de modo a verificar as implicações de longo prazo na produtividade agrícola e fornecer subsídios para a definição de dosagens ideais para diferentes tipos de solo, otimizando o uso do biocarvão.

No caso de Serra da Guia, tendo em vista a carência excessiva e limitante de água, estudos futuros devem contemplar estratégias para a ampliação da disponibilidade de água na comunidade, considerando, por exemplo, sistemas eficientes de captação e tratamento de água subterrânea, irrigação de baixo consumo e reuso seguro de efluentes tratados. Por fim, recomenda-se o aprofundamento de pesquisas que investiguem a interface entre inovação tecnológica e práticas socioculturais locais, garantindo que o uso do biocarvão se dê em consonância com os valores e saberes tradicionais. Esses estudos devem considerar o papel de políticas públicas em vários setores, envolvendo saneamento, agricultura familiar e segurança alimentar, contribuindo como estratégia de desenvolvimento sustentável em territórios quilombolas e outras comunidades rurais em situação de vulnerabilidade.

APÊNDICE A – ROTEIRO DE QUESTÕES COM GRUPO FOCAL

Tecnologia sustentável e saberes tradicionais: implicações da produção e uso agrícola de biocarvão de lodo no quilombo Serra da Guia, Sergipe

Grupo focal Nº: _____

Moderador: _____

Nº de participantes do grupo focal: _____

Data da entrevista: ____/____/____

Local de realização: _____

1. APRESENTAÇÃO

- Apresentação do moderador.
- Apresentação dos participantes do grupo focal. Os participantes receberão crachás para identificação.
- Apresentação dos objetivos da entrevista e da escolha dos integrantes do grupo focal.
- Divulgação das formas de registro da pesquisa, bem como do anonimato dos envolvidos e preenchimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE.
- Defesa da ideia de debate, com envolvimento de todos.

2. DESENVOLVIMENTO

• Relação dos quilombolas com a agricultura

- 2.1 Qual a importância da agricultura para vocês?
- 2.2 Vocês praticam Agricultura Familiar? O que isso significa para vocês?
- 2.3 Vocês praticam Agricultura Orgânica ou Agroecologia? O que isso significa para vocês?
- 2.4 Vocês produzem de forma individual ou comunitária?
- 2.5 Como vocês aprenderam a plantar? Quais técnicas de cultivo utilizam? (exemplo: cobertura de solo, calagem, adubação)
- 2.6 Vocês utilizam agrotóxicos? Quais?
- 2.7 Quais são as fontes de água utilizada na produção?
- 2.8 Vocês consideram a água que tem disponível de boa qualidade? Por quê?
- 2.9 Qual o destino dos alimentos que vocês produzem?

• Desafios enfrentados pelos quilombolas no contexto agrícola

- 2.10 Quais as principais dificuldades enfrentadas por vocês no dia a dia na lavoura?
- 2.11 Quais alimentos vocês produzem? E quais são mais difíceis de serem manejados? Por quê?

- 2.12 Vocês participam de algum programa social? Por exemplo, Seguro Agricultura Familiar, PRONAF (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar), PNAE (Programa Nacional de Alimentação Escolar)?
- 2.13 Vocês recebem algum insumo para iniciar a produção? Por exemplo, sementes, pequenos animais, defensivos, mudas, ferramentas?
- 2.14 Existe colaboração da secretaria da agricultura de sua região para auxílio na produção agrícola? Se sim, como funciona?
- 2.15 Vocês recebem algum outro tipo de apoio na agricultura? Quais? De que forma?
- 2.16 Como vocês se sentem quanto ao apoio que recebem? (no caso de receber apoio)

- **Perspectivas quanto à produtividade agrícola**

- 2.17 Qual a opinião de vocês quanto à qualidade e quantidade de alimentos que produzem?
- 2.18 Vocês têm interesse em aumentar ou reduzir a produção de alimentos? Quais? Por quê?
- 2.19 Como vocês visualizam esse aumento ou redução? (no caso de haver interesse) Em quantidade? Variedade?
- 2.20 O que vocês esperam das atividades agrícolas no futuro?

- **Opiniões sobre a utilização de biocarvão de lodo no solo**

- 2.21 Como vocês se sentem com a possibilidade de adubar o solo com um produto derivado de lodo de esgoto?
- 2.22 Como vocês acham que um produto como esse pode interferir na produtividade agrícola?
- 2.23 Vocês teriam algum receio em manusear esse produto?

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Informar aos integrantes que a discussão está se aproximando do final.
- Solicitar que exponham comentários ou observações de algo particular que se relacione com a temática da discussão, e que não estava na pauta do roteiro, mas que eles gostariam de abordar.
- Agradecimentos pela participação.

APÊNDICE B – CORPUS DA PESQUISA

• Transcrição da entrevista com grupo focal 1

Entrevistadora: Qual a importância da agricultura para vocês?

Quilombola A: Plantar feijão e milho. É... Não, assim, na época, se tivesse como, eu plantava um coentrozinho. Em casa eu planto um coentrozinho pra eu comer.

Entrevistadora: A agricultura é a fonte de renda de vocês? É o trabalho de vocês?

Quilombola A: É, é o trabalho...

Entrevistadora: O senhor quer falar alguma coisa?

Quilombola B: Eu, pra mim, é a melhor coisa do mundo. Pra nós aqui do interior, a agricultura.

Entrevistadora: É, né? Vocês gostam de trabalhar na terra?

Quilombola B: Desde pequeno.

Entrevistadora: Desde pequenininho?

Quilombola B: É.

Entrevistadora: Certo. Vocês já ouviram falar em Agricultura Familiar? Já ouviram esse termo?

Quilombola B: Já... Acompanho, assim, ver que falam assim.

Entrevistadora: E vocês acham que a agricultura que vocês fazem é desse tipo? É agricultura familiar ou não?...

Não tem resposta certa e errada não, pessoal.

Quilombola B: Rapaz, eu acho que não é não.

Entrevistadora: Não é não? Por quê?

Quilombola B: Porque eu acompanho assim, pelo rádio, sabe? É mais diferente lá, né? Porque a gente planta de qualquer jeito pela aqui. E essas pessoas têm que ter aquela pessoa pra indicar todo o jeito que trabalha, né? E nós aqui não é assim... Pelo menos eu, né?

Quilombola C: Agricultura familiar não é que a planta todo junto não, compadre? É a família?

Quilombola B: Eu acho que não, né? (Quilombola B)

Quilombola C: Eu acho que sim...

Entrevistadora: É... Familiar, geralmente, quando a gente fala é que é passado de pai pra filho, trabalha os irmãos juntos, os primos...

Quilombola C: É, é assim mesmo que a gente trabalha.

Quilombola B: Eu faço que não dizer, hoje em dia é tudo pra aqui e pra acolá... É difícil trabalhar junto também, né?

Quilombola C: Trabalham junto quando é pequeno, né compadre?

Quilombola B: É...quando tá grande uns vai pra São Paulo, outros pra... uns lugares tão... não sei nem dizer os nome.

Entrevistadora: O senhor acha que agora a agricultura está perdendo um pouco disso? Assim, os jovens, eles estão saindo mais daqui?

Quilombola B: Muito, muito, muito, muito, muito mesmo... Pra falar a verdade.

Entrevistadora: Então, estão indo morar em outras cidades?

Quilombola B: Não, tão indo é trabalhar.

Entrevistadora: Trabalhar?

Quilombola B: É, é, morar e trabalhar fora, né?

Entrevistadora: Aham. Vocês acham que praticam agricultura orgânica? Sabem o que seria? Sem usar agrotóxico, fertilizante...

Quilombola B: Rapaz... Nós aqui é difícil usar essas coisas assim.

Entrevistadora: Então vocês não botam nenhum produto químico? Faz só o plantio?

Quilombola B: É... Esse ano nós botemos um tal de um adubo, mas o ano foi ruim de chuva, só foi gastar dinheiro.

Entrevistadora: Adubo de quê?

Quilombola B: Esse de bota no meio mesmo, sabe? Sem ser veneno.

Entrevistadora: Sem ser veneno? Só o adubo mesmo?

Quilombola B: Foi, foi.

Entrevistadora: E aí choveu e foi embora?

Quilombola B: Foi...a chuva foi pouca esse ano.

Entrevistadora: Certo. Vocês produzem de forma individual ou comunitária?

Quilombola B: Rapaz, posso dizer que é individual um pouco, mas num terreno só, mas cada quem bota seu pedaço de roça... Mesmo que seja pegado, mas um bota um, outro outro, outro outro...

Entrevistadora: Então tem uma área que é em comum pra todo mundo, mas aí cada um planta um pouquinho? um pedacinho?

Quilombola B: É, é verdade, é.

Entrevistadora: Entendi. E na hora de colher, como é?

Quilombola B: Cada quem colhe seu pouquinho.

Entrevistadora: Como vocês aprenderam a plantar? Quem ensinou vocês a fazer o que vocês fazem hoje lá na roça?

Quilombola B: Bom, eu mesmo vou dizer... porque nós nascemos dentro trabalhando.

Quilombola D: Nossos avôs...

Quilombola B: Nessa época, a gente com dez anos ia trabalhar. Hoje em dia, com dezesseis anos diz que pode trabalhar. Uma coisa que eu pra mim mesmo acho muito desusado. Porque, sabe? Você não aprende trabalho de pequeno, aí depois de grande vai querer trabalhar?...Aí vão partir pra emprego se achar, futuramente... Em firma, por aqui e acolá. É por isso que hoje em dia a roça, os mais novos, é poucos, [ênfase] poucos que se lembram de tá na roça.

Entrevistadora: Sim... Então os senhores aprenderam com a família mesmo, né? Em casa? Com os avós, os pais?

Quilombola B: Foi, foi... [inaudível]. Os mais velhos tudo trabalhava, né? Então, eu mesmo aprendi com o pessoal mesmo, dentro de casa mesmo.

Entrevistadora: Os Senhores podem falar também, viu? Vamos lá [...] Vocês usam alguma coisa no solo? Por exemplo, alguma coisa para cobrir, ou então botam cal, ou adubo?

Quilombola B: Não, não. Nada, nada, nada.

Entrevistadora: Os senhores também não?

Quilombolaes A, C, D e E: Não. Nadinha.

Entrevistadora: Certo. E de onde vem a água que vocês utilizam? Vocês fazem irrigação?

Quilombola B: Não. Nós faz quando Deus manda a chuva.

Entrevistadora: Então vocês não usam água de nenhum lugar, só água da chuva mesmo?

Quilombola B: É.

Entrevistadora: Certo. E aí no caso, como é que fica agora nessa parte do tempo que não chove?

Quilombola B: Sofrendo... Ninguém planta, né? Não planta nada, porque se plantar, morre. A mulher fez isso aí, mas cadê? [inaudível]. Tem que ficar jogando água direto, mas no sol quente assim é perda de tempo... É como a pessoa botar um balde de água pela casa, né?

Entrevistadora: Sim... Então, quais são os meses que vocês plantam?

Quilombola B: Nós mesmo aqui é mais de maio em diante.

Entrevistadora: Maio em diante? Até maio, junho, julho... Até quando?

Quilombola B: É... Até São João, a gente planta no mês de São João.

Entrevistadora: Maio e junho só, então? E julho?

Quilombola B: É, é. Vai conforme a chuva também, né?

Entrevistadora: Certo. Cada ano varia um pouco, né?

Quilombola B: É, é... Vai de maio até São João.

Entrevistadora: E os alimentos que os senhores produzem, vocês vendem eles? Ficam só para vocês? Qual o destino deles?

Quilombola B: Eu como planto pouco, só planto pra comer e pronto.

Entrevistadora: E vocês?

Quilombolaes [em uníssono]: Do mesmo jeito, a mesma coisa...

Entrevistadora: Então, hoje em dia, vocês não vendem nenhum produto que vocês produzem?

Quilombolaes [em uníssono]: Não. Nada.

Quilombola B: Hoje em dia eu mesmo nunca mais vendi não. Às vezes faço a compra quando não dá pra tirar o ano.

Entrevistadora: Antigamente vendia era?

Quilombola B: Antigamente eu vendia. Antigamente nós vendia algodão, vendia milho, feijão também.

Entrevistadora: E o que mudou? Por que pararam de vender?

Quilombola B: Porque hoje em dia a chuva é muito pouca. Não tem. O algodão hoje em dia ninguém planta mais... E o milho mais o feijão também eu deixei de plantar, porque no antigo plantei muito, levei pra feira pra vender... [inaudível]. Eu só planto só com aquele que eu vou comer mesmo, só puramente.

Quilombola C: Mandioca, nós aqui, né?

Quilombola B: É... tudo isso nós plantava, né?

Entrevistadora: Aí agora ficou mais seco e ficou mais difícil?

Quilombola B: Ficou mais difícil, é.

Entrevistadora: Entendi. Quais os principais problemas e dificuldades que vocês enfrentam lá na lavoura? Quando vocês estão plantando, o que é mais difícil?

Quilombola B: Eu hoje em dia acho mais difícil porque às vezes a pessoa não tem o dinheiro, e às vezes tem os maquinários, mas é muita gente que quer plantar quando a chuva pega, sabe? Quem é mais ativo, que eu digo, tomba mais ligeiro, planta mais ligeiro. Quando o dinheiro é mais pouco, às vezes outros pegam

mais ligeiro, já vai pra outro. Mas difícil é isso... porque nem o trator pode tombar o de todo mundo, né? Os ricos vão tombar os deles. E os outros que tombam do pobre, fica mais difícil da pessoa também...

Entrevistadora: Sim... No caso, então, vocês têm o trator aqui que é pra comunidade toda?

Quilombolaes A e B: É.

Entrevistadora: Só que aí nem todo mundo tem condição de pegar?

Quilombola B: De uma vez só não, não tem como, né? Mesmo que tombe uma hora ou uma hora e meia de cada um, mas é muita gente, a comunidade.

Entrevistadora: Entendi... E quando vocês estão sem o maquinário, faz na mão mesmo? Tem alguma dificuldade com o solo? O solo é duro? Tem algum problema?

Quilombola B: Não, aqui não.

Entrevistadora: Tem alguma dificuldade com as plantas? Para germinar? Algum problema com fungo, com praga, essas coisas? Ou nunca teve problema com isso?

Quilombola B: Acontece. Tem ano que acontece muito. Agora tá com uns dois anos... Só do olho mesmo que atinge um pouco, sabe? Mas os outros não, graças a Deus.

Entrevistadora: Certo. E quais são os alimentos que vocês produzem hoje? Aqui?

Quilombola B: Eu mesmo, hoje em dia, só é palma e milho e feijão, só o que planto.

Entrevistadora: Certo... E vocês?

Quilombola E: [inaudível]

Quilombola A: Hã? A senhora não planta palma, mulher? Milho e feijão?

Quilombola E: Pode ser...

Quilombola B: A melancia eu planto um pezinho pra chupar, não vou nem botar. A abobreira eu planto uma covinha, um pouquinho e acolá pra comer...

Quilombola D: [inaudível]

Entrevistadora: Pode falar...A senhora?

Quilombola D: Eu também só é o feijão...

Quilombola B: Nós aqui é quase tudo essas coisas assim mesmo.

Entrevistadora: Feijão, milho e palma?

Quilombola D: Palma nem plantei mais, plantei... e o fogo queimou, pronto...

Quilombola A: E morreu o feijão?

Quilombola B e D: A palma.

Entrevistadora: E vocês plantam alguma coisa de horta?

Quilombola D: Não, a gente nunca plantou não.

Quilombola B: Também nunca plantei, não.

Quilombola A: A gente tá mudando agora, né?

Quilombola B: Não, a mulher um ano plantou ali, umas coisinhas ali, mas...[Quilombola Apontou para o quintal da casa].

Quilombola A: Não, digo eu.

Quilombola B: Não, estou dizendo...

Entrevistadora: Então, algumas pessoas na comunidade, de forma individual, plantam no quintal de casa mesmo?

Quilombola B: É.

Entrevistadora: Mas não na parte comum? É isso?

Quilombola B: Não, pode. Planta também, sabe? Porque aqui mesmo, onde tem nós aqui, ó. Só nós trabalhamos... [inaudível]. Já eu mesmo só trabalho aqui, já não trabalho pra lá, sabe?

Entrevistadora: Certo. Vocês participam de algum programa social? Por exemplo, seguro agricultura familiar, ou programa nacional de fortalecimento da agricultura familiar? Tem algum programa do governo que vocês fazem parte?

Quilombola A: Seguro Safra

Entrevistadora: Mais algum? Só esse mesmo? E qual o apoio que eles dão a vocês? Com o seguro Safra?

Quilombola B: Se o ano não der, eles cobrem, né? Hoje em dia vai pra mil e pouco agora, esse ano. Se não der, né? Porque esse ano já se foi...

Entrevistadora: Vocês recebem algum insumo para iniciar a produção? Por exemplo, sementes, pequenos animais, mudas, ferramentas, vocês recebem algum?

Quilombola B: O milho de primeiro vinha, milho e feijão, DE PRIMEIRO [ênfase]. Hoje em dia está vindo menos, mesmo assim quando chega já é atrasado. Esse ano mesmo, eu fui fazer os pezinho de meu anjo. Eu sofri, porque eu não tinha semente. Aí fiquei esperando por semente de governo. Quando veio chegar [...] Eu sei que comprei milho de duzentos reais o saco, e plantei e não nasceu. Eu só não, tem muitos que comprou. Por isso que ainda mais sofri esse ano. Se eu tivesse plantado logo quando tombei, eu tombei no começo, eu tinha tirado. Porque quando os governantes mandaram, manda tarde demais a semente [...] Porque se eu inverno as planta em maio, ó, pra mim, se chegar no meio de abril ou comecinho de maio era bom, mas quando vem chegar já é lá pro fim de Santana [...] Aí, pronto.

Entrevistadora: Aí já não serve mais?

Quilombola B: Servir, não serve, porque eu mesmo tá com dois anos. Quando vem chegar eu já plantei o milho.

Entrevistadora: E só de milho mesmo, né?

Quilombola B: É, mais nada. E de ferramentas, os caras que quiserem, tem que comprar.

Entrevistadora: Certo. Existe alguma colaboração da Secretaria de Agricultura da sua região? Pra produção agrícola aqui da região de Poço Redondo?

Quilombola B: Aqui a acolá eles dão os trator também pra ajudar, sabe? Eu mesmo nunca peguei não... Mas aqui e acolá eles dão uns trator pra ajudar a tombar, sabe?

Entrevistadora: Mas não é nada assim...fixo?

Quilombola B: Não, não, não.

Entrevistadora: Vocês gostariam de ter mais algum apoio na agricultura? [...] O que é que vocês mais precisam hoje em dia pra agricultura?

Quilombola B: Eu mesmo, se fosse para investir, mas só que é difícil, carece um apoiozinho mais junto na plantação, sabe? Para não atrasar muito. Porque atrasou, para nós aqui já é ruim.

Entrevistadora: Então o que é mais crítico para vocês é quando começar, porque vocês dependem da chuva?

Quilombola B: É, dependem da chuva... e a chuva está sendo pouca pouca, pouca mesmo. Esse ano mesmo, na hora que meu bico começou a bonecar, o sol pegou e acabou-se.

Entrevistadora: E o que vocês pensam sobre a qualidade e quantidade do que vocês produzem? Vocês acham que é uma quantidade boa? Uma quantidade pequena Vocês queriam produzir mais, ou menos?

Quilombola B: Eu eu pra mim mesmo, o que eu planto pra mim já está bom demais, sabe?

Quilombola C: E o meu também, mais de duas tarefas.

Quilombola B: Eu planto pra eu comer, eu planto até mais de duas, agora eu planto só pra eu comer mesmo, e se eu puder guardar um pouquinho pra o outro ano, eu guardo. Não planto pra vender mesmo, sabe?

Entrevistadora: E a qualidade do que vocês produzem? Vocês gostam? Vocês acham que dá um feijão bom? Um milho bom? Ou é ruim?

Quilombola B: Não...se pegar assim um ano bom de chuva, dá.

Entrevistadora: Dá um produto bom?

Quilombola B: Dá...

Entrevistadora: Certo...No futuro vocês tem vontade de plantar mais pra vender? Ou vocês querem continuar pra consumo de vocês mesmo?

Quilombola B: Eu mesmo só quero pra consumo mesmo, porque eu já sou de idade, não posso mais trabalhar muito. Trabalhador, pra o cara botar em casa também é difícil o cara arrumar também...Eu ainda agora estava conversando mais um colega lá...Um dia de trabalho de R\$80 e R\$90, não tem dinheiro que chegue, e a minha idade já está meio avançada, então, eu prefiro colocar só... Confiar em Deus, colher. As vezes boto minha rapaziada que me ajuda, essas e outras e outras mesmo. Vamos lá? Vamos! Aí, pronto.

Entrevistadora: E as novas gerações não estão dando continuidade não? Plantando?

Quilombola B: Não, por enquanto a gente destaca mais um pouquinho, sabe?... Não vou dizer que estão bem se destacando pra o lado de roça não.

Entrevistadora: Estão mudando o caminho? Da roça pra cidade, é?

Quilombola B: Não...eles ficam pela aqui mesmo. Elas acham que a roça trabalha muito.

Quilombola A: São mais hoje em dia é o colégio.

Quilombola B: Elas trabalham, é que nem, ó... Eu tenho umas filha que elas trabalham. Mas assim, ajudando assim um pouquinho, sabe?

Entrevistadora: E trabalha no colégio? Que você fala?

Quilombola A: Estudando, né? A minha menina estuda o dia todo.

Entrevistadora: Com relação a esse biocarvão de lodo que eu expliquei pra vocês, vocês usariam esse produto? O que é que vocês acham?

Quilombola B: Mas isso aí é pra quê? Só é pra...negócio de obra né? Essas coisas assim, né?

Entrevistadora: Isso aqui é pra a gente vai investigar se pode melhorar a qualidade do solo, pra o plantio. Se melhorar, os senhores gostariam de usar ele, ou não?

Quilombola B: Bom, a gente não usa o adubo? Se usa adubo... Se for bom a gente tem que usar também, né?

Quilombola C: É...a gente gostaria de usar pra ver, né?

Entrevistadora: E vocês tem algum receio, assim, algum medo de usar por que vem do lodo de esgoto?

Quilombola B: Nada...que ninguém tem a ver com isso nada...

Quilombola A: Meu medo que faz é os venenos que as vezes botam nas coisas, mata lagarta, essas coisas, né? [...]

Entrevistadora: Sim...os agrotóxicos vocês preferem não usar porque...

Quilombola B: Não. Aqui, pelo menos eu aqui não uso não.

Quilombola C: Eu acho que é pouca gente, compadre.

Quilombola A: Só esse povo assim...

Quilombola B: É, o pessoal que vem dá...

Quilombola A: Fazendeiro, que pode comprar. [risos]

Entrevistadora: Certo. Então vocês presam por manter uma agricultura mais orgânica? Sem usar veneno?

Quilombola B: É, é, eu mesmo não uso de jeito nenhum.

Entrevistadora: E a horta comunitária aqui? Porque tem o projeto aqui, né? Que o Quilombola X me mostrou....

Quilombola B: Isso, é, é.

Entrevistadora: No caso da horta, vocês já têm o que vocês querem plantar lá? Como é?

Quilombola B: Eles têm já, pois já vieram, parece, umas três a quatro vezes, limparam, já botaram adubo, parece, uma duas vezes. Até um desses minha menina fez parte. Mas rapaz, [inaudível] quando tá perto do inverno, agora, se eles pensassem, que vinha de mode de começar, sabe? Porque num verão desse, é dificilmente, dificilmente.

Quilombola C: É... Mas é porque é coberto, compadre.

Entrevistadora: A ideia ali que o Quilombola X explicou, não sei se eu entendi certo, é que tem a cisterna, né? A ideia é cobrir pra plantar o ano todo, no caso?

Quilombolaes [em uníssono]: É.

Quilombola E: Que nem tipo no Tocantins, é tipo, que nem aqui, né? Que lá eles têm o pedação assim, e tem o poço onde eles tiram a água, e tem mesmo aquele saco fazendo a sombra, e eles faz a leira lá de baixo e aí vão jogando água. E sei que tudo é verdinho lá, e tem vento por grandeza lá.

Entrevistadora: Então mesmo sendo uma região seca, mas porque tem essa irrigação o ano todo ele consegue?

Quilombola A: Consegue.

Entrevistadora: No caso, vocês lá já tem o projeto? Pra plantar?

Quilombola E: Eles lá, que eu só fui morar lá, mas eu não fazia parte do projeto deles lá, não. Era só uma amiga minha lá, que mora lá.

Entrevistadora: Mas tem o projeto aqui, né? Que está começando, no caso?

Quilombola E: É, mas eu não dei o meu nome não aqui. Eu estava até... comadre me chamou, eu digo: “mulher, se pelo menos fosse pra frente.”

Entrevistadora: E você acha que não vai pra frente por quê?

Quilombola E: Sei lá... Porque eu vi um sacão lá de folha, eu: “mulher, o que é isso?” Ela: “mulher, pra colocar ali na horta”, eu: “ainda?”

Entrevistadora: É porque essas coisas demoram mesmo. Ali ainda tem que fazer a preparação do solo, né?

Quilombola B: A semente já veio uma... Não veio uma semente ainda?

Quilombola E: Veio, veio umas sementes, só que uma Quilombola X deu pra nós.

Quilombola B: Mas não tem nada preparado.

Quilombola E: Não tem nada preparado, ela deu pra mim. A gente dividiu um pouco.

Entrevistadora: Sim...Mas foi semente de quê?

Quilombola E: Era semente de coentro, de cebolinha, de tanta coisa... Eu ainda hoje tenho.

Entrevistadora: Coisas de horta mesmo, né?

Quilombola E: Sim...Eu plantei dos coentro ainda, saiu uns pezinho.

Entrevistadora: Depois morreu?

Quilombola E: Não! Quando tava grande assim [gesto com a mão] eu tirei. (Quilombola E)

Entrevistadora: Ah, nem deixou morrer, né?

Quilombola E: Eu plantei dentro de uma [inaudível].

Entrevistadora: Mas você molhava sempre?

Quilombola E: Aham.

Entrevistadora: A água que vocês consomem aqui é de poço, é?

Quilombola E: Cisterna.

Entrevistadora: De cisterna. Aquela cisterna que está ali? Ah, tem outras lá embaixo também, né?

Quilombola B: Tem, tem. Tem muitas.

Entrevistadora: E dá para o ano todo? É da água da chuva?

Quilombola B: É nada.

Entrevistadora: Mas aí como é que enche?

Quilombola B: Com os carro-pipa. Da chuva só tem essa daí ó...

Entrevistadora: A prefeitura que manda os carro-pipa pra encher?

Quilombola A: Não, o exército.

Entrevistadora: O exército? Pega lá do São Francisco?

Quilombola A: É.

Entrevistadora: De quanto em quanto tempo eles têm que encher aqui?

Quilombola A: É por carrada, né? Cada um ponto tem cinco carradas, outro tem seis. Aqui tem um ponto aqui na casa de mãe, tem outro ponto ali... Tem dois lá mais em cima.

Entrevistadora: Sim.

Quilombola B: Mas só que agora mesmo parou, não foi?

Quilombola A: Foi.

Entrevistadora: Pararam de encher?

Quilombola B: Tavam só... Pelo enquanto tá funcionando.

Entrevistadora: Mas tem quanto tempo que eles não vêm?

Quilombola B: em mais de mês, não tem? Tem.

Entrevistadora: Antes vinha mais de uma vez por mês, é?

Quilombola B: Vem...

Entrevistadora: Vem quantas vezes no mês?

Quilombola A: É cinco carrada por mês.

Entrevistadora: Ah, cinco por mês mais ou menos?

Quilombola A: É, cada ponto, né? Pela casa aqui é um ponto, aqui mais Quilombola X. Ali em casa é outro ponto. É mais cinco, aí vai... Em Quilombola Y é outro, em Quilombola Z é outro... Cinco pontos aqui tem.

Entrevistadora: Aí umas cinco vezes por mês eles vêm encher? Só que agora não tá vindo mais?

Quilombola B: Não enche não!

Entrevistadora: Só vem botar um pouquinho?

Quilombola B: É, bota uma carrada, né? É, uma carrada... Aí de outra vez já bota em outro. De outra vez bota em outro.

Entrevistadora: Ah, entendi.

Quilombola B: Porque só é cento e tantas casas. Fora essas daqui.

Entrevistadora: Sim. Ai cada vez que vem eles enchem uma? Ai vem outra vez e enche outra?

Quilombola B: Principalmente é o ponto, porque o ponto não pode secar de jeito nenhum, sabe? Esse aqui não pode secar o ponto... E quando tá cheio, embaixo de água ele sai, o tanto, né?

Entrevistadora: Sim. Entendi...

Quilombola B: A defesa civil aqui e acolá... bota também, só que esse ano ainda não veio ainda. Não sei o que é que é projetado, né? Porque era pra ter chegado.

Quilombola A: Mas tão pra chegar. Eles já foram olhar a cisterna lá em casa.

Quilombola C: Foi?

Quilombola A: Foi, pra fazer um ponto.

Quilombola B: Que quando a pessoa não tem água, compra a carrada.

Entrevistadora: Vocês compram, né?

Quilombola B: Quando não tem jeito, compra. Eu mesmo já ia comprar essa semana. Mas a mulher me mandou botar.

Entrevistadora: E qual é a principal fonte de renda de vocês? Já que vocês não vendem os produtos da agricultura?

Quilombola B: Eu mesmo, pra falar a verdade, só quando tem da roça, comer da roça mesmo. Eu não vendo nenhuma de outra coisa [inaudível] deu pra morrer, pronto. A derradeira, no mês de maio, eu vendi. Eu não faço mais futuro de criar nada assim não, sabe? Só mesmo trabalhar pra tirar um milhinho, só. Uma galinha que eu crio... [inaudível]. Pelo menos eu né? Não tenho outra renda nenhuma não, só o meu aposento mesmo.

Entrevistadora: Como Quilombola rural?

Quilombola B: É, é. É a idade mesmo.

Quilombola A: E a minha renda é só o bolsa família e tchau.

Quilombola E: É, e a minha é só o benefício da menina também. É, porque a galinha eu não vendo, só faço comer. Um ovo eu não vendo, só faço comer.

Quilombola C: Eu até que tô querendo vender uns capão que tem lá.

Entrevistadora: É que vocês criam também, né? Galinha... Eu vi que tem uns bezerrinhos também, né? Vocês criam também?

Quilombola C: É, cria. Mas eu mesmo nem tenho nada, é meu menino.

Entrevistadora: Vocês tiram leite também?

Quilombola C: Não.

Quilombola B: Eu como leite, agora, tirar não tiro não. Quando eu quero comer o leite, eu compro, sabe?

Entrevistadora: Sim. Ai vocês compram ali na feira, né? Tem a feira ali?

Quilombolaes A, C e D: Tem, tem. E vende aqui.

Entrevistadora: Ah, vende aqui? Não sabia não.

Quilombola B: Os caminhão vende aqui.

Entrevistadora: Tá bom, obrigada! Era só isso mesmo as perguntas. Muito obrigada pela participação!

- **Transcrição da entrevista com grupo focal 2**

Entrevistadora: Começando aqui a gravação da segunda entrevista do grupo focal. Como eu falei, vão ser perguntas relativas ao trabalho de vocês, a agricultura...Começando com a importância da agricultura. Eu queria que vocês me falassem um pouquinho qual a importância da agricultura na vida de vocês.

Quilombola G: A importância da agricultura na minha vida e para o meu futuro, que eu entendo e reconheço até hoje, é o plantio. A gente aqui divulga muito bem o plantio do milho, do feijão, a palma forrageira... E esse plantio de posta, que é a verdura, tem uma participação também que sempre envolve muito. É o couve, o alface, o cheiro verde, que a gente conhece aqui como o coentro, né? E eu acho que é só isso, né? Na minha participação é o que eu entendo. Eu não sei, mas eu acredito que esse grupo que está aqui, provavelmente a entrevista vai ser tudo a mesma coisa. Obrigado a todos.

Entrevistadora: E com relação ao trabalho de vocês, a agricultura hoje em dia é o trabalho de vocês? Ou não, vocês têm outros trabalhos além da agricultura?

Quilombola H: Não. Praticamente só a agricultura mesmo, né? [inaudível] Porque hoje em dia, emprego aqui é raridade. Aqui não tem benefício para ter assim... Vamos supor, pra mim ter dinheiro para pagar aquela pessoa para trabalhar para mim, né? Aí a gente que quer alguma coisa trabalha pra poder fazer aquilo. Aí a gente só consegue por causa da agricultura. A gente planta, colhe e planta.

Entrevistadora: Certo. Vocês já ouviram o termo “agricultura familiar”?

Quilombola H: Já ouvi falar, mas não conheço não.

Entrevistadora: Não conhece?

Quilombola H: Não conheço não.

Entrevistadora: Como é que vocês trabalham? Quando vocês vão lá plantar? É o pai, a mãe, o irmão, vai todo mundo junto? Como é?

Quilombola G: Praticamente é pai e filho, primo e sobrinho.

Quilombola H: Mulher.

Quilombola G: Mulher.

Entrevistadora: Todo mundo trabalha no campo?

Quilombola G: Todo mundo. E uma participação mais rara que se chama coletivo, né? Para a gente aqui que é uma área quilombola. Trabalha mais dentro do coletivo.

Entrevistadora: Certo. Essa era a próxima pergunta, inclusive. Se vocês trabalhavam em comunidade?

Quilombola G: Aham!

Entrevistadora: Então vocês têm a parte também que vocês fazem em conjunto?

Quilombola G: Em conjunto. E agora principalmente é coletivo.

Entrevistadora: A principal parte que vocês plantam é em coletivo?

Quilombola G: Coletivo.

Entrevistadora: Vocês usam algum tipo de agrotóxico? Vocês acham que a agricultura de vocês é orgânica?

Quilombola G: Sempre, na verdade, o Quilombola que planta o milho sempre usa um adubo. Tem um adubozinho para fazer levantamento na lavoura, né? Porque se não usar também não levanta, porque o solo é muito fraco. Agora o feijão ninguém usa. No feijão ninguém usa o adubo, planta normalmente.

Entrevistadora: Vocês lembram o nome do adubo que é usado?

Quilombola G: Você que usa o adubo...

Quilombola I: É o 10-30.

Quilombola G: Tem o 10-30, né?

Quilombola I: Eu só esqueci. Tem vários. Tem o mapa, né? O mapa é um adubo mais forte. Ele é mais resistência para terra de barro. O 10-30 é mais para terra de areia. Daí, pegando os outros problemas aí... A gente aqui planta. A linguagem da gente aqui é uma só, né? O mesmo que ele planta, é o mesmo que eu planto. Mas, assim, o feijão a gente planta para o consumo da gente, né? Aí quando o feijão dá, que Deus manda o inverno correto, aí a gente guarda e envasa para plantar, e o resto para comer. E se der um bom inverno, que Deus ajude, um inverno que tenha muita safra, aí a pessoa vem para fazer outra sobrevivência. E dizer também que aqui a gente assim... O nosso pontual aqui é feijão e milho, né? Essas outras que a gente planta, assim, melancia, abóbora, mas é coisa rara, porque as nossas terra está muito lavada, já não dá mais. Que antigamente, dava muita melancia, muita abóbora, porque [inaudível] na Caatinga, dava uma boa melancia, uma boa abóbora, um bom chuchu, um bom melão. Mas hoje não dá mais que a terra está só lavada, né? Já muito cultivada, muito trabalhada. E se dá também aqui. Hoje a gente...já plantei muito aqui, o algodão, a mandioca, quando tinha casa de farinha, com os outros antigos. Hoje, esse pessoal mais velho se acabaram, e aí descultivaram as casas de farinha e a gente não planta mais a mandioca. Algodão também, a gente tinha uma boa safra de algodão, mas o despachamento para ir para fora também, hoje a gente já não acha mais. Pra gente plantar e saber o que vai vender, para levar para baixo, para fora, e dizer que aqui também se dá também muito angu, angu dá muito aqui, girassol. Só que lá para fora, é muito combinado o preço, porque lá tem a quem vender, né? Tem as indústrias e tal que compra. Nós aqui, se plantar, dá muito também, que as nossas terras aqui, é provincial pra essas coisas. Mas só que a gente não tem a quem vender. Então se a gente tivesse, a gente plantava... A semente até que tem, mas só que a gente vai plantar para vender a quem? Se não tem o consumo bom para vender. E as nossas terras aqui, é como se diz, é feijão, que é o prato da nossa mesa mais correto, é o milho, a gente faz o cuscuz do milho, faz o silado pro gado, e o gado é subsistência pra gente também, e basicamente é só isso mesmo. Falar no conjunto, no coletivo, aqui é uma coletividade, a gente trabalha junto, cria junto, planta junto, mas cada quem cultiva o seu pedaço. Então se você vai trabalhar dois pedaço de terra, duas tarefas, você vai, pode ter duas tarefas, você trabalha na sua terra, as outras duas nas outras duas, e a gente trabalha tudo aqui na coletividade, tudo, tudo. Mas quando vai colher, cada um colhe o seu pedaço. Portanto, você pode cuidar do quanto você pode gastar do seu bolso para planejar essa verdura que a gente plantou pra comer. Basicamente é só isso mesmo...

Entrevistadora: Perfeito. E com relação à fonte de água, no caso, você falou que vocês plantam no inverno, né?

Quilombola I: Só no inverno.

Entrevistadora: Só no inverno. Então vocês não fazem irrigação?

Quilombola I: Não tem como, porque não tem água.

Entrevistadora: Não tem água, né?

Quilombola I: Exatamente. Os tanque são [inaudível] o consumo do gado e do povo, e a gente tirar para fazer o plantio, porque aqui é o sertão, é sertão. [inaudível] E a horta é muito boa, entendeu? Mas fazendo o reservatório de água para não faltar para a gente sempre cultivar, aqui dá uma boa verdura, de boa qualidade.

Entrevistadora: Com relação ao destino dos alimentos, então foi o que você falou, né? Os alimentos hoje que vocês produzem aqui, vocês não vendem?

Quilombola G: Não. Só consumir.

Entrevistadora: Só consumo próprio, certo. Então, antigamente vocês ainda vendiam? Produziam outras coisas?

Quilombola I: Os invernos, os invernos eram muito bons.

Quilombola G: Há uns 20 anos atrás...

Quilombola I: É, os invernos eram certos demais. Hoje você dá dois invernos bons, aí vem dois, três ruins. Aí já desmancha aquele que a gente fez, cultivou aquele ano que deu bem, aí você já fica descalço, que já acabou o legume, né? Os cereais de plantar já tem que comprar fora, entendeu? E os invernos nunca vêm certos, corretos. Se vier certo, ave maria, é o que mais eu dou valor. Graças a Deus, porque todo mundo tem coragem de trabalhar. Bota a roça, mesmo que perca, porque no inverno a chuvinha é pouca, mas todo mundo está com aquela fé, fé naquela roça ali.

Entrevistadora: Então, nos últimos anos, vocês perceberam que diminuiu a chuva mesmo, no inverno?

Quilombola I: Diminuiu.

Quilombola G: Diminuiu 50%.

Quilombola I: Quando eu era pequeno mesmo, era chuva, era chuva! [inaudível]

Quilombola G: Eu cansei de... Meu pai plantava todo ano trinta e cinco tarefas de roça. Nós cansemos de agosto para setembro colher o feijão, arrancar e pendurar no milho, senão nascia na roça, que a chuva não dava espaço para a pessoa arrancar e ainda enxugar para armazenar, que se armazenar molhado ele apodrece... E hoje não. Hoje, quando cai lá pra o mês de agosto, às vezes, quando o feijão já está soltando a flor, para colher a vagem, já pega sol, pegou sol, já perdeu. Três dias de sol é o suficiente já para você perder 50% da lavoura.

Entrevistadora: A próxima pergunta é quais são as principais dificuldades que vocês enfrentam hoje, no dia a dia, quando vocês estão plantando, colhendo? Seria essa questão mesmo da chuva?

Quilombola G: A dificuldade daqui hoje primeiramente se chama água. Segundo recursos próprios, a gente não consegue. Se, por exemplo, nós tivéssemos a cada cinco meses ou noventa dias chuva, para o recurso próprio seria bem melhor, mas como não acontece...

Entrevistadora: Ou chuva ou irrigação, né?

Quilombola G: Ou chuva ou irrigação, mas aqui eu acredito que nenhuma irrigação vai conseguir resolver nossos problemas, sabe por quê? Porque a nossa água aqui dá acima de 100% sal, cavar um pouco nesta região. E para você ampliar hoje no *sanalizador* [dessalinizador] para água doce, tem que ter um recurso mais ou menos na média de cinquenta a cem mil reais.

Entrevistadora: E para irrigar precisa de muita água...

Quilombola G: E muita água! Nós temos aqui, o poço aqui que tem bastante água, eu capturo do poço quinze mil litros de água por hora. Dos quinze mil litros de água, eu consigo fazer só cinco mil litros de água potável.

Entrevistadora: Como é que você faz?

Quilombola G: No *sanalizador* [dessalinizador]

Entrevistadora: Ah, você tem aqui?

Quilombola G: Tem o *sanalizador* [dessalinizador] aí, tem tudo. Não estou fornecendo água para o pessoal beber porque a bomba está quebrada. Aí com a bomba quebrada, eu não posso fazer água doce. Eu tenho que fazer lavagem nas membranas depois para fazer o processo. Se eu fazer três operações e não lavar, o salito gruda tudo e perde. Só uma membrana só hoje, por um reconhecimento que eu tenho da empresa, né? Só as membranas que eu tenho lá, são quatro membranas, vai ficar em torno de quase 40 mil reais. Aí eu não posso fazer esse processo, elas vão travar tudinho.

Entrevistadora: E a água hoje que vocês consomem é desse poço? A água que vocês consomem no dia a dia para cozinhar, tomar banho?

Quilombola G: A que a gente consome hoje é diretamente do rio, botado pelo caminhão pipa.

Entrevistadora: Certo. E aí quem envia esses caminhões? É a Prefeitura?

Quilombola G: Às vezes a Prefeitura, você mesmo compra particular, se não quiser sofrer mais consequências, entendeu? Tem minha comadre aqui que fornece muito. Tem também o exército. Ou é defesa civil? O exército, né?... O exército que sempre segura. A defesa civil nem se fala mais, tem mais de dois anos que ninguém nunca ouviu nem a cor de uma defesa civil, só proposta.

Entrevistadora: E nesse caso, como é que funciona? Vocês entram em contato com eles falando “ó, está secando aqui a cisterna, precisa de mais”? Ou têm uma frequência certa?

Quilombola G: Não, não, não...

Quilombola J: Tem os pontos, aí eles vem fazer... Tem as quantidade de carrada (Quilombola J)

Quilombola G: Por exemplo, deixe eu ver, deixe eu ver aqui quantos pontos funcionam... Um, dois, três, quatro pontos. Aí digamos que no quarto ponto, cada um ponto desse recebe cinco carradas por mês. Mas não é o suficiente. Cinco carradas por mês por ponto não dá pra combater nem 5% da população da comunidade. Só que é um critério em contrato deles, né? A gente tem que receber o que eles determinam. Mas funciona desse jeito.

Entrevistadora: E fora essa água, vocês usam a água do poço?

Quilombola G: É, o poço, quando a bomba está funcionando, muitos vão pegar, porque a água é potável. Ela deu acima de 100% natural. Nem a água mineral hoje, a gente já fez o teste, porque a mineral que vende no supermercado perde pra ela. Só que a bomba, nós não pode fornecer, por causa disso...E a água é muito boa. O povo também, na verdade, tem muitos que tem preguiça de pegar, se fornecer.

Entrevistadora: Fica longe, é?

Quilombola G: É nada. Quando você entra aqui, não tem a igreja aí? Não tem a casa desse lado? É ali o poço. Se você quiser dar uma verificadazinha, você vai lá comigo, vou lhe mostrar, vou lhe ensinar um pouco do processo, como funciona, viu? E nós tem uma área também que pode ampliar o poço nesta região. Não a energia corta-vento solar, né? Giratório, que é na São Jorge. É uma área das mais perfeitas pra essa horta se fosse principal lá dentro, que eu até insinuei na época, mas... Resolveram fazer por aqui mesmo. Não, porque aqui já tem cisterna de quarenta mil litros ou é cinquenta. Não sei nem o total dela. Vai botando no carro-pipa. Mas só que se fosse um poço de corta-vento solar, eu tenho certeza que lá na São Jorge dava melhor. E a água não dá salgada. Porque lá nós temos uma nascente que ela nunca seca. Quando você perfurar na média de dez metros, não, lá não vai chegar nem dez, na média de sete metros de profundidade, você já encontra água. E ela não é salgada. É água normal.

Entrevistadora: Vocês participam de algum programa social atualmente? Por exemplo, seguro-agricultura, Pronaf, seguro-safra, PNAE, algum desses programas? Vocês têm algum suporte, alguma participação?

Quilombola G: É o inverso.

Entrevistadora: O inverso?

Quilombola G: É, que na verdade, esses programas aí... Dois, se não fossem eles, praticamente a maioria aqui não sobrevivia, né? Que se chama garantia safra e bolsa-família. É os dois programas mais contemplados do estado do Brasil, de Sergipe. E sem ele aqui, ninguém não vive.

Entrevistadora: Então todos vocês participam do bolsa-família e do seguro-safra?

Quilombola G: Seguro-safra, sim.

Entrevistadora: Vocês recebem algum insumo para iniciar a produção? Por exemplo, sementes, pequenos animais, defensivos, ferramentas. Vocês têm algum suporte do governo, da prefeitura, de algum órgão, hoje em dia?

Quilombola I: Rapaz, o governo Belivaldo Chagas sempre mandava dois litros de feijão, três litros de feijão, dez quilo de milho. Mas aí é raro, de vez em quando. Não é todo ano, não é correto, todo ano, direto, né?

Entrevistadora: Mas você fala do feijão ou da semente?

Quilombola I: Da semente, para plantar. Mas ele nunca mais mandou. E aí esse outro agora que entrou, não sei se ele vai mandar, mas é coisa minha, é de cada pessoa... Realmente, se a gente for esperar por essa semente não produz nada não.

Quilombola G: Na verdade tem que ser correto. Se for por assistência do governo, ninguém planta nem corta nada. Tem que ser suficiente e correto.

Entrevistadora: Então no caso de vocês, todos os insumos que vocês compram, vocês compram do...?

Quilombola I: Do nosso bolso mesmo, porque, basicamente, quando eles mandam já é pouco. Aí a chuva já passou. Aí vai interessar o que?

Entrevistadora: Não mandam na época certa?

Quilombola I: Não mandam na época certa, porque tem que mandar antes do inverno. Aí já manda o inverno já passado todo. O nosso inverno aqui já é mais, que nem foguete, é mais relâmpago.

Quilombola G: O nosso inverno é muito raro. Quem não plantar no período de sessenta dias, já está correndo o risco de não colher.

Entrevistadora: E no caso, vocês falaram que plantam também milho e palma, né? Aí a palma é para o gado?

Quilombola I: Pra os bichos, é, pra o gado.

Entrevistadora: Certo. Existe alguma colaboração da Secretaria de Agricultura da região na produção aqui? Suporte técnico? Alguma coisa assim?

Quilombola G: O que eu entendo é, na verdade, no tempo antigo, mais atrás, há cinco anos atrás, mais ou menos, sempre ainda existia um acompanhamento técnico. Só o técnico, né? Mas ajuda mesmo, infelizmente, não. Quando acontecia de sair umas, por exemplo, vai sair vinte sacos de cimento para a comunidade de Serra da Guia. Sempre tinha um fiscal da agricultura que acompanhava a fiscalização que você plantava ou se não plantava e se consumia aquele cimento que você pegou. Mas isso aí já tem uns cinco anos a seis que não existe mais.

Entrevistadora: Então, como é que vocês se sentem hoje com relação aos apoios que vocês recebem? Ou falta de apoio? Vocês gostariam de receber mais apoio de algum órgão?

Quilombola G: Infelizmente, isso é o que é necessário.

Quilombola I: É, é interessante.

Entrevistadora: Com relação aos alimentos que vocês produzem, vocês estão satisfeitos com a qualidade e quantidade que vocês produzem hoje em dia? Vocês têm algum interesse em aumentar a produção ou melhorar a qualidade do produto ou diversificar, plantar coisas diferentes? O que vocês pensam para o futuro?

Quilombola I: Rapaz, na cabeça da gente a gente pensa muita coisa boa. É porque é difícil de chegar lá, né? Mas a gente pensa em crescer. Não ficar atrasado. Aumentar, cada vez mais avançar. Isso é muito importante porque nós precisamos muito dessa ajuda. Em tudo, um reforço pra pessoa, né? Pra ter mais potencial para trabalhar mais, para gerar mais né? Bem! Acho que é muito importante.

Entrevistadora: Tem algum alimento que vocês gostariam de plantar?

Quilombola J: Se tivesse, como Quilombola G falou, se tivesse a água para a gente plantar aqui, seria bom plantar o alface, o tomate, o coentro. Só que aí a dificuldade da água é grande. Se a gente ficar tirando a água da cisterna, pra gente regar, depois aquela água vai fazer falta pra gente que já recebe pouca água. Aí fica difícil, né?

Entrevistadora: E você pensa nesses alimentos, por quê?

Quilombola J: Porque eles são uns alimentos que eles dão e que eles não precisa de tanta regação de água. Você rega, vamos supor, uma vez ou duas vezes por dia, está bom... Minha sogra, ela plantava quando ela morava lá em casa, e eu via. E era tudo verdinho. Só que aí é falta da água para a gente plantar.

Quilombola K: E é mais sadia, né? Na feira nós só come veneno...

Quilombola G: É. Não tem agrotóxico.

Entrevistadora: Vocês acabam, no dia a dia, comprando os alimentos da feira? Não orgânico?

Quilombola G: Infelizmente, sendo possível fazer esse plantio aí, não é só bom para quem planta, não. Nem só para você usar para o seu consumo, não. Se você tiver um [inaudível], por exemplo, de quarenta metros quadrados de cada tipo desses que foi falado aí, o alface, o tomate, o pimentão, a cebola, que cebola dá também e muito boa, o alho funciona também. Você já está gerando uma renda mínima para você cultivar a venda. Entendeu? Não só para o seu consumo. Porque se você fazer isso aí tendo a água, você tem a colheita cada cinco meses, por aí, que não vai chegar nem a nesse período, de quatro meses para trás é a média que você já está usando esse produto. Entendeu?

Entrevistadora: E esses produtos teria que comprar?

Quilombola G: Comprar!

Entrevistadora: Porque são produtos do dia a dia, né?

Quilombola I: Se a gente tivesse uma produção dessa que ele está falando aí, bem avançada, nós não sairíamos mais para a feira.

Quilombola G: Ninguém iria sair.

Quilombola I: Nós ia comer uma coisa que não ia se dar mal. Porque as que nós come que vem da feira, meu Deus do céu! É o veneno brabo. Por isso todo mundo vai morrendo com câncer aí, por causa desses veneno brabo... Se nós tivesse uma perna do rio, dava uma irrigação mais linda do mundo aqui e saudável e sadia. Mas o problema daqui se diz, é a água. Porque a água é difícil aqui, viu?

Entrevistadora: Certo... Agora, o último bloco de perguntas é com relação ao biocarvão de lodo, que eu expliquei para vocês inicialmente que eu estou trabalhando. Se você tivessem a possibilidade de usar um material como esse, vocês gostariam de usar?

Quilombola I: É muito bom.

Entrevistadora: Existe algum receio por vir de um material que foi do esgoto, que foi do lodo do esgoto? Vocês têm alguma preocupação com relação a isso?

Quilombola I: Não, porque a gente perde tudo, né? Se a gente pudesse recolher para fazer o intermediário, e outra coisa melhor para a gente era bom. Porque isso aí, se vai tudo para o esgoto, pra gente é um consumo perdido que está lá, né? Eu vejo muitas casas, quando eu passo ali, jorrando água assim, cheinho. Se pudesse aproveitar de voltar, entendeu? Mas não tem como.

Quilombola G: É, inclusive, o grupo de hoje, né? Estou vendo aqui, um, dois, três, quatro, cinco, seis, sete. Eu ia sair daí. Eu já fiz um preparo. Vou ver o carvão. Se vocês quiserem cada quem a média de um quilo por pessoa, eu posso ceder para vocês fazerem o término em qualquer um desses tipos de lavoura que a gente falou aí. Para vocês plantarem e verem qual é a oportunidade que o solo vai dar para esse produto crescer e produzir. Se é mais rápido, se é de menos, ou avança muito mais, viu?... A gente já pode fazer um teste por aí também. Em vez de só eu só, ser só eu, né? Mas a gente já tem muita andada aí. Posso ceder para vocês. Aí vocês vão dizer, vocês fazem um teste lá. Quando vocês dizer, rapaz, pronto, eu tenho a mistura. Eu tenho o solo com o biocarvão preparado, o solo com o esterco do gado, e tenho o solo puro completo, só ele mesmo. E aí desses três, eu tenho certeza de 50%, que eu não fiz o teste ainda com o biocarvão, mas fiz o preparo, né? Que o esterco de gado vai avançar muito bem, viu?

Entrevistadora: Vocês usam no dia-a-dia? O esterco?

Quilombola G: Usa. Hoje, para plantar uma palma nessas areias, se não tiver, você não planta. Você vai comprar um adubo lá na [nome da loja], um saco de adubo hoje, no mínimo, no mínimo vai ser R\$250, R\$300 conto. E o adubo de gado você tem aí de graça. Chegou no fazendeiro, você diz assim: “eu quero aqui uma carrada de caminhão a R\$200 conto”, o cara vende. E com a carrada de caminhão, hoje você vai plantar aí na média de cinco, seis tarefas de palma.

Quilombola I: E boa.

Quilombola G: Se ela tiver de dar no solo fraco com três anos, com esterco com um ano ela está bem, mais ou menos nessa média.

Entrevistadora: Então, hoje, quando vocês preparam o solo, vocês usam só o esterco?

Quilombola G: Esterco de gado. Muitos ainda usam o agrotóxico, que de qualquer maneira o produto do adubo hoje, ensacado, ele tem um agrotóxicozinho, se não tiver, ele não levanta. E o esterco não, dois ponto. A gente tem aqui era plantado com ela. E na verdade verdadeira, se disser que é bom, pode ser bom para destruir o solo, porque aquela palma nossa da associação ali, foi gastado adubo e dinheiro como a luma nela, e a palma não vale nada! Tem palma plantada no esterco de gado lá que dá, oxe, é demais!

Quilombola K: O de lá tira diferente... [inaudível].

Quilombola G: É só para você investir dinheiro pra as empresa.

Quilombola K: É, só pega a primeira fia. Chegou a primeira fia ali, ela tira.

Quilombola G: Já foi!

Quilombola K: Não adianta. Já o esterco se você bota hoje, toda a [inaudível] que dá, ele vai embora.

Quilombola G: E tem mais essa vantagem. Você apronta ele agora, né? Digamos que de hoje, nós estamos em 2023, vamos tirar a palma lá em 2026. Quando você tirar lá em 2026, não é necessário você adubar com o esterco de novo, não. Você virou a terra, a terra está adubada do mesmo jeito.

Entrevistadora: Dura bastante tempo, né?

Quilombola G: Exatamente.

Entrevistadora: Pronto... Então, finalizei as perguntas que eu queria fazer. Eu queria perguntar se vocês têm mais alguma coisa que gostariam de falar do dia a dia. Fiquem à vontade. Se lembrarem de alguma coisa que eu não perguntei.

Quilombola G: Fica com vocês, galera, agora

Quilombola K: Que não falaram ainda, né?

Quilombola G: Nada? Nada, ninguém? Tem sim. Vamos deixar de cerimônia.

Quilombola K: Aí é mais pra vocês que vive de reunião em reunião, aí vocês têm tudo na cabeça. Quem não vive...

Quilombola G: Não, não. Olhe, a mulher hoje em casa, ela divulga mais assunto de que o homem.

Quilombola I: É.

Quilombola G: Pode ter certeza. Se fazer pesquisa hoje, quem sabe mais das coisas, e quem entende. O homem ou a mulher? Na pesquisa vai mostrar 10% a mais a mulher. Sério!... Tem nada mais? Se não tiver, a gente fecha.

Entrevistadora: Se não tiver a gente encerra.

Quilombola K: Fiquei satisfeita com as suas perguntas.

Entrevistadora: Ah, que bom! Está bom, então. Muito obrigada pela participação de todos!

• Transcrição da entrevista com grupo focal 3

Entrevistadora: Vamos dar seguimento à terceira entrevista do grupo focal aqui em Serra da Guia. Então, inicialmente eu vou fazer só algumas perguntas, é mais uma conversa mesmo, sobre a relação que vocês têm com a agricultura. Então, primeiro eu queria que vocês me dissessem qual a importância da agricultura para vocês.

Quilombola N: Eu acho que tem toda a importância, por causa que desde criança que a gente já vive nesse meio da agricultura, por causa dos nossos avôs, pais, outras coisas. A gente já cresceu com isso, já.

Entrevistadora: Você aprendeu desde novinha, então?

Quilombola N: Já, desde pequena eu já ia pra roça. Mesmo sem saber, mas eu já comecei a aprender. E agora que já sou mãe de família, a gente continua. Botando minha rocinha, duas tarefas, feijão, milho, essas coisas.

Quilombola O: É praticamente um modo de sobrevivência, né? Porque a pessoa planta e dali mesmo a pessoa colhe para comer.

Entrevistadora: Sim. Então a importância é bem grande, né?

Quilombola M: É.

Entrevistadora: Vocês já ouviram falar do termo “agricultura familiar”?

Quilombola N: Já.

Entrevistadora: Já? Vocês acreditam que vocês fazem agricultura familiar?

Quilombola N: Sim. Quando a agricultura chegar a ser agricultura familiar, tipo também...como que se diz? Todos plantando na mesma área, sem ter demarcação. A única demarcação que tem é que eu boto minha roça, já sei, só boto um piquete para saber até onde vai a minha roça, dali já é da outra pessoa, que é no caso comunitário, né? Que é da comunidade. Não tem necessidade de ninguém estar cercando nada, só plantar, todo mundo já sabe sua areazinha.

Entrevistadora: Certo. E no caso, assim, vocês também passam, como você tinha falado, de pai para filho?

Quilombola N: Isso, é. De coração. Tipo a gente, geralmente trabalha com pai, né? Ele bota a roça, nós ajuda ele e trabalha com ele.

Quilombola P: Eu trabalho mais os meus filhos. Mas trabalha mais eles do que eu, porque eu fico mais trabalhando, e eles que vão pra roça.

Entrevistadora: Certo. Vocês acreditam que vocês praticam agricultura orgânica ou agroecologia? Já ouviram também falar nesses termos?

Quilombola N: No caso, eu acredito, porque não usa produto tóxico, [inaudível] não chega nem a utilizar o adubo mesmo. Só depende da chuva, a gente, e planta, às vezes, de maquinazinha normal, de trator raramente planta feijão aqui.

Entrevistadora: Então, vocês acreditam que os produtos que vocês produzem são orgânicos?

Quilombolas [em uníssono]: São.

Quilombola N: São. Porque, tipo, se der lagarta, não vai botar nada para combater a lagarta. O que der, deu, o que não der, também não usa nada.

Quilombola P: É, deixa pra lá, né?

Entrevistadora: Certo. A próxima pergunta vocês já meio que comentaram um pouquinho. Vocês produzem de forma individual ou de forma comunitária, ou os dois? Como é o plantio?

Quilombola N: No caso, eu acho que chega a ser os dois, porque, tipo, quando é para juntar, junta certas pessoas... Eu tenho duas tarefas, aí junta aquele pessoal que têm duas tarefas, aí tá tudo junto. Aí, quando dá a quantidade da hora, a gente junta aquele pessoal ali para poder compartilhar, para poder fazer a mistura. No caso mesmo, só faz, tipo, é comunitária. Só que, quando todo mundo planta, certamente é comunitária, mas, ao mesmo tempo, cada quem tem seu pedacinho, tipo, quando vai colher.

Entrevistadora: Certo. Então, no caso, é um terreno só, que vocês plantam todo mundo junto?

Quilombola N: Isso. Só para plantio.

Entrevistadora: Vocês costumam ter horta em casa, alguma coisa no quintal de casa? Ou, geralmente, é só na parte comunitária?

[inaudível]

Quilombola P: Eu tenho lá, né?

Quilombola N: É difícil por causa da água.

Quilombola O: É difícil, porque o ponto sempre está muito quente, e aí é difícil para poder manter.

Entrevistadora: Como vocês aprenderam a plantar? Quais técnicas vocês utilizam? Por exemplo, vocês fazem alguma calagem? Vocês fazem alguma adubação de solo? Como é que vocês preparam o solo?

Quilombola N: Só aragem mesmo.

Quilombola O: Ara, vai deixando o mato secar lá mesmo, pra adubar, mesmo, já tem o próprio mato.

Quilombola N: Dependendo... Se for roça, assim, queimada, feita há pouco tempo, vai cavando com o chaveque, e vai plantando.

Quilombola O: Só limpa a área, queima, e planta de chaveque.

Entrevistadora: Geralmente vocês botam algum adubo?

Quilombola O: Não.

Entrevistadora: Não? Geralmente é sem adubo? Só natural mesmo?

Quilombola N: Muito raro, né?

Quilombola P: É, só o pessoal mesmo que quer [inaudível]. Os fazendeiros, né? Praticamente.

Quilombola N: Tem alguns que coloca... O esterco nos negócios de palma, né? Esterco de vaca, de ovelha, dessas coisas.

Entrevistadora: O esterco fica só na palma, no caso?

Quilombola N: Isso, no caso é, o pessoal utiliza mais na palma aqui. No feijão não se coloca não, por conta que ele é muito quente.

Quilombola P: Esquenta. Como aqui já tende a ser mais quente, quando esquenta...

Entrevistadora: Aí se esquentar muito, o feijão não aguenta, no caso? E a palma aguenta?

Quilombola N: É, a palma aguenta.

Entrevistadora: Certo. Quais são as fontes de água que vocês utilizam aqui pra produzir?

Quilombola N: Pra produzir mesmo, plantação, só a água da chuva.

Quilombola P: Só a chuva.

Quilombola Q: É, só a chuva, quando Deus manda. Pronto. E rezar pra dar.

Entrevistadora: Então, fica limitado ali a quais meses do ano, assim, que vocês geralmente plantam?

Quilombola N: Começa em maio.

Entrevistadora: E vai de maio até quando, mais ou menos?

Quilombola P: No caso, acho que... [inaudível]

Quilombola R: Vai de maio, né? Quando a chuva está boa. Quando a chuva dá boa, a pessoa planta. Quanto está mais fraco, espera chover mais.

Quilombola P: É, quando dá uma chuvinha, tem aqueles que já vai plantar logo. Outro já espera chover mais um pouco para poder plantar, né? Tem um pessoal que planta, tipo... Tem uma época que começa a plantar um pouquinho de roça queimada. Se a chuva está boa, começa a plantar já as outras coisas.

Entrevistadora: E só dá tempo de plantar um ciclo, então? Não dá tempo de plantar, colher e plantar de novo?

Quilombola N: Não.

Quilombola P: Não dá.

Entrevistadora: Só um ciclo mesmo?

Quilombola N: Em todos os anos, só é um ciclo mesmo.

Entrevistadora: Certo. Os alimentos que vocês produzem, vocês acham que eles têm uma boa qualidade?

Quilombola P: Eu acho que eles têm uma boa qualidade sim.

Entrevistadora: Vocês estão satisfeitos com a qualidade do produto?

Quilombola R: Sim.

Entrevistadora: E qual é o destino desses alimentos?

Quilombola N: Pra comer.

Quilombola P: Pra consumo, pra consumo próprio mesmo.

Quilombola N: Na realidade é pra consumo mesmo e para próximo ano plantar de novo. Guarda, é aquele, para o próximo ano já.

Entrevistadora: Então, vocês não vendem nenhum produto?

Quilombolas [em uníssono]: Não.

Quilombola N: Eu não chego a vender porque, tipo, às vezes não dá, né? A comida, divide com a família, aí a família vai e acaba. Aí a gente vai, ajuda, aí pronto.

Entrevistadora: Então, só fica aqui entre vocês, a comunidade mesmo, né?

Quilombolas [em uníssono]: É.

Entrevistadora: Certo. Quais são as principais dificuldades? No dia a dia, quando vocês estão lá plantando, o que é que é mais difícil, pra vocês? [...] Quais são as maiores dificuldades?

Quilombola Q: O calor.

Quilombola N: Tem as etapas, né Quilombola P? Tem a etapa do plantio. Aí, tipo, no plantio, tipo, dependendo de quem vai plantar, tem a dificuldade de encontrar alguém que saiba manusear a máquina ali pra poder plantar essas coisas. Ou, tipo, quem vai plantar de trator, aí no caso tem que esperar, né? Agora não, que agora tem dois trator, vai ficar mais rápido.

Entrevistadora: Mais rápido, né? O solo, assim, ele é difícil? Ele é duro? Alguma coisa assim? Ou é tranquilo?

Quilombola N: Então, tem partes que é mais dura. Caso, tipo, nas partes que tem, que desce água, aí perto dali já é mais duro, né? Mas nas outras partes é mais... [gesto com a mão e cabeça: “mais ou menos”].

Entrevistadora: Certo. E a questão da água, né? Que vocês falaram que vocês dependem da...

Quilombola N: E a água também só porque depende só da chuva. A questão da água, que só dá pra plantar um ciclo só mesmo.

Entrevistadora: E como é que vocês colhem? Manualmente?

Quilombola N: Com a mão. Aí trator, carroça, o que tiver, vai buscar. É pra ir buscar. Mas pra colher mesmo é na mão.

Quilombola Q: Bate...

Quilombola N: Bate. Depois outra família vai arrancar. Depois traz, bota no sol. Junta os mói, pega os cacete e... Desce o cacete.

Entrevistadora: Certo. E quais são os alimentos que vocês produzem?

Quilombola N: Minho e feijão. Minho e feijão, é, basicamente... Tem algumas pessoas que gostam de plantar um pézinho de abóbora dentro da roça.

Quilombola Q: Nem a abóbora está dando mais.

Quilombola P: Está difícil mesmo.

[inaudível]

Quilombola N: Não, mas é mais o milho e o feijão. Ano passado deu muito.

Quilombola P: Ah nossa! Deu duas...

Quilombola Q: O quê? Abóbora? Aqui pra nós, aqui. Aqui mesmo não...

Quilombola P: Antigamente dava bastante, né?

Quilombola Q: Era, mas agora...

Entrevistadora: E a abóbora parou, por quê? Não estava vingando, era?

Quilombola N: Não, porque tipo, eles plantam, sabe? Eles plantam no meio da roça, assim, tipo, plantam uns pezinhos, né? Aí, quando está bom... Mas as vezes não dá nada.

Quilombola Q: E não dá também aqueles melão, né?

Quilombola P: Às vezes a chuva só dá pra vingar o feijão mesmo.

Entrevistadora: E por que vocês escolheram... Por que feijão e milho? Tem algum motivo específico?

Quilombola Q: Porque o milho a pessoa come, dá para as galinhas...

Quilombola N: É mais consumido. No caso, o feijão é mais consumido.

Quilombola O: E o milho.

Quilombola N: O feijão é o que a pessoa come, né? O mais usado é milho e feijão.

Quilombola Q: Feijão é de manhã cedo, meio-dia e de noite. Pronto, acabou tudo.

Entrevistadora: Três vezes no dia, né?

Quilombolas [em uníssono]: É.

Entrevistadora: E o milho, então, vocês usam também para alimentar as galinhas?

Quilombola Q: Isso, é.

Quilombola P: Quando seca, né? Madurinho a gente vai comendo, aí quando seca, vai dar às galinhas, né? Para não ter que comprar.

Entrevistadora: Então é um alimento que não desperdiça, né?

Quilombola P: É, e também já serve para as vacas, essas coisas...

Quilombola O: As palhas.

Quilombola Q: Tem muita gente também que planta palma, né?

Quilombola P: Não, mas a palma já é por fora...

Quilombola Q: É, é que o milho e feijão é pra consumo.

Entrevistadora: Não, mas é tudo mesmo. A palma também vocês plantam?

Quilombola N: É, planta palma também. O pessoal tem já as roças. Já que elas são prolongadas, né? Planta e deixa lá, aí vai só cuidando.

Entrevistadora: A palma é para o gado, no caso?

Quilombolas [em uníssono]: É.

Quilombola O: Mas quem tem gado, né?

Entrevistadora: E nas áreas dos quintais, quem planta, geralmente planta o quê?

Quilombola Q: Lá no quintal de Quilombola X tem palma plantada.

Quilombola N: Tem. Tem um pessoal que gosta de plantar um pedacinho de palma. Cria galinha, as vezes...

Quilombola Q: O meu tem palma, tem cajueiro, tem galinha...

Quilombola P: O meu tem cajueiro também.

Quilombola Q: Caju. Tem tudo... Só não tem gado.

Quilombola N: E o que tem lá nela. Já tem pé de coqueiro, no quintal.

Entrevistadora: O que vinga aqui, é o que? Cajueiro? Já tinha aqui na região ou vocês trouxeram e plantaram?

Quilombolas [em uníssono]: Já tinha.

Quilombola N: Já tinha. O nosso já tinha... No caso foi plantado aí, mas só que já tem muito tempo.

Entrevistadora: O quê? O Cajueiro?

Quilombola N: Cajueiro, é. No caso dela tem pé de coqueiro que foi plantado também. Aí... vá dizendo

Quilombola Q, o que é que tem lá na sua casa.

Quilombola Q: Só cajueiro mesmo.

Quilombola N: Tem pé de ciriguela aqui nos quintal também.

Entrevistadora: Certo. E aí vocês também, quando dá, vocês usam só para consumo também?

Quilombola P: Tem laranjeira, acerola... Mas está tudo novinho ainda.

Quilombola O: Então, mas tem de falar... É pé de manga. Pé de mangueira.

Quilombola Q: Jenipapo.

Quilombola O: Então, tem que falar.

Quilombola N: Mas tem, mas está vingando.

Quilombola O: É, é porque está pequenininho ainda, né?

Quilombola Q: Goiaba.

Quilombola O: Mas cresce, né? Que não vai ficar pequenininho por vida.

Quilombola N: Só se morrer, né?

Quilombola O: É, então, mas bota água, né?

Quilombola Q: Não, mas é porque essas água... Toda planta. Toda fruta. Só fica bonito quando a água cai do céu.

Quilombola P: É mesmo!

Quilombola Q: Quando é botada...

Quilombola O: É, não é a mesma coisa não. Porque lá em casa dá um pé de maracujá, bem bonito, está botando, mas...

Quilombola N: Mas não está morrendo, não? Com a água da barragem?

Quilombola O: Não, não. Mas eu estou dizendo assim, quando cai aquela chuva, chega fica bonitinho.

Quilombola N: É, chega fica bem bonito...

Quilombola P: É, tipo as laranjeiras, fica tudo bonitinho, mas não segura.

Entrevistadora: Vocês participam de algum programa social? Por exemplo, seguro agricultura familiar, bolsa família?

Quilombola P: Sim, no caso o seguro safra.

Entrevistadora: Segura safra?

Quilombola N: Isso.

Entrevistadora: E bolsa família?

Quilombolas [em uníssono]: Bolsa família também.

Quilombola P: Seguro safra e bolsa família, né? Se não fosse o bolsa família todo mundo já estava era morto. Não sabia nem onde estava.

Quilombola Q: É mesmo.

Quilombola R: Não tenho emprego. Não tem do que viver... Acaba só o bolsa família mesmo.

Quilombola N: Só isso e os negócios que a gente planta também, né?

Quilombolas [em uníssono]: É.

Quilombola N: Planta o feijão e fica o ano todinho, graças a Deus, quando o feijão está lá no alto no mercado, aí a gente não compra.

Quilombola R: Mas é que a bolsa família você vai pensando: “Que dia vou tirar meu dinheiro? Preciso comprar minhas coisas.” Tem que dizer!

Entrevistadora: Mas aí a questão de vocês plantarem o feijão já ajuda? Na inflação, né?

Quilombola O: É. Ajuda bastante, é.

Quilombola N: É, porque tipo, quando o feijão chegou de R\$7,00, R\$8,00, que a gente chegava lá...

Quilombola P: De R\$8,00 e R\$10,00, já chegou!

Quilombola N: A gente passava lá e não comprava o feijão porque já tinha em casa.

Quilombola P: Imagine quem tem muito filho?

Quilombola R: Não, mas aqui também, aqui tem muita gente que tem muito filho. Mas não planta feijão, não, filha.

Quilombola N: Mas é porque quer. Porque terra, graças a Deus, nós temos para plantar.

Quilombola R: É, mas não tem coragem. O negócio é coragem que não tem.

Quilombola N: Tipo, aqui só não planta quem não...

Quilombola O: Quem não quer.

Quilombola N: Quem não tem a coragem mesmo, sabe?

Entrevistadora: No caso, vocês já pensaram em plantar algum outro tipo de alimento e deixaram de plantar por algum motivo, ou não?

Quilombola N: O pessoal plantava a mandioca, né? Antigamente. Para fazer farinha, tinha a casa de farinha e tudo. Só que aí diz que agora, nesse tempo, não dá não mais... Que eu lembro que eu era pequena, e aí na casa de tio Quilombola X tinha muito, era muito.

Entrevistadora: Então, hoje em dia, no caso, o tempo ficou mais difícil?

Quilombola N: Ficou. Não dá mais para plantar não.

Quilombola R: Mas ficou difícil assim, porque derrubaram a casa de farinha, se acabou os... As coisas de roda para moer, né? Aí se acabou. Mas se não, ainda hoje estava.

Quilombola N: Mas só dá quando Deus manda a chuva mesmo que dá.

Quilombola R: Sim... Mas, minha filha, mas Deus mandava, as mandiocas iam crescendo. Aí as mandiocas iam crescendo ali, ó [gesto apontando com a mão].

Quilombola N: Aí quando estava boa de colher, aí fazia a farinha.

Quilombola R: Era, era uma farinha boa.

Quilombola O: Eita, Quilombola R engraçada.

Entrevistadora: E vocês recebem algum auxílio além desses programas? Por exemplo, sementes, mudas, adubo? Do governo, de alguma coisa?

Quilombola P: Então, antes tinha das sementes. Mas só que agora... Tem o milho, né?

Quilombola N: O milho, mas chega atrasado também. Quando vem chegar, a gente já plantou.

Quilombola P: E dificilmente, agora diminuiu também, tipo, antigamente vinha mesmo, milho, feijão solto. Agora, tipo, essa veio... O ano passado, não foi?

Quilombola N: Foi esse ano, mulher.

Quilombola P: Esse ano?

Quilombola N: Esse ano veio o milho.

Quilombola P: Mas o ano passado, e ano retrasado não veio, não foi?

[inaudível]

Quilombola N: Quando chega, nem dá tempo de plantar mais...

Entrevistadora: Chegou quando?

Quilombola N: Quando chegou, a pessoa já plantou o milho.

Quilombola O: Já vai estar grande.

Quilombola N: Já passado da época do plantio da gente. Se for plantar no tempo que o milho chega, é só plantar para deixar lá mesmo.

Entrevistadora: E quem forneceu essas sementes?

Quilombola N: No caso aí, já veio, não sei se é Prefeitura... Emdagro. Essas coisas assim, entendeu?

Entrevistadora: Certo. Existe alguma colaboração da Secretaria de Agricultura aqui da região, com algum auxílio agrícola? Apoio técnico?

Quilombola P: Tem. Eles sempre está... Vistoriando, assim, os negócios de roça, essas coisas. Por causa que tem o seguro safra, aí tem as vistoria.

Entrevistadora: Ah, são os fiscais, no caso?

Quilombola P: No caso, e também ele está sempre dando assistência aqui quando precisa de alguma coisa. Ele é assistente técnico também, esses negócios. Quando precisa renovar o cadastro, essas coisas, ele está aí dando assistência. Explicando, quando precisa fazer, é... Renovar, por exemplo, o pessoal tem o cadastro do Seguro Safra, aí precisa estar vencido, aí ele dá assistência. Para tipo, a gente renovar no tempo certo, para não deixar passar, explica tudo certinho, para que é, para que não é. E, tipo, se tiver alguma dúvida com a roça, também, essas coisas de roça, de palma, de milho, de qualquer coisa, ele está de prontidão ali pra explicar tudo.

Entrevistadora: Entendi.

Quilombola P: No caso, a gente tem muito apoio da Emdagro aqui.

Entrevistadora: Da Emdagro, né? E vocês estão satisfeitos com esse apoio? Vocês sentem a necessidade de ter um apoio maior, de algum órgão, de algum setor específico, com alguma dificuldade que vocês tenham? Ou vocês estão satisfeitos com o apoio que vocês estão recebendo hoje?

Quilombola O: Nós estamos com apoio que a gente está recebendo, né?

Quilombola P: Assim, em relação à questão da Emdagro, o apoio está sempre presente, tipo, sempre que tem reunião, ele está presente, quando ele pode, ele está sempre presente na reunião. Agora, no caso, a partir de via Prefeitura, tipo, as horas de trator, isso daí não está muito legal, não.

Entrevistadora: Como assim? As horas de trator?

Quilombola P: Tipo, porque sempre a prefeitura libera, tipo, pra cada... Como a gente tira o seguro Safra, dá duas horas do trator, entendeu? Tipo, pra arar, a gente pega a terra pra arar, aí ela recebe duas horas do trator da prefeitura. Aí, tipo, ela também, cada quem já recebe suas horinhas, só que tipo, de um tempo pra cá não está acontecendo mais isso... Não tá fazendo esse apoio, tipo, vindo dessa parte que acho que é via Prefeitura, por unidade, eu acho, no caso.

Entrevistadora: Sim...

Quilombola P: Que é, tipo, é pra quem tem seguro safra, no caso, essa parte. Aí, tipo, esse ano mesmo não teve, a gente foi com o trator daqui mesmo. A sorte é que o trator daqui, por a gente ser sócio, ser da comunidade, a gente fica mais em conta pra gente.

Entrevistadora: No caso, vocês tem o trator aqui?

Quilombolas [em uníssono]: Sim, tem, tem.

Entrevistadora: Aí fica mais em conta o quê? O combustível?

Quilombola O: É.

Quilombola P: Fica mais em conta para gente pagar as horas, por causa que, tipo, a gente tem que pagar, porque também tem que manter o trator.

Entrevistadora: Para manutenção?

Quilombola P: É, pra associação, porque tem que estar mantendo ali, né? Aí, a gente, tipo, a gente paga menos, por causa que a gente somos sócios, todo mundo pra ajudar já nessa parte. Mas, tipo, se viesse essas duas horas de lá, já ficava BEM [ênfase] mais folgado pra gente.

Entrevistadora: E quem opera os tratores daqui? Vocês mesmo foram treinados?

Quilombola P: Tem os meninos que já são peritos nesse negócio aí do trabalho da aragem, da viagem, plantio, essas coisas já tem tudo já daqui já.

Entrevistadora: Já da comunidade mesmo?

Quilombola P: Já da comunidade.

Entrevistadora: Vocês gostariam de ter mais apoio com relação a essa manutenção? Ter mais disponibilidade de trator, de ter uma mão de obra mais mecânica? No caso... Para ser mais rápido?

Quilombola P: No caso, é, isso... Eu acredito que esse ano que vem agora vai ser mais rápido, porque tem dois trator agora. Acabou de chegar mais um. Aí vai ser mais rápido, porque, tipo, a área é grande. Tem aqui e tem a São Clemente. A São Clemente também é uma área muito grande, o pessoal utiliza mais para plantar milho. Aí, tipo, o pessoal ara muita terra.

Entrevistadora: Certo. Vocês têm algum interesse em aumentar ou reduzir a produção de algum alimento? Hoje em dia, vocês pensam em variar mais? O que que vocês pensam para o futuro da agricultura de vocês?

Quilombola P: Eu acho assim, que o problema, do que do jeito que o sol vai, a tendência é só piorar. Porque assim... No momento, assim, tipo, se tiver possibilidade... Se tiver possibilidade, você só vai plantar pra depender da chuva e só a quantidade mesmo que tem...

Entrevistadora: Vocês não têm muito perspectiva porque vocês dependem da chuva?

Quilombola P: Depende da chuva, é... Aí, tipo, se não chover, querendo ou não, aí só Deus sabe.

Quilombola O: Perde os legumes, né? Se não chover...

Entrevistadora: Certo... E agora, por fim, são as perguntas com relação ao biocarvão de lodo de esgoto, que eu expliquei a vocês no início, que foi esse processo que a gente fez. Vocês teriam algum receio de utilizar esse material por ele vir do lodo? O que é que vocês pensam?

Quilombola Q: Eu não.

Quilombola P: Eu também não teria não, porque o nome em si... Não significa que, por causa daquele nome, que seja uma coisa que afeta, né? Porque como é biocarvão, carvão a gente já sabe que é uma coisa que ativa muitas coisas, os nutrientes, essas coisas, entendeu? Acho que não teria problema não, eu por mim não.

Entrevistadora: Vocês também?

Quilombola R: Eu já utilizo as águas da DESO, porque eu lavo tudo pra botar nas plantas...

Entrevistadora: Já utiliza o que? Desculpa...

Quilombola R: Água, que quando a pessoa lava as panela, já utiliza dos pratos mesmo, já bota já nas plantas também.

Entrevistadora: Reaproveita, no caso, né?

Quilombola P: É, né? Porque senão, morre de sede...

Entrevistadora: Hoje a água que vocês usam para o consumo de vocês, ela vem da onde?

Quilombola N: Do carro pipa.

Quilombola P: Do rio, né? Que coloca.

Entrevistadora: A Prefeitura que manda é?

Quilombola P: Não. Não, no caso, aí...

Quilombola N: Que prefeitura? Homem!

Quilombola R: O exército, né?

Quilombola P: É, o exército e a defesa. Se for para esperar a Prefeitura, nós vai dormir cedo. Mais de cedo. Porque, tipo, aqui é contado se recebe água da prefeitura.

Quilombola N: É contado a água aqui.

Entrevistadora: Aí, no caso, então, a água que vocês usam para cozinhar, tomar banho, beber, vem tudo da cisterna?

Quilombola O: É.

Quilombola N: Isso.

Entrevistadora: Enche a cisterna com o carro pipa?

Quilombola P: É, ou quando chove, né? Aí pega a água da chuva.

Entrevistadora: Ah, então vocês já têm um sistema de captação?

Quilombola N: Tem.

Quilombola P: Já, já. Tem a bica, né? Os canos. Já vem a cisterna completa, já vem o sistema de coleta de água, já. Com as bica, essas coisas, já vem tudo já.

Entrevistadora: Certo. E com relação a esse biocarvão de lodo, que eu falei muito pouco para vocês, né? Mas, assim, do conhecimento que vocês já têm com relação a esses tipos de adubo... Vocês acham que poderia ser uma coisa boa? O que vocês acham? Tem alguma opinião?

Quilombola N: É, é uma possibilidade de adubo, né?

Entrevistadora: Geralmente, vocês usam o esterco, né?

Quilombola N: É, o esterco, é mais o esterco.

Entrevistadora: E vocês veem uma melhora com o esterco? O que vocês percebem, assim?

Quilombola N: Assim, o pessoal utiliza na palma.

Quilombola P: Depende, tem umas áreas que planta, né? Que a terra é mais boa, aí aquela palma evolui mais quando bota o esterco. Agora tem umas áreas que a terra já é mais fraca. Aí tipo, dá uma melhorada, mas não melhora tanto, sabe?

Entrevistadora: Certo. E também, como você falou, vocês usam só na palma porque esquenta muito, no caso?

Quilombola P: Isso.

Quilombola N: Uhum.

Entrevistadora: Bom. Por fim, é isso. Gostaria de agradecer a participação de vocês. E perguntar se tem mais alguma coisa que vocês gostariam de comentar com relação ao trabalho de vocês... Enfim, qualquer coisa. Sintam-se à vontade.

[Risos]

[...]

Quilombola O: Eita, Deus! [...] Fala aí mais, eu estou escutando, que vocês sabem responder. Só fico só escutando as coisas, né?

Entrevistadora: Com relação ao produto ser orgânico, que vocês produzem aqui... Quando vocês vão comprar? Vocês complementam a alimentação de vocês com o que vocês compram? Que vocês vão comprar na feira, no supermercado... Vocês dão alguma preferência? Vocês têm alguma questão, assim, com o alimento não ser orgânico? Ou ser?

Quilombola N: Não.

Quilombola P: Não. Quando eu vou no mercado, eu só olho o que é mais barato. [Risos]. O conceito só é o preço.

Quilombola O: Aí, entra em um e entra em outra.

Quilombola P: Né não? Olha só o preço. O que é mais barato.

Quilombola N: Isso é. Porque tipo, assim... Dependendo a gente só compra o arroz, mais, e a massa de milho.

Quilombola O: Açúcar, né? Então, tem que olhar...

Entrevistadora: Mas aqui, vocês prezam por não usar esses agrotóxicos, esses produtos, por quê? Por uma questão de que vocês teriam que comprar? Ou por uma questão de você... “Ah, não, eu quero que seja um alimento mais natural”?

Quilombola P: Não, porque o melhor mesmo é plantar sem estar botando nada. Nem veneno pra matar rato, nem nada.

Entrevistadora: Mas por que vocês acham que isso pode ser ruim para vocês também?

Quilombola P: Tem um alimento mais saudável, né? Porque, botando os produtos, fica... Tanto para saúde da gente, como das crianças da gente também não presta. Dá para a gente ter mais uma boa qualidade de vida produzindo assim, sem nenhum agrotóxico. Eu não acho necessário, assim, também, né?

Entrevistadora: Vocês geralmente têm algum problema com praga? Com coisa aqui, ou não?

Quilombola P: De vez em quando dá uma lagartinha, mas é normal.

Quilombola R: Porque a gente já sabe o remédio, né?

Entrevistadora: É? O que vocês fazem?

Quilombola R: A gente... Bom, o meu pai mesmo, ele pega uma caixa de fósforo, né? Bota... Pega as lagartinha, enche, e coisa lá na roça e... acaba.

Entrevistadora: Ele aquece lá? Queima? E aí a fumaça espanta, é?

Quilombola P: Não, é tipo simpatia, entendeu?

Quilombola R: É simpatia. Pega a caixinha e coloca...

Entrevistadora: Ah, entendi!

Quilombola O: E aí vai se embora, né? Aí vai se embora elas.

Entrevistadora: Entendi.

Quilombola P: Mas dificilmente, assim, a roça acaba por causa de lagarta, dessas coisas. Nada não. Só come umas folhinhas e pronto, mas feijão dá, limpa, está bom. Já tem pra comer.

[...]

Entrevistadora: Pronto... Então é isso. Muito obrigada!

Quilombolas [em uníssono]: Por nada.

ANEXO A – FICHAS TÉCNICAS DOS BIOCARVÕES PRODUZIDOS NO UKBRC



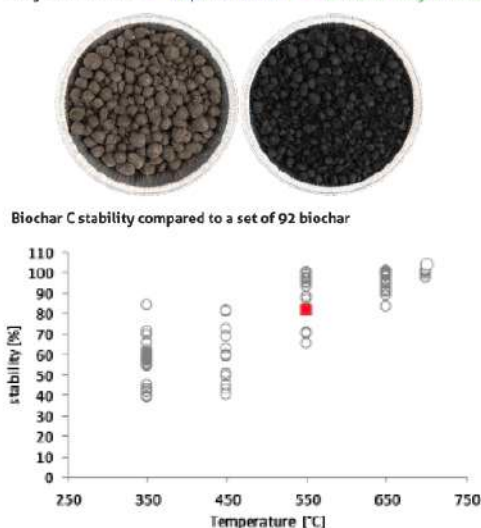
UK Biochar Research Centre
reducing and removing CO₂ while improving soils: a significant and sustainable response to climate change
www.biochar.ac.uk | biochar@ed.ac.uk



SS550
Standard biochar specification sheet – Version 1.0 | April 2018

Feedstock: Sewage sludge | Production: Pilot-scale rotary kiln pyrolysis unit, nominal peak temperature 550°C

Key features: • Reproducible • Extensively characterised • Readily available



Advanced Analysis & Soil Enhancement Properties		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Mineral N (ammonium & nitrate)	mg/kg	tbd	tbd
Total P ^(c)	wt.% (db.)	2.29	0.05 (2)
Total K ^(c)	wt.% (db.)	0.34	0.01 (2)
Available P	mg/kg	7.50	0.20 (2)
Volatile Matter ^(a)	wt.% (db.)	21.37	0.03 (2)
Total Surface Area	m ² /g	tbd	tbd
External Surface Area	m ² /g	tbd	tbd

Basic Utility Properties		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Moisture ^(d)	wt.% (a.r.)	2.48	0.08 (2)
C _{tot}	wt.% (db.)	29.53	0.42 (2)
H	wt.% (db.)	1.33	0.07 (2)
O [by difference]	wt.% (db.)	6.50	0.47 (2)
H:C _{tot}	Molar ratio	0.54	0.03 (2)
O:C _{tot}	Molar ratio	0.17	0.01 (2)
C _{org}	wt.% (db.)	tbd	tbd
H:C _{org}	Molar ratio	tbd	tbd
Total ash ^(d)	wt.% (db.)	58.89	0.45 (2)
Total N	wt.% (db.)	3.75	0.08 (2)
pH	[-]	8.17	0.64 (2)
Electric conductivity	dS/m	280.80	15.3 (2)
Liming (if pH above 7)	% CaCO ₃	tbd	tbd
Biochar C stability ^(b)	% C-basis	84.40	0.04 (2)

Production parameters		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Nominal HTT	°C	550	0 (2)
Reactor wall temp.	°C	550	0 (2)
Max. char HTT	°C	512	- (2)
Heating rate	°C/min	86	- (2)
Kiln residence time	min	-13	- (2)
Mean time at HTT	min	-5	- (2)
Biochar yield	wt.% (db.)	40.16	0.19 (2)
Pyrolysis liquid yield	wt.% (db.)	tbd	- (2)
Pyrolysis gas yield	wt.% (db.)	tbd	- (2)
Pyrolysis liquid HHV	MJ/kg	tbd	- (2)
Pyrolysis gas HHV	MJ/kg	tbd	- (2)

Toxicant Reporting - Total Content		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)	comparison vs. recommended standard thresholds	IBI	EBC	BQM
Germination Inhibition Assay		pass/fail	tbd				
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (EPA16) ^(d)		mg/kg dry wt.	3.76		6-20	4	20
Dioxin/ Furan (PCDD/ F ₂) ^(d)		ng/kg I-TEQ	3.10		9	20	20
Polychlorinated Biphenyls (PCBs) ^(f)		ng/kg dry wt.	0.13		0.2-0.5	0.2	0.50
As	modified dry ashing followed by ICP-OES	mg/kg dry wt.	<0.72		12-100	n/a	10
Cd		mg/kg dry wt.	11.69		1.4-39	1	3
Cr		mg/kg dry wt.	275.69		64-1200	80	15
Co		mg/kg dry wt.	11.58		40-150	n/a	n/a
Cu		mg/kg dry wt.	255.22		63-1500	100	40
Pb		mg/kg dry wt.	201.19		70-500	120	60
Hg		mg/kg dry wt.	<0.23		1-17	1	1
Mo		mg/kg dry wt.	5.59		5-20	n/a	10
Ni		mg/kg dry wt.	57.19		47-600	30	10
Se		mg/kg dry wt.	<1.40		1-36	n/a	5
Zn		mg/kg dry wt.	835.69		200-7000	400	150

Notes: HTT=highest treatment temperature, n.d. = not detected, SD = standard deviation (refers to run-to-run consistency, not analytical error) + available standards related to biochar (IBI = International Biochar Initiative, EBC = European Biochar Standard, BQM = Biochar Quality Mandate).

(a) TGA, (b) Cross A, Sohl SP (2013), (c) Aqua Regia digestion followed by ICP, (d) Soxhlet extraction (toluene, 6h) determination by GCMS, (e) US EPA 1613, (f) AES O84 (based on US EPA 1668)

For full details please go to: http://www.charchive.org/record.php?record_id=100



UK Biochar Research Centre

reducing and removing CO₂ while improving soils: a significant and sustainable response to climate change

www.biochar.ac.uk | biochar@ed.ac.uk



SS700

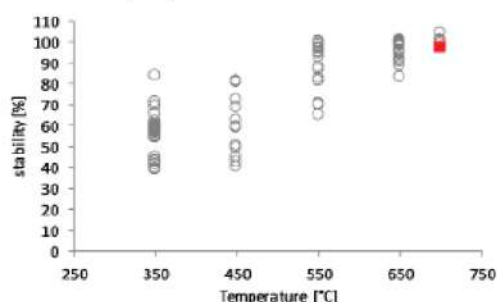
Standard biochar specification sheet – Version 1.0 | April 2018

Feedstock: Sewage sludge | Production: Pilot-scale rotary kiln pyrolysis unit, nominal peak temperature 700°C

Key features: • Reproducible • Extensively characterised • Readily available



Biochar C stability compared to a set of 92 biochar



Advanced Analysis & Soil Enhancement Properties		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Mineral N (ammonium & nitrate)	mg/kg	tbd	-(2)
Total P ^(c)	wt.% (db.)	2.50	0.04 (2)
Total K ^(d)	wt.% (db.)	0.42	0.00 (2)
Available P	mg/kg	9.2	0.5 (2)
Volatile Matter ^(a)	wt.% (db.)	16.41	1.11 (2)
Total Surface Area	m ² /g	tbd	tbd
External Surface Area	m ² /g	tbd	tbd

Basic Utility Properties		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Moisture ^(b)	wt.% (a.r.)	1.69	0.29 (2)
C _{loc}	wt.% (db.)	29.55	0.34 (2)
H	wt.% (db.)	0.83	0.05 (2)
O (by difference)	wt.% (db.)	2.75	0.39 (2)
H:C _{loc}	Molar ratio	0.34	0.02 (2)
O:C _{loc}	Molar ratio	0.07	0.01 (2)
C _{org}	wt.% (db.)	tbd	tbd
H:C _{org}	Molar ratio	tbd	tbd
Total ash ^(b)	wt.% (db.)	63.91	0.41 (2)
Total N	wt.% (db.)	3.79	0.05 (2)
pH	[-]	9.60	0.33 (2)
Electric conductivity	dS/m	133.40	7.80 (2)
Liming (if pH above 7)	% CaCO ₃	tbd	tbd
Biochar C stability ^(b)	% C-basis	96.44	0.07 (2)

Production parameters		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Nominal HTT	°C	700	0 (2)
Reactor wall temp.	°C	700	0 (2)
Max. char HTT	°C	650	-(2)
Heating rate	°C/min	89	-(2)
Kiln residence time	min	-13	-(2)
Mean time at HTT	min	-5	-(2)
Biochar yield	wt.% (db.)	26.02	3.87 (2)
Pyrolysis liquid yield	wt.% (db.)	tbd	-(2)
Pyrolysis gas yield	wt.% (db.)	tbd	-(2)
Pyrolysis liquid HHV	MJ/kg	tbd	-(2)
Pyrolysis gas HHV	MJ/kg	tbd	-(2)

Toxicant Reporting - Total Content		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)	comparison vs. recommended standard thresholds	IBI	EBC	BQM
Germination Inhibition Assay		pass/fail	tbd				
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (EPA16) ^(a)		mg/kg dry wt.	1.40		6-20	4	20
Dioxin/ Furan (PCDD/ Fs) ^(a)		ng/kg I-TEQ	0.36		9	20	20
Polychlorinated Biphenyls (PCBs) ^(a)		ng/kg dry wt.	0.051		0.2-0.5	0.2	0.50
As	modified dry ashing followed by ICP-OES	mg/kg dry wt.	<0.72		12-100	n/a	10
Cd		mg/kg dry wt.	12.36		1.4-39	1	3
Cr		mg/kg dry wt.	292.72		64-1200	80	15
Co		mg/kg dry wt.	12.68		40-150	n/a	n/a
Cu		mg/kg dry wt.	296.63		63-1500	100	40
Pb		mg/kg dry wt.	195.93		70-500	120	60
Hg		mg/kg dry wt.	<0.23		1-17	1	1
Mo		mg/kg dry wt.	4.67		5-20	n/a	10
Ni		mg/kg dry wt.	66.25		47-600	30	10
Se		mg/kg dry wt.	<1.40		1-36	n/a	5
Zn		mg/kg dry wt.	896.21		200-7000	400	150

Notes: HTT=highest treatment temperature, n.d. = not detected, SD = standard deviation (refers to run-to-run consistency, not analytical error) + available standards related to biochar (IBI = International Biochar Initiative, EBC = European Biochar Standard, BQM = Biochar Quality Mandate).

(a) TGA, (b) Cross A, Sohi SP (2013), (c) Aqua Regia digestion followed by ICP, (d) Soxhlet extraction (toluene, 6h) determination by GCMS, (e) US EPA 1613, (f) AES 084 (based on US EPA 1668)

For full details please go to: http://www.charchive.org/record.php?record_id=100



UK Biochar Research Centre

reducing and removing CO₂ while improving soils: a significant and sustainable response to climate change

www.biochar.ac.uk | biochar@ed.ac.uk



WSP550

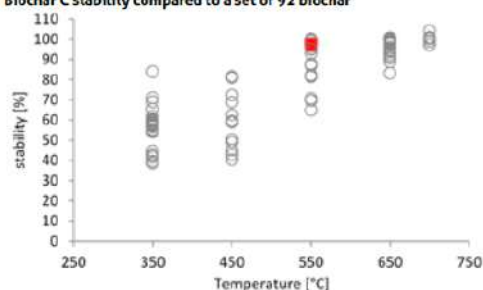
Standard biochar specification sheet – Version 1.0 | November 2014

Feedstock: Wheat Straw Pellets | Production: Pilot-scale rotary kiln pyrolysis unit, nominal peak temperature 550°C

Key features: • Reproducible • Extensively characterised • Readily available



Biochar C stability compared to a set of 92 biochar



Basic Utility Properties		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Moisture ^(a)	wt% (a.r.)	1.88	0.08 (7)
C _{tot}	wt% (d.b.)	68.26	1.10 (6)
H	wt% (d.b.)	2.10	0.25 (6)
O (by difference)	wt% (d.b.)	6.92	0.33 (6)
H:C _{tot}	Molar ratio	0.37	0.05 (6)
O:C _{tot}	Molar ratio	0.08	0.00 (6)
C _{org}	wt% (d.b.)	tbd	tbd
H:C _{org}	Molar ratio	tbd	tbd
Total ash ^(a)	wt% (d.b.)	21.25	1.09 (7)
Total N	wt% (d.b.)	1.39	0.10 (6)
pH	[-]	9.94	0.16 (4)
Electric conductivity	dS/m	1.70	0.43 (4)
Liming (if pH above 7)	% CaCO ₃	tbd	tbd
Biochar C stability ^(b)	% C-basis	96.51	0.30 (5)

Production parameters		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Nominal HTT	°C	550	- (1)
Reactor wall temp.	°C	550	- (1)
Max. char HTT	°C	-	- (1)
Heating rate	°C/min	80	- (1)
Kiln residence time	min	15	- (1)
Mean time at HTT	min	5	- (1)
Biochar yield	wt% (d.b.)	24.11	1.08 (6)
Pyrolysis liquid yield	wt% (d.b.)	42.68	- (1)
Pyrolysis gas yield	wt% (d.b.)	31.60	- (1)
Pyrolysis liquid HHV	MJ/kg	1.56	- (1)
Pyrolysis gas HHV	MJ/kg	9.41	- (1)

Advanced Analysis & Soil Enhancement Properties		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Mineral N (ammonium & nitrate)	mg/kg (d.b.)	<3	- (6)
Total P ^(c)	wt% (d.b.)	0.14	0.02 (4)
Total K ^(c)	wt% (d.b.)	1.56	0.35 (4)
Available P	mg/kg (d.b.)	tbd	tbd
Volatile Matter ^(a)	wt% (d.b.)	10.55	0.86 (7)
Total Surface Area	m ² /g (d.b.)	26.40	- (1)
External Surface Area	m ² /g (d.b.)	tbd	tbd

Toxicant Reporting - Total Content		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)	comparison vs. recommended standard thresholds+	IBI	EBC (premium)	BQM (high grade)
Germination Inhibition Assay		pass/fail	tbd		6-20	4	20
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (EPA16) ^(d)		mg/kg dry wt	0.40	0.28 (6)	9	20	20
Dioxin/ Furan (PCDD/ Fs) ^(e)		ng/kg dry wt	4.30	- (1)	0.2-0.5	0.2	0.50
Polychlorinated Biphenyls (PCBs) ^(f)		ng/kg dry wt	0.013	- (1)	12-100	n/a	10
As	modified dry ashing followed by ICP-OES	mg/kg dry wt	1.16	0.21 (3)	1.4-39	1	3
Cd		mg/kg dry wt	3.15	1.14 (3)	64-1200	80	15
Cr		mg/kg dry wt	bdL	- (3)	40-150	n/a	n/a
Co		mg/kg dry wt	1.54	0.60 (3)	65-1500	100	40
Cu		mg/kg dry wt	3.63	0.39 (3)	70-500	120	60
Pb		mg/kg dry wt	bdL	- (3)	1-17	1	1
Hg		mg/kg dry wt	bdL	- (3)	5-20	n/a	10
Mo		mg/kg dry wt	0.84	0.20 (3)	47-600	30	10
Ni		mg/kg dry wt	1.00	0.74 (3)	1-36	n/a	5
Se		mg/kg dry wt	bdL	- (3)	200-7000	400	150
Zn		mg/kg dry wt	10.50	2.90 (3)			

Notes: HTT=highest treatment temperature, HHV = higher heating value, tbd = to be defined in next version, bdL = below detection limit, SD = standard deviation (refers to run-to-run consistency, not analytical error) + available standards related to biochar (IBI = International Biochar Initiative, EBC = European Biochar Standard, BQM = Biochar Quality Mandate), * as TEQ (toxic equivalent) values were bdL, total (tetra to octa chlorinated) dioxin/furan content is reported instead.

(a) TGA, (b) Cross A, Sohi SP (2013), (c) Aqua Regia digestion followed by ICP, (d) Soxhlet extraction (toluene, 6h) determination by GC/MS, (e) US EPA 1613, (f) AES 084 (based on US EPA 1668)

For full details please go to: http://www.charchive.org/record.php?record_id=100



UK Biochar Research Centre

reducing and removing CO₂ while improving soils: a significant and sustainable response to climate change

www.biochar.ac.uk | biochar@ed.ac.uk

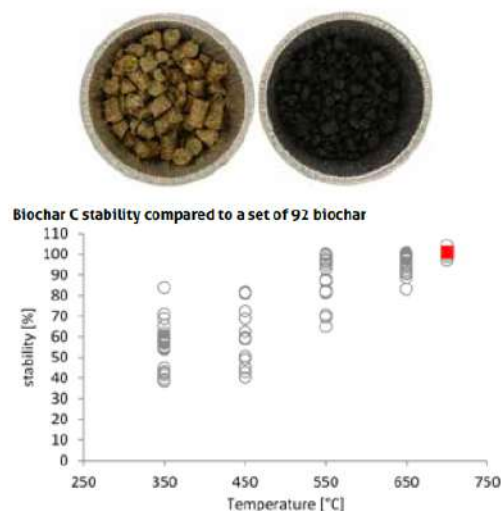


WSP700

Standard biochar specification sheet – Version 1.0 | November 2014

Feedstock: Wheat Straw Pellets | Production: Pilot-scale rotary kiln pyrolysis unit, nominal peak temperature 700°C

Key features: • Reproducible • Extensively characterised • Readily available



Advanced Analysis & Soil Enhancement Properties		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Mineral N (ammonium & nitrate)	mg/kg (d.b.)	<3	-(4)
Total P ^(c)	wt% (d.b.)	0.25	0.10 (4)
Total K ^(c)	wt% (d.b.)	1.47	0.77 (4)
Available P	mg/kg (d.b.)	tbd	tbd
Volatile Matter ^(a)	wt% (d.b.)	7.38	0.78 (4)
Total Surface Area	m ² /g (d.b.)	23.20	-(1)
External Surface Area	m ² /g (d.b.)	tbd	tbd

Basic Utility Properties		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Moisture ^(a)	wt% (a.r.)	2.17	0.22 (5)
C _{tot}	wt% (d.b.)	69.04	1.32 (4)
H	wt% (d.b.)	1.18	0.04 (4)
O (by difference)	wt% (d.b.)	5.30	1.06 (4)
H:C _{tot}	Molar ratio	0.20	0.01 (4)
O:C _{tot}	Molar ratio	0.06	0.01 (4)
C _{org}	wt% (d.b.)	tbd	tbd
H:C _{org}	Molar ratio	tbd	tbd
Total ash ^(a)	wt% (d.b.)	23.82	2.33 (5)
Total N	wt% (d.b.)	1.32	0.03 (4)
pH	[-]	10.03	0.19 (4)
Electric conductivity	dS/m	1.52	0.42 (4)
Liming (if pH above 7)	% CaCO ₃	tbd	tbd
Biochar C stability ^(b)	% C-basis	100.97	0.21 (5)

Production parameters		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)
Nominal HTT	°C	700	-(1)
Reactor wall temp.	°C	700	-(1)
Max. char HTT	°C	668	-(1)
Heating rate	°C/min	79	-(1)
Kiln residence time	min	15	-(1)
Mean time at HTT	min	6	-(1)
Biochar yield	wt% (d.b.)	23.54	0.76 (4)
Pyrolysis liquid yield	wt% (d.b.)	tbd	tbd
Pyrolysis gas yield	wt% (d.b.)	tbd	tbd
Pyrolysis liquid HHV	MJ/kg	tbd	tbd
Pyrolysis gas HHV	MJ/kg	tbd	tbd

Toxicant Reporting - Total Content		Mean	Run-to-Run Variation, SD(n)	comparison vs. recommended standard thresholds*	IBI	EBC (premium)	BQM (high grade)
Germination Inhibition Assay		pass/fail	tbd				
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (EPA16) ^(d)		mg/kg dry wt	<0.11		6-20	4	20
Dioxin/ Furan (PCDD/ Fs) ^(d)		ng/kg dry wt	1.80		9	20	20
Polychlorinated Biphenyls (PCBs) ^(f)		ng/kg dry wt	0.001		0.2-0.5	0.2	0.50
As	modified dry ashing followed by ICP-OES	mg/kg dry wt	1.26		12-100	n/a	10
Cd		mg/kg dry wt	1.27		1.4-39	1	3
Cr		mg/kg dry wt	4.45		64-1200	80	15
Co		mg/kg dry wt	1.58		40-150	n/a	n/a
Cu		mg/kg dry wt	4.68		63-1500	100	40
Pb		mg/kg dry wt	bdl		70-500	120	60
Hg		mg/kg dry wt	bdl		1-17	1	1
Mo		mg/kg dry wt	3.26		5-20	n/a	10
Ni		mg/kg dry wt	2.50		47-600	30	10
Se		mg/kg dry wt	bdl		1-36	n/a	5
Zn		mg/kg dry wt	12.03		200-7000	400	150

Notes: HTT=highest treatment temperature, HHV = higher heating value, tbd = to be defined in next version, bdl = below detection limit, SD = standard deviation (refers to run-to-run consistency, not analytical error) + available standards related to biochar (IBI = International Biochar Initiative, EBC = European Biochar Standard, BQM = Biochar Quality Mandate), * as TEQ (toxic equivalent) values were bdl, total (tetra to octa chlorinated) dioxin/furan content is reported instead.

(a) TGA, (b) Cross A, Sohi SP (2013), (c) Aqua Regia digestion followed by ICP, (d) Soxhlet extraction (toluene, 6h) determination by GC/MS, (e) US EPA 1613, (f) AES 084 (based on US EPA 1668)

For full details please go to: http://www.charchive.org/record.php?record_id=93

ANEXO B - PARACER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Fomento a inserção da Agricultura Familiar, Empreendedor Familiar Rural e suas organizações no PNAE

Pesquisador: RENATA LOPES DE SIQUEIRA

Área Temática:

Versão: 4

CAAE: 56968322.0.0000.5546

Instituição Proponente: FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Patrocinador Principal: FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCACAO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.597.177

Apresentação do Projeto:

As informações elencadas nos campos "Apresentação do Projeto", "Objetivo da Pesquisa" e "Avaliação dos Riscos e Benefícios" foram retiradas do arquivo "Informações Básicas da Pesquisa" (PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1864362.pdf) e do "Projeto Detalhado / Brochura Investigador" (PROJETOBROCHURA0408.pdf), postados em 04/08/2022.

Introdução:

Desde 2009, a Lei nº 11.947, como uma estratégia de Segurança Alimentar e Nutricional (SAN), tornou obrigatória a aplicação de pelos menos 30% do valor repassado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) aos estados e municípios, na compra de gêneros alimentícios provenientes da Agricultura Familiar (AF) para o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), por meio de Chamadas Públicas (CP) (BRASIL, 2009a; NASCIMENTO; NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2019). Especificamente, o Artigo 14 desta legislação determina que nas CP deveriam ser priorizadas as comunidades tradicionais indígenas, comunidades quilombolas e os Assentamentos da Reforma Agrária (BRASIL, 2009a). Complementarmente, o Artigo 49 da Resolução 06/2020, que normatiza a operacionalização da Lei 11.947/2009, prevê valores per capita específicos e maiores para os escolares provenientes destes segmentos prioritários, determinando o repasse de R\$ 0,64 (sessenta e quatro

Endereço: Rua Cláudio Batista s/nº

Bairro: Sanatório

UF: SE

Município: ARACAJU

Telefone: (79)3194-7208

CEP: 49.060-110

E-mail: cep@academico.ufs.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SERGIPE - UFS



Continuação do Parecer: 5.597.177

centavos de Real) para os estudantes matriculados em escolas de educação básica localizadas em áreas indígenas e remanescentes de quilombos; e R\$ 1,07 (um Real e sete centavos de Real) para os estudantes matriculados em creches, localizadas em áreas indígenas e remanescentes de quilombos (BRASIL, 2020). Tais condições de prioridade nas CP e de valor específico de repasse decorrem do reconhecimento por parte do estado

das condições crônicas de vulnerabilidade e precariedade socioeconômica vivenciadas pela população de assentamentos, comunidades tradicionais indígenas e quilombolas. Esta situação de vulnerabilidade destes segmentos, que possuem como atividades econômicas predominantes a pesca, o cultivo e/ou extrativismo, decorre, dentre outros fatores, das dificuldades de inserção e comercialização da sua produção no mercado aberto e

institucional, quando precisam competir com grandes produtores (BRASIL, 2018a; NOGUEIRA, 2016). Em termos de demográficos e espacial vale destacar que, segundo o INCRA (2015), 88.270.046,03 hectares de todo o território brasileiro são destinados aos assentamentos rurais, constituindo um total de 9.288 assentamentos e 969.583 famílias assentadas. Sergipe figura como o segundo estado que possui a maior razão entre o número

de assentamentos e a sua área territorial em todo o Brasil (Santos et.al. (2015). O estado possui uma área territorial de 2.191.511,6 hectares, das quais 199.391,21 hectares são destinados a 237 assentamentos rurais com um total de 10.675 famílias assentadas (INCRA, 2015; DATALUTA, 2015). Parcela significativa vivendo em condições precárias, no que se refere ao acesso aos serviços sociais básicos (água, habitação de qualidade,

saneamento, etc.), em contrariedade com à própria legislação existente no país, norteadas pela atual Carta Magna. Igualmente vivendo em condições precárias, há em Sergipe 32 comunidades quilombolas certificadas, 5.438 famílias cadastradas e autorreconhecidas como remanescentes, sendo apenas quatro desses territórios titulados até 2019, que são Mocambo, Pirangi, Lagoa dos Campinhos e Serra da Guia (PALMARES, 2019 citado por FEITOSA, 2021). Das 4196 famílias quilombolas sergipanas cadastradas no INCRA, 3053 (72,8%) dependem de programas assistenciais (Bolsa Família) para subsistência e 71,9% (3017 quilombolas) desse público estão classificados na faixa de renda de "extrema pobreza". Acrescenta-se

ainda, que 79,3% dessas famílias situam-se na zona rural, existindo no nosso estado apenas um quilombo urbano, que é a Maloca situado em Aracaju (CADÚNICO, 2020 citado por FEITOSA, 2021). Considerando a situação preocupante destes segmentos sociais, é imperativo rememorar e reafirmar que a Lei 11.947/09 foi instituída com o intuito de possibilitar a concretização do PNAE como um programa estratégico para a promoção da Segurança Alimentar e Nutricional das famílias

Endereço: Rua Cláudio Batista s/nº

Bairro: Sanatório

CEP: 49.060-110

UF: SE

Município: ARACAJU

Telefone: (79)3194-7208

E-mail: cep@academico.ufs.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SERGIPE - UFS



Continuação do Parecer: 5.597.177

assentadas e pertencentes as comunidade tradicionais indígenas e quilombolas, devendo possibilitar à inclusão social e produtiva, promover a saúde, a SAN e o Direito Humano à Alimentação Adequada (DHAA) destes povos (MALAGUTI, 2015). Entretanto, até o presente momento, evidências científicas apontam que no processo de

aquisição de gêneros alimentícios da agricultura familiar no estado tem observado a maior participação dos segmentos não prioritários de AF (CHAGAS; DIUBA; CALLEGARI, 2019; MELO; MARQUES, 2016; PELAEZ et al., 2015; SOARES; CUNHA; PORTO, 2020); Prevalece uma cultura e

prática discriminatória em relação às comunidades quilombolas, indígenas e assentados da reforma agrária (GONÇALVES, 2017). Consequentemente, contrariando as diretrizes operacionais do PNAE, tem-se a persistência da condição vulnerabilidade socioeconômica e

insegurança alimentar e nutricional da população dos assentamentos, comunidades quilombolas e indígenas.

Hipótese:

Levanta-se a hipótese que, contrariando as diretrizes operacionais do PNAE, tem-se a não participação no programa e persistência da condição vulnerabilidade socioeconômica e insegurança alimentar e nutricional das comunidades tradicionais quilombolas no PNAE

Metodologia Proposta:

Trata-se de uma pesquisa de natureza quali-quantitativa que possui também caráter extensionista, estruturada em 4 etapas nas quais se conjugam diferentes estratégias procedimentos, técnicas e instrumentos de pesquisa, abaixo discriminadas: 1ª. Etapa: mapeamento das comunidades tradicionais quilombolas sergipanas: o mapa da distribuição espacial das comunidades tradicionais quilombolas sergipanas será construído por

técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Para tanto, num primeiro momento buscar-se-á a identificação das comunidades tradicionais quilombolas do estado de Sergipe através de consulta aos portais abertos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (<https://www.gov.br/incra/pt-br>) e Fundação Cultural Palmares (<https://www.palmares.gov.br/>) Identificados as comunidades, serão definidas as

coordenadas espaciais de latitude e longitude dos territórios ocupados pelas mesmas via My Maps (<https://www.google.com/intl/ptBR/maps/about/mymaps/>) e Google Earth (<https://google-earth.gosur.com/>).

Na sequência, será efetuada o processamento da localização dentro

das 6 regiões geográficas sergipana por meio do software Qgis 3.8. 2ª. Etapa: diagnóstico

Endereço: Rua Cláudio Batista s/nº

Bairro: Sanatório

CEP: 49.060-110

UF: SE

Município: ARACAJU

Telefone: (79)3194-7208

E-mail: cep@academico.ufs.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SERGIPE - UFS



Continuação do Parecer: 5.597.177

situacional Inicialmente, proceder-se á a avaliação do grau de ISAN das 580 famílias pertencentes das comunidades quilombolas Lagoa dos Campinhos, Mocambo, Pirangi e Serra da Guia localizadas, respectivamente, nos municípios Amparo do São Francisco; Porto da Folha, Capela e Poço Redondo. O critério de eleição destas comunidades foi a posse da titulação emitidas pelo INCRA. Para mensurar a ISAN será aplicada a Escala Brasileira de Insegurança Alimentar e Nutricional (EBIA) junto a um membro representante de cada uma das 580 famílias, as mesmas estão quantitativamente distribuídas em 130 famílias do quilombo

Lagoa dos Campinhos, 185 do quilombo Mocambo, 200 do quilombo Serra da Guia e 65 do quilombo Pirangi. A EBIA é uma escala psicométrica, que avalia de maneira direta uma das dimensões da segurança alimentar e nutricional em uma população, por meio da percepção e experiência com a fome. Na sequência, será elaborado e aplicado um questionário estruturado para inventariamento dos gêneros alimentícios produzidos pelos AF quilombolas. O questionário conterá 3 blocos de questões: 1º.) questões relativas ao perfil socioeconômico; 2º) tipo de atividade produtiva pesqueira/extrativista/criação/cultivo/manufatureira) praticada; 3º) modalidades de produção agrícola e recursos disponíveis; vocação produtiva local e os gêneros alimentícios produzidos. Na terceira e última etapa do diagnóstico situacional, que tem por objetivo a investigação dos fatores limitantes a participação dos agricultores familiares quilombolas na Chamada Públicas para a aquisição dos gêneros alimentícios para o PNAE serão realizada 4 grupos focais com as lideranças comunitárias das 04 comunidade quilombolas. Seguindo metodologia proposta por FEITOSA (2021) os participantes do grupo focal serão selecionados a partir de uma cadeia de referências advinda da própria comunidade, ou seja, os indivíduos mais citados pelos moradores entrevistados como importantes para o quilombo serão as pessoas convidadas a integrar a amostra. Neste projeto, estimamos trabalhar com o grupo focal nos limites numérico de 4 a 12 membros conforme sugerido por CRUZ et al (2002). 3ª. Etapa: capacitação dos produtores provenientes das comunidades quilombolas: A partir dos dados do diagnóstico situacional serão realizadas 04 oficinas de capacitação dos produtores quilombolas com vistas a prepará-los para participar das CP do PNAE. Nestas oficinas serão adotadas metodologias ativas de ensino e aprendizagem, visando promover a conhecimento crítico e reflexivo que permitam aos produtores quilombolas organizarem-se para atender as condicionalidades legalmente instituídas no processo de fornecimentos de gêneros alimentícios para o PNAE.

Critério de Inclusão:

Ser membro de comunidade quilombola titulada, agricultor familiar e maior de 18 anos.

Critério de Exclusão:

Endereço: Rua Cláudio Batista s/nº

Bairro: Sanatório

UF: SE

Município: ARACAJU

Telefone: (79)3194-7208

CEP: 49.060-110

E-mail: cep@academico.ufs.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SERGIPE - UFS



Continuação do Parecer: 5.597.177

Não ser membro de comunidade quilombola titulada e menor de 18 anos.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

O objetivo deste trabalho é que mediante diagnóstico situacional, fomentar a participação das comunidades tradicionais quilombolas no Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) no estado de Sergipe.

Objetivo Secundário:

- 1) Mapear comunidades tradicionais quilombolas do estado de Sergipe;
- 2) Diagnosticar o grau de Insegurança Alimentar e Nutricional das comunidades tradicionais quilombolas;
- 3) Proceder inventário dos gêneros alimentícios produzidos pelos agricultores familiares quilombolas;
- 4) Investigar junto aos agricultores familiares quilombolas quais as limitações sentidas para a participação nas Chamadas Pública (CP) do PNAE;
- 5) Realizar oficinas regionais de capacitação para viabilizar a participação das comunidades tradicionais quilombolas nas CP do PNAE

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Os participantes da pesquisa estarão sujeitos a constrangimentos psicoemocional em função da declaração de situação de vulnerabilidade socioeconômica e cultural decorrente de uma eventual condição de insegurança alimentar e nutricional (ISAN) que estejam vivenciando. Para evitar ou minimizar este risco os pesquisadores realizarão a entrevista para diagnóstico da situação de ISAN em ambiente privado e, principalmente, tomaram as medidas cabíveis para superar esta condição indesejável por meio da orientação sobre programas e ações governamentais de segurança alimentar e nutricional, assim como, notificação juntos aos órgãos governamentais responsáveis sobre a gestão destas ações e programas, se o(a) participante da pesquisa desejar e permitir. Também será assegurado o sigilo da identidade dos(as) participantes por meio de codificação dos seus nomes, e o uso restrito das informações para produção do conhecimento científico e orientação do conteúdo de ensino aprendizagem das oficinas de fomento a participação das comunidades quilombolas. Caso seja observado qualquer risco ou dano significativo aos participantes dessa pesquisa, este estudo será

Endereço: Rua Cláudio Batista s/nº

Bairro: Sanatório

CEP: 49.060-110

UF: SE

Município: ARACAJU

Telefone: (79)3194-7208

E-mail: cep@academico.ufs.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SERGIPE - UFS



Continuação do Parecer: 5.597.177

imediatamente suspenso.

Benefícios:

A capacitação dos agricultores familiares provenientes das comunidades quilombolas a partir dos dados do diagnóstico situacional poderá prepará-los para participar das chamadas públicas de aquisição de gêneros alimentícios para o PNAE, assegurando-lhes usufruírem de um direito de prioridade de comercialização legalmente garantindo. Consequentemente, possibilitará a melhoria da renda familiar, insegurança alimentar e

nutricional e autoestima da população quilombola. Poderá ainda promover o desenvolvimento comunitário, assim como, a resgate e valorização da cultura alimentar pela inclusão no cardápio da alimentação escolar de gêneros alimentares autóctones produzidos condizentes com a vocação produtiva local.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de uma pesquisa de natureza quali-quantitativa e de caráter extensionista. Mediante mapeamento das comunidades quilombolas no estado de Sergipe, inicialmente, proceder-se-á o diagnóstico da situação de Insegurança Alimentar e Nutricional via aplicação da Escala Brasileira de Insegurança Alimentar e Nutricional (EBIA); o inventariamento da produtividade das famílias quilombolas através de questionário estruturado e o levantamento dos fatores limitantes ao fornecimento de gêneros alimentícios pelos agricultores familiares para o PNAE via grupo focal. Posteriormente, A partir dos dados do diagnóstico situacional e da análise documental do aparato legal que regulamenta a aquisição de gêneros alimentícios da AF, serão realizadas 04 oficinas de capacitação dos produtores quilombolas com vistas a prepará-los para participar das Chamadas Públicas do PNAE.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Vide campo "Conclusões ou Pendências e Lista de inadequações"

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Análise das respostas (arquivo: "cartaresposta03082022_assinado.pdf", postado na Plataforma Brasil em 04/08/2022) ao Parecer Consubstanciado nº 5.531.729 emitido em 18/07/2022 não foram observados óbices éticos.

Considerações Finais a critério do CEP:

Conforme Resolução CNS 466/2012, itens X.1.- 3.b. e XI.2.d, e Resolução CNS 510/2016, Art. 28,

Endereço: Rua Cláudio Batista s/nº

Bairro: Sanatório

UF: SE

Telefone: (79)3194-7208

Município: ARACAJU

CEP: 49.060-110

E-mail: cep@academico.ufs.br



Continuação do Parecer: 5.597.177

inc. V, os pesquisadores responsáveis deverão apresentar relatórios parcial semestral e final do projeto de pesquisa, contados a partir da data de aprovação do protocolo de pesquisa inicial.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMACOES_BASICAS_DO_PROJETO_1864362.pdf	04/08/2022 21:49:18		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLEmembroelider0408.pdf	04/08/2022 21:45:11	MARIANA PASSOS CARREGOSA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETOBROCHURA0408.pdf	04/08/2022 21:42:00	MARIANA PASSOS CARREGOSA	Aceito
Outros	cartaresposta03082022_assinado.pdf	04/08/2022 21:41:10	MARIANA PASSOS CARREGOSA	Aceito
Declaração de concordância	termoconcordanciacomunidades0408refeito.pdf	04/08/2022 21:40:26	MARIANA PASSOS CARREGOSA	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMADEPESQUISA0408.pdf	04/08/2022 21:39:19	MARIANA PASSOS CARREGOSA	Aceito
Folha de Rosto	FolhadeRostoassinadaFNDE2.pdf	04/08/2022 21:38:28	MARIANA PASSOS CARREGOSA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Carta_de_anuencia_roberto_assinado.pdf	18/05/2022 22:05:36	MARIANA PASSOS CARREGOSA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	TERMOINFRAESTRUTURA14032022.pdf	14/03/2022 09:18:03	RENATA LOPES DE SIQUEIRA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	TCUD12032022_assinado.pdf	12/03/2022 17:13:43	RENATA LOPES DE SIQUEIRA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	termocompromissoconfidencialidade.pdf	10/03/2022 18:05:38	RENATA LOPES DE SIQUEIRA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Rua Cláudio Batista s/nº

Bairro: Sanatório

UF: SE

Município: ARACAJU

CEP: 49.060-110

Telefone: (79)3194-7208

E-mail: cep@academico.ufs.br

ANEXO C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O(a) Senhor(a) está sendo convidado(a) para participar da pesquisa intitulada “Fomento a participação dos segmentos prioritários da agricultura familiar, empreendedor familiar rural e suas organizações no Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), orientada pela pesquisadora Dra. Renata Lopes de Siqueira.

O objetivo do estudo: mediante o levantamento da situação de Insegurança Alimentar e Nutricional, dos produtos cultivados ou produzidos pela sua família, e dos fatores que dificultam a comercialização destes produtos para a alimentação escolar ofertada nas escolas públicas, promover a participação da sua família nas Chamadas Públicas destinadas a compra de gêneros alimentícios para o Programa Nacional de Alimentação Escolar de seu município.

Procedimentos de pesquisa: o(a) senhor(a) responderá um roteiro com 23 perguntas sobre a situação agrícola da comunidade, recursos que dispõem para produzir, a vocação produtiva do território em que vive com sua família e opiniões acerca do biocarvão de lodo. O(A) senhor(a) e os demais participantes desta pesquisa receberão todas as orientações e esclarecimentos necessários para que se sinta suficiente esclarecido(a) sobre as etapas e procedimentos da pesquisa.

Riscos de participação na pesquisa: ressalta-se que havendo algum dano decorrente da pesquisa, você terá direito a solicitar indenização por meio das vias judiciais, conforme assegurado pelo Código Civil, Lei 10.406/2002, Artigos 927 a 954 e Resolução CNS nº 466 de 12 de dezembro de 2012 (Inciso V). Caso seja observado qualquer risco ou dano significativo aos participantes dessa pesquisa, este estudo será imediatamente suspenso.

Benefícios de participação na pesquisa: as informações fornecidas pelo senhor(a) poderão colaborar no conteúdo de ensino das oficinas de promoção da participação das comunidades tradicionais quilombolas para atuarem como fornecedores de gêneros alimentícios para o PNAE, assegurando-lhes usufruírem do direito de prioridade como fornecedores garantido por lei. Consequentemente, poderá possibilitar a melhoria da renda familiar, situação de insegurança alimentar e nutricional e autoestima do(a) senhor(a), da sua família e da comunidade. Esta pesquisa também possibilitará resgatar e valorizar a cultura alimentar local pela chance de inclusão no cardápio da alimentação escolar dos alimentos típicos da região.

Garantia de esclarecimento, liberdade de recusa e garantia de sigilo: o(a) senhor(a) poderá ter todas as informações que quiser a respeito do estudo, recusar participar ou sair da pesquisa quando desejar. Caso se sinta constrangido com alguma pergunta ou situação, também deve nos informar. Sua vontade será sempre aceita. Em caso de recusa ou desistência, o(a) senhor(a) não será penalizado(a) de forma alguma e, a qualquer momento, poderá retirar seu consentimento, mesmo após o início da entrevista/coleta de dados, sem qualquer prejuízo para o(a) senhor(a). Desde já, fica garantido o sigilo das informações, nome e dados pessoais. Todas as informações fornecidas serão acessadas apenas pelos pesquisadores, sendo garantido sua total privacidade, por meio da codificação do seu nome nas publicações científicas desta pesquisa e quaisquer outros documentos.

Custos da participação: Sua participação no estudo não acarretará qualquer despesa para o(a) senhor(a). Também não haverá nenhuma forma de pagamento pela sua participação, mas é garantido o direito a indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa.

Resultados e Divulgação do Estudo: os resultados desta pesquisa serão divulgados em formato acessível ao senhor(a) e membros da sua comunidade e encaminhados para publicação em revistas científicas com os devidos créditos aos autores. O(A) senhor(a) tem direito, e receberá uma via deste documento assinada pela pesquisadora responsável. É recomendado guardá-la de forma segura.

Para esclarecimento de dúvidas de natureza ética, reclamações ou denúncias acerca da pesquisa, o(a) senhora poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP/UFS), órgão responsável pela avaliação e acompanhamento dos processos éticos envolvendo pesquisas com seres humanos e pela proteção ao participante. O Comitê está disponível no seguinte endereço: Rua Cláudio Batista S/N, Campus da Saúde Prof. João Cardoso Nascimento JR, Centro de pesquisas Biomédicas, Bairro Sanatório, Aracaju -SE. O telefone de contato é (79) 3194-7208 e e-mail: cephu@ufs.br.

Em caso de dúvidas sobre questões técnicas e científicas da pesquisa, o(a) senhor(a) poderá esclarecê-las entrando em contato com a prof. Dra. Renata Lopes de Siqueira na sala do CECANE/UFS, situada no Departamento de Nutrição da Universidade Federal de Sergipe, na Avenida Marechal Rondon, S/N, Bairro Rosa Elze, São Cristóvão-SE, Também pode se comunicar com a pesquisadora responsável pelo telefone: (79) 31946574 ou e-mail: renata.educacao@academico.ufs.br

Eu, _____, declaro estar ciente e esclarecido(a) sobre o conteúdo deste termo, e informo que, voluntariamente, estou de acordo em participar da pesquisa “Fomento a participação dos segmentos prioritários da agricultura familiar, empreendedor familiar rural e suas organizações no Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE)”, sabendo que dela poderei desistir a qualquer momento, sem sofrer qualquer punição ou constrangimento.

_____, ____ de _____ de _____.
(Preencher as linhas com o nome do local, dia, mês e ano)

Assinatura do participante da pesquisa

Prof. Dra. Renata Lopes de Siqueira

(Pesquisadora responsável e coordenadora de gestão do CECANE/UFS)