

BRASIL BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL

**LIVRO TECNOLOGIA INDUSTRIAL
BIOCHAR BIOMASSA MACAÚBA**



EDITORIA BRASIL BIOMASSA

2026

SUMÁRIO EXECUTIVO

LIVRO BIOCHAR BIOMASSA MACAÚBA

INTRODUÇÃO.....	21
-----------------	----

Declarações Prospectivas

Apresentação do Livro Biochar da Biomassa Macaúba

Escopo do Livro Biochar Biomassa Macaúba

Metodologia do Livro Biochar da Biomassa Macaúba

DIRETRIZES FUNDAMENTAIS BIOCHAR BIOMASSA MACAÚBA.....	51
---	----

Seção 1 Diretrizes Gerais de Produção de Biochar Macaúba.....	51
---	----

I. Características da Biomassa Macaúba

II. Tecnologia de Produção de Biochar à Base Macaúba

III. Processo Termoquímico da Pirólise

IV. Pirólise Lenta

V. Pirólise Assistida por Micro-ondas

VI. Pirólise Ablativa

VII. Gaseificação da Biomassa Macaúba

VIII. Carbonização Autossustentável

IX. Aspecto Financeiro da Tecnologia de Produção de Biochar

- X. Características do Biochar da Biomassa Macaúba
- XI. Ativação de Biochar à Base Macaúba
- XII. Ativação Física
- XIII. Ativação por Vapor do Steam
- XIV. Ativação de CO₂
- XV. Ativação Química
- XVI. Ativação Ácida - Ativação de H₃ PO₄
- XVII. Ativação Alcalina - Ativação de KOH
- XVIII. Ativação de NaOH
- XIX. Impregnação de Metais
- XX. Ativação de MgCl₂
- XXI. Efeito do Método de Ativação nas Propriedades do Biochar Macaúba
- XXII. Utilização de Biochar à Base Macaúba para Diferentes Aplicações
- XXIII. Biochar à Base da Biomassa Macaúba na Remediação de Poluentes
- XXIV. Biochar à Base da Biomassa Macaúba na Adsorção de CO₂
- XXV. Biochar à Base da Biomassa Macaúba como Aditivo em Compósitos
- XXVI. Biochar à Base da Biomassa Macaúba como Catalisador
- XXVII. Biochar à Base da Biomassa Macaúba na Construção Civil
- XXVIII. Biochar à Base da Biomassa Macaúba em Aplicação ambiental - Corretivos de Solo

XXIX. Biochar à Base da Biomassa Macaúba em Aplicação Industrial -
Produção de biodiesel

XXX. Biochar à Base da Biomassa Macaúba em Deionização Capacitiva

XXXI. Biochar à Base da Biomassa Macaúba para Tratamento de Água

XXXII. Biochar à Base da Biomassa Macaúba para Sequestro de Carbono

XXXIII. Utilização de Técnica Analítica de Biochar Biomassa Macaúba

CAPÍTULO I BIOMASSA AGRICULTURA E AGROINDUSTRIAL.....110

1.1. Agricultura Brasileira

1.1.1. Áreas disponíveis para agricultura

1.1.2. Safra brasileira 2025/26 para produção de grãos

1.2. Agricultura como fonte energética e sustentável

1.3. Potencial de geração de biomassa/bioenergia da agricultura e do beneficiamento agroindustrial

1.3.1. Culturas favoráveis para fornecimento biomassa/bioenergia

1.4 Geração de resíduos da agricultura e do beneficiamento agroindustrial

1.4.1 Pré-tratamento de resíduos agrícolas/agroindustriais

1.4.2. Classificação dos resíduos na agricultura e do beneficiamento agroindustrial

1.5. Gestão ambiental dos resíduos da agricultura e do beneficiamento agroindustrial

1.5.1. Impacto ambiental e a gestão dos resíduos agrícolas

1.5.2. Problema ambiental dos resíduos agrícolas

1.5.3. Emissões da atividade agrícola/agroindustrial

1.6. Logística reversa dos resíduos da agricultura e do beneficiamento agroindustrial

1.6.1 Política nacional de resíduos sólidos da agricultura

1.6.2. Resíduos sólidos da agricultura e do beneficiamento agroindustrial

1.6.3. Proibição dos resíduos agrícolas em depósito de lixo

1.6.4. Disposição e forma de descarte do resíduos da agricultura e do beneficiamento agroindustrial

1.7. Avaliação da viabilidade do uso de resíduos da agricultura e do beneficiamento agroindustrial

1.8. Aspectos legais do uso agrícola de resíduos da agricultura e do beneficiamento agroindustrial

1.9. Avaliação da demanda de mercado e da viabilidade econômica no uso biomassa agroindustrial

1.10. Propriedades dos tipos de biomassas da agricultura e do beneficiamento agroindustrial

1.11. Biomassa da agricultura lignocelulósica

1.11.1. Estrutura molecular

1.11.1.1. Celulose

1.11.1.2. Hemicelulose

1.11.1.3. Lignina

1.11.2. Caracterização de biomassa agrícola lignocelulósica

1.11.3. Variáveis físico-químicas da biomassa agrícola lignocelulósica

1.11.4. Parâmetros de análise estrutural e termogravimétrica

1.11.5. Parâmetros de análise e de composição química imediata

1.11.5.1. Teor de umidade

1.11.5.2. Poder calorífico superior e inferior

1.11.6. Composição básica de um combustível agrícola: elementos químicos

1.11.6.1. Elementos químicos

1.11.7. Compostos voláteis

1.11.7.1. Teor de material volátil

1.11.7.2. Teor de carbono fixo

1.11.7.3. Densidade aparente

1.11.7.4. Composição das cinzas da biomassa agrícola

1.11.8. Parâmetros de composição química elementar

1.11.9. Caracterização por análise térmica

CAPÍTULO II CULTURA MACAÚBA.....150

2.1. Cultura Macaúba

2.2. Produção agrícola nacional da cultura Macaúba

2.3. Oferta e demanda da cultura Macaúba

2.4. Características da fase agrícola e agroindustrial da cultura Macaúba

2.5. Produção (safra 2025/26) da cultura Macaúba no Brasil

2.6. Resíduos agrícolas/agroindustrial da cultura Macaúba

2.7. Metodologia de cálculo dos resíduos da cultura Macaúba

2.8. Cálculo de biomassa residual da cultura Macaúba

2.8.1. Quantitativo de disponibilidade da biomassa Macaúba por região

2.9. Composição Físico-química da biomassa Macaúba

2.10. Dados de mercado das empresas do cultivo e beneficiamento Macaúba

2.10.1. Empresas no Brasil que atuam no cultivo/beneficiamento Macaúba

2.10.2. Macrolocalização e mercado do setor brasileiro cultivo/beneficiamento Macaúba

2.10.2.1. Macrolocalização e quantitativo empresarial do setor brasileiro cultivo/beneficiamento Macaúba

2.10.2.2. Macrolocalização e quantitativo empresarial do setor brasileiro cultivo/beneficiamento Macaúba por Estados

2.10.2.3. Macrolocalização e quantitativo empresarial do setor brasileiro cultivo/beneficiamento Macaúba maiores Municípios

CAPÍTULO III TECNOLOGIA PRODUÇÃO BIOCHAR MACAÚBA.....200

SEÇÃO 1 Rotas de Conversão de Biomassa Macaúba.....200

3.1. Rotas de Conversão da Biomassa Macaúba

3.1.1 Pré-tratamento

3.1.1.1 Pré-tratamento da Biomassa Macaúba

3.1.1.2 Pré-tratamento da Térmico

3.1.1.3 Pré-tratamento por explosão de vapor

3.1.1.4 Pré-tratamento por micro-ondas.

3.1.1.5 Pré-tratamento por água quente líquida

3.1.1.6 Outros tipos de pré-tratamentos da biomassa

3.1.2 Secagem da Biomassa Macaúba

3.1.2.1. Secadores de tambores rotativo.

3.1.2.2. Secadores de Pás de Biomassa

3.1.2.3. Secadores de leito fluidizado de biomassa

3.1.2.4. Secador de esteira de biomassa

3.1.2.5. Secadores de bandeja

3.1.2.6. Secadores Flash.

3.1.2.7. Secadores de vapor superaquecido

3.1.2.8. Secadores de cascata

3.1.2.9. Principais componentes de um secador de biomassa.

3.1.2.10. Critérios de seleção de secador de biomassa

3.1.3 Moagem da Biomassa Macaúba

3.1.4 Processos de Conversão da Biomassa

3.1.5 Conversão Termoquímica

SEÇÃO 2 Processo de Pirólise Biomassa Macaúba.....240

3.2. Processos de Conversão Térmica pela Pirólise

3.2.1. Processo de degradação térmica do tipo pirólise em base seca

3.2.1.1. Fase gasosa (gás pirolítico)

3.2.1.2. Fase líquida (extrato pirolenhoso)

3.2.1.3. Fase sólida (material carbonáceo pirogênico ou biochar)

3.2.2. Classificação dos tipos de pirólise quanto ao ajuste das condições operacionais

3.2.2.1. Carbonização ou pirólise lenta

3.2.2.2. Pirólise convencional

3.2.2.3. Pirólise flash

3.2.2.4. Pirólise Rápida

3.2.2.5. Pirólise de Alta Temperatura

3.2.3. Mecanismos envolvidos no processo de pirólise em base seca

3.2.3.1. Tipos de pirólise em base seca quanto ao ajuste das condições operacionais

SEÇÃO 3 Reatores de Pirólise.....280

3.3. Reatores para Pirólise

3.3.1. Reatores sob modo de operação batelada

3.3.2. Reatores sob modo de operação contínuo

3.3.3. Planta de pirólise rápida em escala piloto

3.3.3.1. Reator de leito fluidizado

.3.3.3.1. Reator Leito fluidizado circulante

3.3.3.2. Pirolisador de cone rotativo

3.3.3.3. Reator ablativo

3.3.3.4. Reator rosca sem fim

- 3.3.3.5. Variáveis de processo e aspectos operacionais de reatores pirolíticos
- 3.3.3.6. Escala de processo dos reatores pirolíticos
- 3.3.3.7. Distribuição dos produtos de pirólise (gás, líquido e sólido) em função da caracterização da biomassa e do ajuste de variáveis de processo

SEÇÃO 4 Processo Pirólise Biochar Macaúba.....310

3.4. Pirólise para a produção de Biochar

3.4.1. Aplicações da pirólise lenta

3.4.1.1. Pirólise Rápida

3.4.2. Influência das características da biomassa no rendimento e qualidade do Biochar

3.4.3. Composição físico química da biomassa

3.4.3.1. Propriedades Morfológicas

3.4.3.1.1. Densidade básica

3.4.3.1.2 Teor de umidade

3.4.3.1.3. Poder calorífico

3.4.3.1.4. Composição química elementar

3.4.4. Caracterização da biomassa

3.4.5. Pirólise da Biomassa

3.4.6. Modelos Cinéticos da pirólise

3.4.7. Parâmetros operacionais que influenciam o processo de pirólise

3.4.7.1 Temperatura de reação

3.4.7.2. Tempo de residência

3.4.7.3. Taxa de aquecimento

3.4.7.4. Tipo de atmosfera e Pressão

3.4.8. Pirólise em leito fixo

CAPÍTULO IV BIOCHAR EXTRATO PIROLENHOSO GÁS.....350

SEÇÃO 1 Biochar Biomassa Macaúba.....350

4.1. Biochar Biomassa Macaúba

4.1.1. Aspectos gerais de produção do Biochar

4.1.2. Fatores de influência: Biochar

4.1.3. Biochar numa economia neutra em carbono

4.1.4. Propriedades do biochar

4.1.5. Biochar ativado

4.1.5.1. Propriedades texturais do Biochar ativado

4.1.5.2. Ativação do Biochar

4.1.5.3. Ativação química e física

4.1.5.4. Impregnação em solução

4.1.5.5. Agentes de ativação

4.1.5.6. Comportamento energético

4.1.6. Estágio final de produção de Biochar

4.1.7. Rendimento dos combustíveis energéticos	
4.1.7.1. Rendimento de Biochar	
4.1.7.2. Rendimento de gás	
4.1.8. Caracterização da fração de Biochar	
4.1.9. Estabilidade de Biochar e relação com aplicação sequestro de carbono	
SEÇÃO 2 Gás Sintético.....	395
4.2. Gases da carbonização	
4.2.1. Gás natural sintético – Syngas	
SEÇÃO 3 Extrato Pirolenhoso	400
4.3. Extrato Pirolenhoso	
4.3.1 Políticas regulatórias uso extrato pirolenhoso Brasil, China e Japão	
4.3.2. Composição do Extrato Pirolenhoso	
4.3.3. Propriedades do extrato pirolenhoso.	
4.3.4. Processo Produção Extrato Pirolenhoso.	
4.3.5. Utilizações do Extrato Pirolenhoso	
4.3.5.1. Melhoria da produtividade e qualidade das culturas	
4.3.5.2 Extrato pirolenhoso como Adjuvante Agrícola	
4.3.5.3 Potencializador de herbicidas	
4.3.5.4 Melhorador de absorção de nutrientes.	

- 4.3.5.5 Agente dispersante dos produtos agrícolas
- 4.3.5.6 Regulador de pH
- 4.3.6. Extrato Pirolenhoso como fertilizante e condicionador de solo
- 4.3.7. Extrato Pirolenhoso como estimulante do crescimento vegetal.
- 4.3.8. Extrato Pirolenhoso como manejo integrado de pragas e doenças
- 4.3.9. Extrato Pirolenhoso como ação Quelatizante
- 4.3.10. Indutor de Bioresistência Sistêmica
- 4.3.11. Aumento da Eficiência Fotossintética
- 4.3.12. Extrato Pirolenhoso como incremento na produção de proteínas e açúcares
- 4.3.13. Aplicações Industriais e Ambientais
- 4.3.14. Vantagens Ambientais.
- 4.3.15. Oportunidades de economia com o extrato pirolenhoso
- 4.3.16. Vinagre da Madeira

CAPÍTULO V USO MERCADO CARBONO BIOCHAR MACAÚBA...450

SEÇÃO 1 Utilização Biochar Biomassa Macaúba.....450

5.1. Setores de aplicações do Biochar

5.1.1. Biochar na Pecuária

5.1.1.1. Agente de silagem

- 5.1.1.2. Aditivo/suplemento alimentar dos animais
- 5.1.1.3. Aditivo para cama de animais (avicultura-frango)
- 5.1.1.4. Tratamento de chorume
- 5.1.1.5. Compostagem de esterco
- 5.1.2. Biochar na Agricultura(tratamento de solos)
 - 5.1.2.1. Adubo ou Fertilizante de carbono
 - 513.2.2. Aditivo de composto
 - 5.1.2.3. Substituto de turfa em solo para vasos
 - 5.1.2.4. Proteção de plantas
 - 5.1.2.5. Fertilizante compensatório para oligoelementos
 - 5.1.2.6. Aditivo e remediação de solos
 - 5.1.2.7. Substratos de solo
 - 5.1.2.8. Filtrar pesticidas e fertilizantes
- 5.1.3. Biochar no setor de Construção
 - 5.1.3.1. Isolamento térmico
 - 5.1.3.2. Descontaminação do ar
 - 5.1.3.3. Descontaminação das fundações de terra
 - 5.1.3.4. Regulação da umidade
 - 5.1.3.5. Proteção contra a radiação eletromagnética
- 5.1.4. Biochar para tratamento de água

- 5.1.4.1. Tratamento de água de lagoas
- 5.1.4.2. Tratamento de água na piscicultura
- 5.1.5. Biochar na produção de Biogás e Hidrogênio
 - 5.1.5.1. Aditivo (fermentação) de biomassa para produção biogás
 - 5.1.5.2. Tratamento de lama (laticínios) para produção de biogás
- 5.1.6. Biochar para tratamento de águas residuais
 - 5.1.6.1. Filtro de carvão ativo
 - 5.1.6.2. Aditivo de pré-lavagem
 - 5.1.6.3. Sanitários de compostagem
- 5.1.7. Biochar para tratamento da água potável
 - 5.1.7.1. Microfiltros
- 5.1.8. Biochar para uso industrial
 - 5.1.8.1. Filtros de exaustão
 - 5.1.8.2. Controle de emissões
 - 5.1.8.3. Filtros de ar ambiente
 - 5.1.8.4. Materiais industriais
 - 5.1.8.5. Fibras de carbono
 - 5.1.8.6. Material plástico e polímeros
 - 5.1.8.7. Eletrônica em semicondutores
 - 5.1.8.8. Material para baterias

5.1.8.9. Metalurgia como redutor de metais

5.1.8.10. Cosméticos na confecção de sabonetes

5.1.8.11. Material para cremes para a pele

5.1.8.12. Aditivos terapêuticos para banho

5.1.8.13. Tintas e corantes

5.1.8.14. Tintas industriais

5.1.8.15. Produção de energia

5.1.8.16. Aditivo para a produção de pellets

5.1.9. Biochar para uso Medicinal

5.1.9.1. Medicação para desintoxicação

5.1.9.2. Transportador de princípios ativos farmacêuticos

5.1.9.3. Cataplasma para picadas de insetos

5.1.10. Utilização Biochar no setor têxtil

5.1.10.1. Aditivo de tecido para roupas funcionais

5.1.10.2. Isolamento térmico para roupas funcionais

5.1.10.3. Desodorante para sapatos

5.1.11. Utilização Biochar no Bem-estar

5.1.11.1. Enchimento para colchões e travesseiros

5.1.11.2. Escudo contra radiação eletromagnética em fornos de micro-ondas

5.1.11. Utilização Biochar na alimentação

5.1.11.1.Conservação de alimentos

SEÇÃO 2 Cadeia Suprimento Biochar.....550

5.2. Cadeia de suprimentos e benefícios do Biochar

5.2.1. Benefícios e demanda de Biochar

5.2.2. Benefícios privados: Melhoria da produtividade agrícola e do funcionamento do solo

5.2.2.1. PH do solo e capacidade de troca catiônica

5.2.2.2. Fornecimento e retenção de nutrientes

5.2.2.3. Fornecimento de nutrientes

5.2.2.4. Retenção de nutrientes

5.2.2.5. Ciclagem de nutrientes

5.2.2.6. Co-compostagem; benefícios para a produção de composto

5.2.2.7. Melhorar a retenção de água e a capacidade de retenção de água

5.2.3. Benefícios sociais: Mitigação das alterações climáticas

5.2.3.1 Tecnologia potencial de armazenamento de carbono

5.2.3.2 Mudanças no uso do solo e compensações de combustíveis fósseis

5.2.3.3 Desafios na obtenção dos benefícios do biochar

5.2.4. Análise de oferta

5.2.4.1. Custo principais elementos da cadeia de abastecimento da pirólise

5.2.4.2. Aquisição de matéria-prima

5.2.4.3. Transporte de matéria-prima	
5.2.4.4. Pré-tratamento da matéria-prima	
5.2.4.5. Custo da pirólise — construção e operação	
5.2.4.6. Pirólise simples	
5.2.4.7. Pirólise avançada	
5.2.4.8. Estado atual da indústria do biochar	
5.2.5. Futuro do Biochar	
5.2.5.1. Análise biorregional e correspondência espacial	
5.2.5.2. Integração do biochar com a gestão florestal	
5.2.5.3. Investimento público, extensão e educação	
5.2.5.4. Integração do biochar com iniciativas de saúde do solo	
5.2.5.5. Testes e padronização	
SEÇÃO 3 Biochar e Mercado Crédito de Carbono.....	600
5.3. Mercado de Carbono	
5.3.1. Mercado Regulado	
5.3.2. Mercado Voluntário	
5.3.3. Tipos de créditos de carbono	
5.3.4. Estruturas operacionais do mercado	
5.3.5. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	
5.3.6. Características das Reduções Certificadas de Emissão	

5.3.7. Geração de Crédito de Carbono	
5.3.8. Metodologia utilizada	
5.3.9. Estimativa de Emissões Reduzidas e Absorções de CO ₂	
5.3.10. Geração de créditos de carbono	
5.3.11. Teor de carbono total	
5.3.12. Emissão de CO ₂	
5.3.13.. Biochar e Mecanismo de Mercado de Carbono	
5.3.13.1. Biochar: Uma Tecnologia de Emissões Negativas	
5.3.13.2. Sequestro de carbono	
5.3.13.3. Uso do biochar antes do seu armazenamento permanente no reservatório de carbono do solo	
5.3.13.4. Mercado de remoção de carbono	
5.3.13.5. Estudos de caso e projetos	
5.3.13.6. Conclusões	
SEÇÃO 4 Certificação Internacional Biochar	650
5.4.1. Certificação da “International Biochar Initiative”	
5.4.2. Certificação da “European Biochar Certificate”	
BRASIL BIOMASSA CONSULTORIA ENGENHARIA TECNOLOGIA.....	660

Livro Biochar Biomassa Macaúba

Catálogo na Fonte Brasil.

Brasil Biomassa e Energia Renovável. Curitiba. Paraná. Edição 2026

Conteúdo: 1. Análise do Potencial e de Disponibilidade Biomassa Macaúba como matéria-prima para a produção de Biochar no Brasil 2. Projeções de Produção de Biochar Biomassa Macaúba. 3. Biochar para Sequestro de Carbono, Fertilizante Ecológico e para Agricultura Regenerativa 4. Tecnologia Industrial de Pirólise Biomassa Macaúba para produção Biochar, bio-óleo, gás sintético, extrato pirolenhoso e vinagre de madeira 5. Análise Mercado de Produção e Consumo de Biochar. 6. Aproveitamento Sustentável (bioeconomia e economia circular) dos resíduos da Biomassa Macaúba. 7. Requisitos Ambientais, Certificações e Permissões do biochar. 8. Impacto e Projeções de Uso e Consumo de Biochar Biomassa Macaúba 9. Certificações Internacionais do Biochar 10. Biochar Biomassa do Macaúbae Crédito de Carbono.

II. Título. CDU 621.3(81)"2030" : 338.28 CDU 620.95(81) CDD333.95 (1ed.)

Todos os direitos reservados a Brasil Biomassa e Energia Renovável

Copyright by Celso Marcelo de Oliveira

Tradução e reprodução proibidas sem a autorização expressa do autor.

Nenhuma parte deste estudo pode ser reproduzida ou transmitida de qualquer forma ou meio, incluindo fotocópia, gravação ou informação, ou por meio eletrônico, sem a permissão ou autorização por escrito do autor. Lei 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Edição eletrônica no Brasil e Portugal em versão eletrônica. Proibida a reprodução com ou sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio impresso e eletrônico

© 2026 ABIB Brasil Biomassa e Energia Renovável

Edição 2026 Total 720 páginas.

Proibida a reprodução com ou sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio impresso e eletrônico.



DECLARAÇÕES PROSPECTIVAS

Este Livro Biochar Biomassa Macaúba contém certas declarações prospectivas que dizem respeito a eventos futuros ou desempenho futuro do mercado de produção e consumo de Biomassa Macaúba para a produção Biochar. Estas declarações prospectivas são baseadas em previsões e estudos técnicos e dados de mercado das principais entidades internacionais sobre as expectativas de desenvolvimento e da estrutura do Livro.

Objetiva-se com o Livro Biochar Biomassa Macaúba em gerar expectativas dentro de uma tendência de mercado de produção da biomassa para a produção de biochar. Se as expectativas geradas e premissas revelarem-se incorretas por mudança de fatores e de mercado, então os resultados reais podem diferir materialmente da informação prospectiva contida neste documento. Além disso, declarações prospectivas, por sua natureza, envolvem riscos e incertezas que poderiam causar os resultados reais difiram materialmente daqueles contemplados no Livro. Assim utilizamos as declarações prospectivas de informações como apenas uma advertência no desenvolvimento do Livro Biochar Biomassa Macaúba.

DIRETORIA EXECUTIVA



Apresentação do Livro Biochar da Biomassa Macaúba

Em nome da Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável e dos numerosos colaboradores que ajudaram no desenvolvimento do primeiro Livro Biochar Biomassa Macaúba que tem por objetivo uma avaliação pormenorizada do setor agrícola na produção de um produto sustentável (Biochar) para o setor no Brasil.

O aumento da população global e da atividade industrial levou a um aumento notável na demanda por energia. Essa demanda de energia é atendida principalmente pelo uso de combustíveis fósseis não renováveis, como carvão, petróleo e gás natural, que causaram um aumento nos níveis de CO₂ atmosférico .

As emissões de carbono, que contribuem para o aquecimento global, são causadas principalmente pela queima de combustíveis fósseis, representando cerca de 98%. O CO₂ , juntamente com outros gases de efeito estufa, como metano (CH₄) e óxido de nitrogênio (N₂O), foi identificado como a principal causa do aquecimento global.

Há, portanto, uma necessidade urgente de abordar a questão ambiental e a segurança energética causadas pelo consumo e esgotamento de combustíveis fósseis, respectivamente.

Na COP30, houve uma forte ênfase na necessidade de sistemas agroalimentares avançados e na integração de práticas agrícolas sustentáveis . Isso inclui o aproveitamento de recursos de biomassa renováveis, como materiais vegetais e resíduos agrícolas, que são vitais para atingir a meta do Acordo de Paris de limitar o aquecimento global a 1,5 °C e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Nos últimos anos, tem havido uma inclinação crescente para explorar a viabilidade da utilização de fontes de energia renováveis, como biomassa, como uma alternativa às fontes de energia convencionais.

A biomassa descreve uma série de biopolímeros complexos que incluem uma ampla gama de compostos, como lipídios, proteínas, lipídios e celulose, entre outros. Ela abrange florestas, culturas de campo cultivadas, árvores, resíduos agroindustriais, residenciais e agrícolas e da cana-de-açúcar. A biomassa vegetal é um dos biomateriais mais abundantes na Terra e é composta principalmente por três componentes: lignina, celulose e hemicelulose.

A biomassa lignocelulósica desempenha um papel importante ao converter o CO₂ atmosférico em carboidratos e manter o delicado equilíbrio causado pela combustão de combustível fóssil, que libera quantidades excessivas de CO₂ na atmosfera. Essa transformação não apenas posiciona a biomassa como uma fonte renovável de energia, mas também apoia seu status como um combustível neutro em carbono.

A produção de biomassa, que é a matéria-prima mais onipresente e sustentável para a geração de biocombustíveis, ultrapassa 100 bilhões de toneladas por ano.

Cerca de 18% do fornecimento total global de energia é atualmente fornecido por biomassa. Em particular, os resíduos agrícolas têm o potencial de diminuir a dependência de combustíveis fósseis, reduzir a pegada de carbono e proporcionar certas vantagens, como a criação de empregos e o desenvolvimento sustentável. Macaúba está entre as culturas mais populares cultivadas em regiões tropicais e tem enorme importância econômica. O processamento Macaúba gera uma grande quantidade de biomassa residual.

O descarte de resíduos de biomassa Macaúba é um sério problema ecológico em muitos países produtores, pois ocupa aterros sanitários e emite gases de efeito estufa. Portanto, encontrar maneiras alternativas de utilizar resíduos de biomassa é fundamental para o desenvolvimento sustentável.

A produção de biocombustíveis a partir da biomassa Macaúba se tornou uma abordagem viável para enfrentar os desafios ambientais associados ao descarte de resíduos.

De acordo com a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (nº 12.305/2010), resíduo sólido (RS) é definido como todo material, substância, objeto ou bem descartado, resultante de atividades humanas em sociedade, e cuja destinação final se dá nos estados sólido ou semissólido.

O descarte inadequado desses resíduos tem se tornado uma preocupação mundial em termos de impactos socioambientais, causando inundações, aumento da poluição, desperdício de recursos públicos, desvalorização de imóveis, obstrução de vias públicas, prejuízos ao turismo e transtornos à saúde pública. Para uma destinação adequada, os resíduos sólidos podem ser reaproveitados por meio de uma série de processos físicos, químicos e/ou biológicos para novas aplicações bioenergéticas e/ou industriais.

Embora a biomassa em sua forma bruta seja útil para nós, a conversão termoquímica da biomassa Macaúba é uma tecnologia usada há milênios que aumenta o valor do produto.

A pirólise é descrita como o processo de decomposição de material orgânico em temperaturas elevadas na ausência de oxigênio, resultando em três componentes primários — biochar, extrato pirolenhoso e vinagre de madeira e gás de síntese. O alto teor de carbono no Biochar e as propriedades físico-químicas únicas dos resíduos de biomassa o tornam um excelente material para a produção de biochar.

As propriedades bioenergéticas foram investigadas neste livro para a produção de biocombustíveis e seu destino correto. Avaliamos a conversão em biochar em escala nacional, fornecendo uma alta densidade (412 kg m^{-3}) e de valor calorífico elevado ($19,4 \text{ MJ kg}^{-1}$). O processo de compressão aumentou o alto valor de aquecimento da biomassa para $32,16 \text{ MJ kg}^{-1}$.



O biochar é um material com alto teor de carbono produzido quando a biomassa é pirolizada, gaseificada ou carbonizada hidrotermicamente em um ambiente com limitação de oxigênio. O biochar tem se tornado cada vez mais popular como solução para diferentes problemas ambientais nos últimos tempos. O teor de carbono do biochar quando convertido em biochar, tornando-o estável e resistente à degradação térmica e, portanto, uma ferramenta eficaz para sequestrar carbono.

Uma extensa pesquisa desenvolvida neste livro revelou uma via promissora para melhorar a recuperação de energia por meio da conversão de resíduos em biochar, que é um produto sólido (armazenamento de carbono). Essa transformação é obtida empregando técnicas termoquímicas e bioquímicas após o processo de desvolatilização da biomassa.

Esses métodos inovadores oferecem uma oportunidade atraente para aproveitar maior potencial energético, abrindo caminho para a utilização sustentável e eficiente de recursos.



Por meio do processo termoquímico de pirólise, a biomassa sofre decomposição térmica em temperaturas superiores a 300 °C em um ambiente livre de oxigênio.

Esse processo leva à produção de biochar, um material sólido caracterizado por sua composição rica em carbono. Além disso, os componentes voláteis podem condensar parcialmente em uma forma líquida conhecida como bio-óleo, o extrato pirolenhoso e o vinagre de madeira. Junto com essas saídas, gases de combustão contendo CH_4 , H_2 , CO e CO_2 também são gerados.

Os biochars da biomassa Macaúba têm algumas propriedades físico-químicas importantes, como maior área de superfície e porosidade, baixa densidade aparente, maior capacidade de troca catiônica (CTC), pH neutro a alto e maior teor de carbono.

Essas características podem ser efetivamente utilizadas em vários campos, como adsorção e na captura de carbono, biofertilizante, agricultura regenerativa e como material de construção, transporte, fabricação de móveis, aplicações domésticas, cimento e indústria de plástico.

A utilização mundial de biochar tem crescido significativamente nos últimos anos, surgindo diferentes mercados.

O desafio do setor agroindustrial vai exigir uma enorme quantidade de adubos e fertilizantes e o biochar pode ser uma solução ao setor.

O biochar é uma solução sustentável e multifuncional para mudanças climáticas pode ajudar a construir resiliência em comunidades locais de alto risco e sensíveis ao impacto das mudanças climáticas.



Em face do aumento das temperaturas globais, eventos climáticos extremos e a necessidade resultante de agricultura adaptada, o biochar oferece uma solução interseccional para questões em torno da degradação do solo, remoção de carbono, desafios de uso da terra, insegurança alimentar e desenvolvimento econômico.

O biochar, tem sido relatado como tendo diversas aplicações, estendendo-se além da produção de energia para incluir usos como combustível sólido, material de carbono, corretivo de solo, adsorvente ambiental (biossorvente), catalisador funcional ou matéria-prima para produtos químicos.

A versatilidade do biochar destaca seu potencial na promoção de métodos agrícolas sustentáveis e no fornecimento de alternativas verdes às práticas convencionais.

O biochar também pode adsorver e imobilizar contaminantes orgânicos, como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), mitigando assim seu impacto ambiental. Com relação ao controle da poluição do ar, o biochar pode adsorver compostos orgânicos voláteis (COVs) de emissões industriais, reduzindo a poluição do ar e melhorando a qualidade do ar. Ele também adsorve efetivamente o dióxido de enxofre (SO_2) dos gases de combustão, demonstrando seu potencial em sistemas industriais de purificação de ar.

Muitas investigações também se concentraram no uso de biochar no tratamento de água. O biochar é relatado como altamente eficaz na adsorção de metais pesados, produtos farmacêuticos e poluentes orgânicos de águas residuais. Estudos demonstraram que o biochar pode remover até 90% de chumbo (Pb) e cádmio (Cd) de água contaminada. Sua alta área de superfície e porosidade o tornam adequado para adsorver corantes de efluentes industriais, como o azul de metileno, com capacidades de adsorção significativas.

O biochar quimicamente modificado, como o biochar do Macaúba com ácido fosfórico, aumenta ainda mais essas capacidades de adsorção, expandindo sua aplicabilidade em vários ambientes.

Quando adicionado ao solo, o biochar pode armazenar carbono por centenas ou até milhares de anos, ajudando a mitigar as mudanças climáticas ao reduzir a quantidade de CO₂ na atmosfera. Além disso, o biochar pode aumentar a retenção de água no solo, a disponibilidade de nutrientes, melhorar a estrutura do solo, diminuir a acidez do solo e aumentar a produtividade agrícola. Também pode ajudar a reduzir a erosão do solo, prevenir a lixiviação de nutrientes e promover a atividade microbiana. O biochar também pode ser usado no tratamento de águas residuais para remover contaminantes orgânicos e nutrientes da água.

Quando usado como adsorvente, o biochar pode absorver poluentes e reduzir a quantidade de produtos químicos necessários para o tratamento, o que pode ajudar a reduzir a poluição da água. O processo de criação de biochar a partir de biomassa residual é particularmente atraente porque não só resolve problemas relacionados ao descarte de resíduos, como também produz produtos com valor agregado.

O biochar, derivado de produtos agrícolas como Macaúba, ricos em carbono por meio da pirólise, destaca-se como um dos adsorventes mais eficazes para a remoção de poluentes.

Reconhecido pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) como uma tecnologia de adsorção líder, o biochar tem sido o foco de extensa pesquisa.

Uma grande variedade de materiais de biomassa tem sido usada na remoção de poluentes, especificamente, resíduos agrícolas e vegetais, como espigas de milho, cascas de frutas cítricas, cascas de Café, serragem, farelo de trigo, cascas de trigo, bagaço de cana-de-açúcar, cascas de coco, caules de banana, cascas de avelã, cascas de nozes, cascas de sementes, cascas de soja, talos de girassol, células de bambu e casca de árvore são bioadsorventes promissores. Resíduos agrícolas são considerados um dos materiais mais viáveis para a criação de biochar devido à sua alta disponibilidade, facilidade de processamento e valorização geral de um material residual em um produto valioso.

Desde 2022, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) defende que as tecnologias de remoção de dióxido de carbono (CDR) são um complemento necessário às reduções de emissões para atingir um futuro líquido zero.

O biochar é uma das tecnologias de CDR reconhecidas pelo IPCC e também é uma das soluções mais acessíveis e prontas para o mercado. A tecnologia de remoção de carbono do biochar foi responsável por 94% dos créditos de remoção de carbono entregues em 2023.



Nosso Livro avalia que os sistemas de produção de biochar podem gerar energia e, quando apropriado, devem recuperar e usar o calor do processamento, bem como utilizar subprodutos de gás de síntese (pirolenhoso e vinagre de madeira) Os sistemas de biochar proporcionam um uso na agricultura e pecuária, reduzindo a prática de queima de plantações, oferecem desenvolvimento econômico com recursos que, de outra forma, seriam desperdiçados e ajudam a melhorar a produtividade agrícola por meio da melhoria da saúde do solo e da retenção de água.

Uma questão a ser abordada no Livro é a quantidade de matéria-prima Macaúba que encontra-se disponível para a produção de biochar com acesso imediato no Brasil

Assim sendo, o Livro pretende em abordar uma questão fundamental de disponibilidade de biomassa Macaúba para a produção de biochar em todo o território nacional.

As quantidades reais de produção e de disponibilidade dependerá da demanda do mercado e dos avanços técnicos e da política de produção de biochar e da geração e dos créditos de carbono.

A partir do entendimento de que é necessário reduzir ou eliminar os impactos ambientais negativos dos processos e produtos de diversos setores, aliando isso à melhoria social e econômica, a biomassa passou a ser considerada uma fonte potencial de matéria-prima para a produção de Biochar.



Este Livro é o esforço dos profissionais da Brasil Biomassa. Trabalhamos com informações científicas confiáveis e este Livro é o primeiro documento para ajudar as empresas e os profissionais para a produção de biochar.

Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável

Escopo do Livro Biochar Biomassa do Macaúba

A demanda global de energia, medida pelo consumo final total, está aumentando a uma taxa acelerada, impulsionada pelos avanços na eficiência energética. O consumo de combustíveis fósseis deve cair de 65% em 2026 para 20–50% em 2050.

O escopo fundamental do desenvolvimento do Livro Biochar Biomassa Macaúba é de ajudar as empresas do setor agroindustrial em encontrar soluções ambientais para a produção de um biocombustível energético para sequestro de carbono e para agricultura regenerativa.

O livro retrata o aproveitamento da biomassa como fonte de produção de biochar. A biomassa feita com resíduo agroindustrial é uma ótima alternativa de destino para o resíduo e evita problemas econômicos e ambientais.

A gestão eficaz de resíduos agroindustriais desempenha um papel fundamental na mitigação de várias formas de poluição. Reconhecendo a importância de abordar esta questão, desenvolvemos o primeiro Livro de aproveitamento da biomassa do Macaúba para a produção de biochar. A conversão de resíduos em biochar como um meio eficiente de aproveitar a energia após a desvolatilização da biomassa.

Há interesse científico e comercial na transformação de biomassa Macaúba em produtos de valor agregado, incluindo biochar, biogás e biocombustível.

Este Livro investiga vários processos de pirólise aplicáveis para converter em materiais de carvão ativado (biochar), mostrando seu potencial para diversas aplicações em linha com os interesses atuais.

Esses métodos inovadores oferecem uma oportunidade atraente para aproveitar maior potencial energético de sobras agrícolas, abrindo caminho para a utilização sustentável e eficiente de recursos. Por meio do processo termoquímico de pirólise, a biomassa sofre decomposição térmica em temperaturas superiores a 300 °C em um ambiente livre de oxigênio.

Esse processo leva à produção de biochar, um material sólido caracterizado por sua composição rica em carbono.

Além disso, os componentes voláteis podem condensar parcialmente em uma forma líquida conhecida como bio-óleo. Junto com essas saídas, gases de combustão contendo CH₄ , H₂ , CO e CO₂ também são gerados.

A versatilidade abre inúmeras possibilidades para sua aplicação em vários setores, fornecendo alternativas sustentáveis e ecologicamente corretas em várias indústrias.

Coletivamente, como uma agricultura regenerativa e como uma fonte renovável de energia, Macaúba representa uma cultura maravilhosa para a produção de Biochar.

Tem necessidades mínimas de nutrientes, é relativamente rápido de se estabelecer.

É de consciência que grande parte da biomassa gerada pelo de produção de Macaúba é descartada, sem o devido aproveitamento da energia contida na mesma. Portanto, a caracterização energética é um passo importante no aproveitamento desta biomassa.

Os resíduos dMacaúba, podem ser utilizados também como fonte de produção de biochar. Contudo, a caracterização para a utilização do processo termoquímico é fundamental quando se lida com resíduos a fim de compreender o comportamento da conversão e eficiência ao utilizar os resíduos como combustível. Dessa forma, levando em consideração o reaproveitamento do resíduo o que contribui tanto à indústria quanto ao meio ambiente, o desenvolvimento deste Livro alavancará a análise do potencial de aproveitamento do Macaúba como fonte de matéria-prima para a produção de biochar.

O biochar da biomassa Macaúba apresenta uma ampla gama de aplicações, servindo como um adsorvente, resina de troca iônica, briquetes, cerâmica, concreto, catalisador e até mesmo auxiliando na captura de CO₂, bem como na produção de biocombustível. Essa versatilidade posiciona o biochar como um recurso promissor para atender às necessidades globais de energia, ao mesmo tempo em que promove a sustentabilidade ambiental e econômica.

Este Livro se aprofunda em várias técnicas de pirólise para a produção de biochar, explorando sua utilidade na correção do solo, purificação de água e ar e catálise.

Características físicas e de superfície, incluindo área de superfície e grupos funcionais, influenciam significativamente sua adequação para diversas aplicações, levando ao uso de técnicas de ativação para aprimoramento.

A eficácia do biochar na remoção de poluentes de soluções aquosas supera métodos alternativos, tornando-o uma solução escalável para tratamento de águas residuais. Embora as histórias de sucesso sejam abundantes, a adoção generalizada aguarda análises de ciclo de vida e avaliações de custo aprimoradas, fortalecendo o caso do biochar como um material sustentável para o desenvolvimento de novos produtos

Para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade na produção, diversos manejos são utilizados no solo. Porém o uso excessivo destes pode gerar vários problemas, como a salinização e, posteriormente, desertificação.

Entretanto, várias práticas alternativas de manejo de solo estão sendo utilizadas em busca de otimizar a produção em quantidade e qualidade, sem o uso de fertilizantes, tais como compostagem, adubação verde, fertilizantes naturais e a adição de biochar (biomassa carbonizada através da pirólise). Por ser advindo de uma energia limpa, o biochar, que é um material rico em carbono estável, se apresenta como uma alternativa viável para o melhoramento de características químicas, físicas e biológicas dos solos, como capacidade de retenção de água, biorremediação de água e solos contaminados por metais, além de mitigar a emissão de gases de efeito estufa em longo prazo.

Sabe-se que a possível quantidade de teor de carbono no biochar derivado de uma determinada planta depende diretamente de sua atividade metabólica (fotossíntese), por meio da qual ingere CO_2 e libera oxigênio (> 30%) de volta para a atmosfera, reduzindo assim o aquecimento global.

Esses benefícios são influenciados pelos procedimentos de ativação e carbonização usados para fazer biochar. A biomassa Macaúba é torrada a uma temperatura constante para criar biochar ativado quando o biochar é exposto ao oxigênio usando o método de pirólise. Recentemente, os processos pirolíticos para produção de carvão vegetal ganharam atenção significativa.

Além de seu uso típico como combustível, novas aplicações surgiram no setor agrícola, onde atualmente é empregado para melhorar as propriedades físicas e químicas dos solos.

Esse processo rompe moléculas da biomassa e reorganiza as ligações químicas para formar o biochar, como também outros compostos concentrados em carbono, por exemplo os bio-óleos, extrato pirolenhoso e vinagre da madeira e gases de síntese que podem ser reaproveitados para fins energéticos. O biochar se diferencia do carvão vegetal principalmente devido à sua aplicação como corretivo de solos agrícolas capaz de aumentar a produtividade e reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

Os objetivos específicos desta livro são: 1) entender o impacto dos tipos de pirólise na qualidade do produto (Macaúba) em termos de propriedades físicas, composição química e comportamento de armazenamento da biomassa;

2) discutir os vários reatores usados para a produção de biochar; e 3) desenvolver um modelo para projetar uma planta industrial de Biochar

O Livro identifica os principais desafios e áreas para pesquisas futuras de aproveitamento da biomassa Macaúba, como aumentar a participação em mercado de produção industrial e de superar obstáculos para um produção de Biochar de alta qualidade

Ele também enfatiza a diversidade de tecnologias de produção de Biochar e modelos de negócios dentro da indústria, defendendo uma abordagem mais inclusiva que acomode várias escalas de operação e apoie a produção de Biochar.

O Biochar é um sistema inovador de geração de energia limpa e este livro confirma a interconexão da demanda de mercado nacional e internacional benefícios e usos físicos do Biochar.

Ao mesmo tempo, o livro envia uma mensagem clara de que aproveitamento da biomassa Macaúba para desenvolver mercados industriais de alto volume e alto valor para Biochar que é um desafio essencial aos empresários brasileiros.

Metodologia do Livro Biochar Biomassa do Macaúba

Trabalhamos com uma metodologia de avaliação técnica da valoração dos tipos de resíduos da biomassa do cultivo Macaúba como uma forma de utilização da biomassa para a produção Biochar. Este Livro examina os elementos industriais para a produção de Biochar. Explora então os mercados atuais para obter informações sobre o potencial de expansão de mercado de produção de biochar.

O biochar é composto principalmente de carbono, normalmente variando de 65 a 90%, juntamente com oxigênio e produtos químicos aromáticos que contribuem para sua resistência contra a degradação biológica. Comparado ao Macaúba, o biochar exibe níveis mais baixos de hidrogênio (0,5–4,2% em peso), pois as ligações mais fracas entre seus elementos são quebradas durante a pirólise, enquanto a biomassa normalmente contém 5–7% em peso de hidrogênio. Da mesma forma, o teor de oxigênio segue uma tendência semelhante, com o biochar variando de 10 a 45% em peso, em comparação com 27–56% em peso para a fibra do Macaúba.

A preparação de biochar à base Macaúba usando processos termoquímicos atraiu interesse significativo entre empreendedores, usineiros e investidores devido às suas aplicações ambientais versáteis. A escolha da temperatura de pirólise e do tipo de biomassa pode determinar a eficácia do biochar na remoção de toxinas e poluentes do solo e da água.

O biochar produzido em temperaturas de pirólise mais altas, relatado como tendo rico conteúdo de carbono, exibe propriedades aprimoradas, como porosidade, área de superfície e pH com conteúdo reduzido de carbono dissolvido.

As aplicações atuais do biochar concentram-se principalmente na sua eficácia na remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos do solo e dos sistemas de água. Quando aplicado ao solo, o biochar atua como um agente de ligação para contaminantes orgânicos pré-existentes. Exemplos de contaminantes orgânicos incluem corantes catiônicos como azul de metileno, rodamina e violeta de metileno, bem como produtos químicos industriais como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), que abrangem fenantreno, catecol, pireno, naftaleno e antraceno.

O biochar, além de ser uma opção de remoção de carbono reconhecida cientificamente, também é uma solução baseada na natureza (NBS – nature based solution) que pode proporcionar diversos benefícios ambientais, além do sequestro de carbono.

Quando aplicado na agricultura, o biochar age como uma esponja de carbono que retém água e nutrientes, atuando como um condicionador de solo capaz de gerar ganhos de produtividade e redução no uso de fertilizantes.

Para o clima, além do biochar remover permanentemente carbono da atmosfera, ele pode gerar também redução das emissões de outros GEE do solo, principalmente o óxido nitroso [N₂O] e metano [CH₄] dos fertilizantes e da decomposição da matéria orgânica do solo.

Uma vez que as emissões do setor agroindustrial são de difícil abatimento e representam mais de 30% das emissões globais, o biocarvão se mostra como uma alternativa promissora para mitigação das mudanças climáticas .

A carbonização ou pirólise lenta pode ser uma alternativa promissora à queima. Tem muitas aplicações, como melhorador de solo, tratamento de águas residuais, sequestro de carbono, compostagem, supercapacitor, célula de combustível e material biocomposto.

É motivado a investigar a adequação biomassa Macaúba como um material potencial para a produção de biochar e sua aplicação. A forma avançada de análise, como termogravimétrica, microscopia eletrônica de varredura, área de superfície, espectroscopia infravermelha de transformada de Fourier, espectroscopia de ressonância magnética nuclear e espectroscopia Raman, é elaborada para conhecimento profundo das características.

A hipótese é que se a biomassa do Macaúba disponível for usada para a produção de biochar, ela reduzirá a emissão de dióxido de carbono (CO_2). Em nível global, espera-se que a conversão disponível em biochar reduza a emissão de CO_2 em 0,13 Gt por ano.

A redução na emissão de CO_2 também favorece a economia. Se 1 tonelada de biomassa por ano for convertida em biochar, 0,82 toneladas de CO_2 podem ser reduzidas por ano e, considerando o custo de emissão de R\$ 1800 por tonelada, a economia de custos seria de R\$ 1476 por ano..



Desenvolvemos dois testes industriais utilizando o aproveitamento da biomassa residual na produção de biochar, bio-óleo, extrato pirolenhoso, vinagre de madeira e de gás sintético onde comprovamos a plena viabilidade de produção do biochar ativado.

Os resultados indicam que aproximadamente 1 kg de biomassa residual da biomassa é necessário para produzir 0,42 kg de biochar.

O projeto industrial desenvolvido pela Brasil Biomassa foi utilizando o sistema industrial de pirólise conduzida em um ambiente livre de oxigênio produzindo aproximadamente 30% mais carvão em comparação com a pirólise rápida (12%) ou gaseificação (10%).

Os resultados obtidos são consistentes e o sistema de pirólise lenta é o mais adequado para a produção de biochar.

Os dois projetos desenvolvido utilizaram a biomassa residual e veio em demonstrar a viabilidade de produzir biochar de alta qualidade, com propriedades favoráveis e empregando um reator simples de câmara dupla.

Os resultados indicam que nos testes industriais com a biomassa fornecem parâmetros adequados para utilização de energia e produção de biochar ativado para uso como adubo no solo.



Os resultados do biochar produzido via pirólise lenta em temperaturas entre 300 e 400 °C demonstram melhorias em relação aos valores obtidos da biomassa original. Os rendimentos do biochar variaram entre 30% e 40%, com alto teor de carbono fixo, apresentando o maior valor em $79 \pm [2,51]\%$.

Portanto, a biomassa Macaúba e o uso da tecnologia de pirólise lenta, facilitaram a produção de biochar de alta qualidade.

Este processo produziu ainda compostos sólidos (materiais carbonáceos e o biochar ativado), componentes gasosos (gases sintéticos), frações líquidas (bio-óleos, extrato pirolenhoso e vinagre de madeira). Há um interesse crescente no uso de biochar derivado de biomassa do Macaúba em diversas disciplinas para enfrentar desafios ambientais significativos.

Assim sendo, utilizamos como metodologia de trabalho uma análise do cenário nacional em relação à produção Macaúba para o aproveitamento na produção de Biochar. Assim trabalhamos com uma moderna metodologia de avaliação de todas as fases industriais de produção de Biochar. Objetivo analítico primário:

Análise intersetorial : avaliação integrativa de cenários das interações entre partes da cadeia de produção e de consumo de Biochar.

Finalidade analítica secundária: Avaliação do mercado brasileiro de produção de Macaúba e o potencial de geração de resíduos.

Avaliação de potenciais recursos de matéria-prima de origem da biomassa Macaúba usando uma abordagem técnica e industrial para a produção de Biochar de alta qualidade.

A metodologia e a terminologia empregadas por essas diferentes fontes são semelhantes acerca do potencial de desenvolvimento do setor industrial de produção de Biochar.

Acreditamos que essas informações e as projeções de consumo provêm de fontes confiáveis, e para tanto fizemos a diligência e pesquisa técnica considerada necessária.

É um cenário de assunção razoável dentro de um panorama de crescimento econômico sustentável e elevado consumo energético por Biochar como constam nos indicadores.

As principais características do Livro são:

Apresentar as inovadoras soluções de aproveitamento dos resíduos Macaúba para a produção de Biochar de qualidade internacional no país.

O Livro fornecerá informações úteis a todas as partes interessadas no setor, empresários e investidores, formuladores de políticas e o público em geral com interesse na produção ecológica e sustentável de Biochar.

As questões-chave que motivam a presente Livro são identificar e analisar o potencial de aproveitamento da biomassa Macaúba para o desenvolvimento de plantas de Biochar, a segurança na produção com um produto de qualidade internacional e a geração de novos negócios para as empresas do setor.

O Livro visa implementar uma estratégia de avaliação estrutural do quantitativo (base na produção) e de disponibilidade de biomassa Macaúba para a produção industrial de Biochar e uma avaliação técnica e segura da melhor tecnologia industrial de produção e dados de mercado.

O Livro identifica os principais desafios e áreas para pesquisas futuras, como aumentar a participação em mercados voluntários de carbono e superar obstáculos para escalar mercados de alta qualidade para biochar físico.

Ele também enfatiza a diversidade de tecnologias de produção e modelos de negócios dentro da indústria, defendendo uma abordagem mais inclusiva que acomode várias escalas de operação e apoie a produção em todo o território nacional.

Este Livro também mostra as muitas escalas em que o biochar é produzido, desde grandes plantas industriais que também produzem energia limpa até fornos menores que estão ajudando os agricultores a utilizar resíduos de colheitas e a mudar da queima de colheitas.

O Livro destaca a adaptabilidade dos sistemas de biochar para abordar vários desafios de mudança climática, abrangendo a remoção de carbono.

O Livro faz uma análise apurada em nível nacional das oportunidades de aproveitamento dos tipos de biomassa para a produção de biochar como um novo fertilizante ecológico.

As questões-chave que motivam a presente Livro são identificar e analisar o potencial de aproveitamento da biomassa do Macaúba para o desenvolvimento de plantas de biochar, visto a necessidade do uso crescente de adubos e fertilizantes na agricultura brasileira.