

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL
BRASIL BIOMASSA CONSULTORIA ENGENHARIA TECNOLOGIA

LIVRO BIOCHAR BIOMASSA CANA-DE-AÇÚCAR

2025

E
D
I
T
O
R
A

B
R
A
S
I
L

B
I
O
M
A
S
S
A



BAGAÇO E PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR
SEQUESTRO CARBONO FERTILIZANTE
ORGÂNICO AGRICULTURA REGENERATIVA

SUMÁRIO EXECUTIVO

LIVRO BIOCHAR

BIOMASSA CANA-DE-AÇÚCAR

INTRODUÇÃO.....21

Declarações Prospectivas

Apresentação do Livro Biochar da Biomassa da Cana-de-açúcar

Escopo do Livro Biochar Biomassa da Cana-de-açúcar

Metodologia do Livro Biochar da Cana-de-açúcar

DIRETRIZES FUNDAMENTAIS.....51

Diretrizes Gerais de Produção de Biochar Biomassa Cana-de-açúcar

a. Diretrizes Gerais

b. Pirólise da Biomassa da Cana-de-açúcar

c. Tipos de pirólise para produção Biochar da cana-de-açúcar

d. Composição do biochar da palha e do bagaço de cana-de-açúcar

e. Utilização de biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar para diferentes aplicações

f. Remediação de poluentes

- g. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar na adsorção de CO₂
- h. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar como aditivo em compósitos
- i. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar como catalisador
- j. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar na construção civil
- k. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar em corretivos de solo
- l. Utilização de técnica analítica na caracterização de biochar de bagaço de cana-de-açúcar

CAPÍTULO I SETOR SUCROENERGÉTICO BRASILEIRO.....	69
Seção 1 Setor Sucroenergético.....	69
1.1. Panorama do setor Canavieiro Brasileiro	
1.1.1. Regiões produtoras da cana-de-açúcar	
1.1.2. Produtividade das lavouras de cana-de-açúcar	
1.1.3. Colheita e Processamento da cana-de-açúcar	
1.1.4. Importância da qualidade da cana para a eficiência industrial	
Seção 2 Biomassa da Cana-de-açúcar.....	91
1.2. Biomassa Lignocelulósica da Cana-de-açúcar	
1.2.1. Palhiço da cana-de-açúcar	
1.2.2. Bagaço da cana-de-açúcar	
1.2.3. Gestão ambiental dos resíduos da cana-de-açúcar	

1.2.4. Emissões atividade da cana-de-açúcar

1.2.5 Conversão biomassa da cana-de-açúcar em combustível energético

1.5. Viabilidade na utilização dos resíduos da cana-de-açúcar

1.2.6. Importância dos tratamentos dos resíduos da cana-de-açúcar

1.2.7. Caracterização dos recursos dendroenergéticos da biomassa da cana-de-açúcar

CAPÍTULO II DADOS CULTIVO E PRODUÇÃO CANA-DE-AÇÚCAR.....130

SEÇÃO 1 Dados Setor Cultivo da Cana-de-açúcar.....130

2.1. Mercado Empresas de Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.1. Empresas no Brasil que atuam no cultivo da cana-de-açúcar

2.1.2. Macrolocalização e Mercado do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3. Diagnóstico do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar - Mercado Empresarial

2.1.3.1. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.2. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar por Estados

2.1.3.3. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar Maiores Municípios

2.1.3.4. Dados Societários das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.5. Porte Empresarial das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.6. Regime tributário das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.7. Tempo de Abertura das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.8. Capital Social das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.9. Dados de Faturamento das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.10. Dados de Trabalho das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

SEÇÃO 2 Dados Setor Processamento da Cana-de-açúcar.....144

2.2. Mercado Empresas de Processamento da Cana-de-açúcar

2.2.1. Empresas no Brasil que atuam no Processamento da cana-de-açúcar

2.2.2. Macrolocalização e Mercado do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar

2.2.3. Diagnóstico do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar - Mercado Empresarial

2.2.3.1. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar

- 2.2.3.2. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar por Estados
- 2.2.3.3. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar Maiores Municípios
- 2.2.3.4. Dados Societários das Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar
- 2.2.3.5. Porte Empresarial das Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar
- 2.2.3.6. Regime tributário das Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar
- 2.2.3.7. Tempo de Abertura das Empresas do Setor Processamento da Cana-de-açúcar
- 2.2.3.8. Capital Social das Empresas do Setor Processamento da Cana-de-açúcar
- 2.2.3.9. Dados de Faturamento das Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar
- 2.2.3.10. Dados de Trabalho das Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar

CAPÍTULO III TECNOLOGIA PRODUÇÃO BIOCHAR.....156

SEÇÃO 1 Rotas de Conversão de Biomassa.....156

3.1. Rotas de Conversão da Biomassa

3.1.1 Pré-tratamento da Biomassa

- 3.1.1.1 Pré-tratamento da Biomassa
- 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
 - 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
- 3.1.4 Processos de Conversão da Biomassa
- 3.1.5 Conversão Termoquímica

SEÇÃO 2 Processo de Pirólise182

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.....223

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 Biochar245

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.....269

SEÇÃO 0 Bio-óleo269

4.0. Bio-óleo

4.0.1. Propriedades do bio-óleo

4.0.2. Características do bio-óleo

4.0.3. Teor de água no bio-óleo

4.0.4. Densidade do bio-óleo

4.0.5. Teor de sólidos

4.0.6. Teor de oxigênio

4.0.7. Poder calorífico

4.0.8. Aplicações do bio-óleo

4.0.9. Upgrading do bio-óleo

SEÇÃO 1 Biochar289

4.1. Biochar

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.....	312
4.2. Gases da carbonização	
4.2.1. Gás natural sintético – Syngas	
SEÇÃO 3 Extrato Pirolenhoso	317
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.....345

SEÇÃO 1 Utilização Biochar.....345

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

5.1.2.2. 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.....418

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. Custos 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.....445

- 5.3. Mercado de Carbono
 - 5.3.1. Mercado Regulado
 - 5.3.2. Mercado Voluntário
 - 5.5.3. 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 CO2	
5.3.10. Geração de créditos de carbono	
5.3.11. Teor de carbono total	
5.3.12. Emissão de CO2	
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	486
5.4.1. Certificação da “International Biochar Initiative”	
5.4.2. Certificação da “European Biochar Certificate”	
BRASIL BIOMASSA CONSULTORIA ENGENHARIA TECNOLOGIA.....	500

Livro Biochar Biomassa Palha e Bagaço da Cana-de-açúcar
Catalogação na Fonte Brasil.

Brasil Biomassa e Energia Renovável. Curitiba. Paraná. Edição 2025

Conteúdo: 1. Análise do Potencial e de Disponibilidade Biomassa da Palha e do Bagaço da Cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de Biochar no Brasil 2. Projeções de Produção de Biochar da Cana-dee-açúcar. 3. Biochar para Sequestro de Carbono, Fertilizante Ecológico e para Agricultura Regenerativa 4. Tecnologia Industrial de Pirólise Palha e Bagaço da Cana-de-açúcar 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 do Cana-de-açúcar. 7. Requisitos Ambientais, Certificações e Permissões do biochar. 8. Impacto e Projeções de Uso e Consumo de Biochar do Cana-de-açúcar. 9. Certificações Internacionais do Biochar 10. Biochar da Cana-de-açúcar e 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

© 2024 ABIB Brasil Biomassa e Energia Renovável Edição 2025 Total 480 páginas.

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



DECLARAÇÕES PROSPECTIVAS

Este Livro Biochar Biomassa da Cana-de-açúcar contém certas declarações prospectivas que dizem respeito a eventos futuros ou desempenho futuro do mercado de produção e consumo de Biomassa da cana-de-açúcar. 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 da Cana-de-açúcar em gerar expectativas dentro de uma tendência de mercado de produção da biomassa da cana-de-açúcar 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 estudo. Assim utilizamos as declarações prospectivas de informações como apenas uma advertência no desenvolvimento do Livro Biochar Biomassa da Cana-de-açúcar

DIRETORIA EXECUTIVA



Apresentação do Livro Biochar da Biomassa da Cana-de-açúcar

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 da Cana-de-açúcar que tem por objetivo uma avaliação pormenorizada do setor da cana-de-açúcar na produção de um produto sustentável (Biochar) para o setor no Brasil.

A cana-de-açúcar, uma importante cultura comercial no Brasil, desempenha um papel crucial no fornecimento não apenas de açúcar, mas também de etanol. Os subprodutos da cana-de-açúcar encontram utilidade como ração animal em vários países. O cultivo da cana-de-açúcar se expandiu para regiões com climas quentes em todo o mundo. O maior contribuinte para a produção global de cana-de-açúcar é o continente americano, incluindo países como Brasil, México, EUA e outros, respondendo por cerca de 51% da produção total, seguido de perto pela Ásia (41,6%), África (5%) e Oceania (1,7%).

O Brasil é o maior produtor mundial na produção de cana-de-açúcar, com uma produção impressionante de produção de cana-de-açúcar na safra 2024/2025 de 689,8 milhões de toneladas, principalmente atribuída às condições climáticas favoráveis e ao aumento da produtividade das safras.

Este aumento significativo na produção destaca ainda mais o papel notável do Brasil na indústria global de açúcar.

O desafio do setor sucroenergético de aproveitamento do excedente de bagaço e da palha da cana-de-açúcar e o biochar pode ser uma solução ao setor. A cana-de-açúcar é considerada uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis devido ao grande potencial na produção de etanol e seus respectivos subprodutos.

A agroindústria sucroalcooleira nacional, diferentemente do que ocorre nos demais países, opera numa conjuntura positiva e sustentável. Pelo conceito de bagaço entende-se apenas o caule macerado, não incluindo a palhada e os ponteiros, que representam 55% da energia acumulada no canavial. Este potencial fabuloso é pouco aproveitado, sendo, na maioria dos casos, queimado no campo.

Nas últimas décadas, houve um aumento notável na produção de cana-de-açúcar, impulsionado pela crescente demanda por açúcar, etanol derivados dessa cultura versátil. Conseqüentemente, a indústria açucareira gera uma quantidade significativa de resíduos agrícolas.

Existem recursos potenciais inexplorados associados à colheita e ao processamento da cana-de-açúcar, a biomassa sem uso comercial e energético (folhas, pontas e palhiço) deixado no campo e o bagaço da cana-de-açúcar como excedente das usinas, principalmente naquelas que não utilizam para cogeração.



A queima de lixo (biomassa sem uso) da cana-de-açúcar no campo tem sido alvo de escrutínio nos últimos anos devido à invasão urbana e preocupações com a qualidade do ar, e o excesso de lixo (folhas, pontas e palhiço) deixado no campo também pode reduzir a produtividade da cultura da soca devido às temperaturas mais baixas do solo e à maior umidade do solo.

As usinas de cana-de-açúcar também detêm um excesso (não uso em cogeração) de bagaço. Sem a utilização adequada, o bagaço é comumente descartado como resíduo sólido ou utilizado como fonte de combustível para o processo de moagem. Para cada tonelada de cana-de-açúcar, aproximadamente 280 kg de bagaço úmido são produzidos, destacando a quantidade substancial desse resíduo.



A biomassa do bagaço da cana-de-açúcar tem o potencial de ser transformada em energia, materiais e produtos químicos finos.

As pontas e folhas da cana-de-açúcar que costumam ser deixadas no campo podem representar até 30% da biomassa total (FAO, 2006), considerando o volume total de biomassa produzida por unidade de área plantada.

A quantidade de resíduos decorrente da colheita da cana-de-açúcar depende de variados fatores, entre os quais: o sistema com ou sem queima da cana na pré-colheita, a altura dos ponteiros, a variedade plantada, a idade da cultura e seu estágio de corte, o clima, o solo, o uso ou não de vinhoto na fertirrigação do campo, entre outros, que exercem influência importante nas características, quantidade e qualidade da palha.

O valor médio da produção de matéria seca que estima os resíduos secos potenciais da cana-de-açúcar, denominados palha, é de 140 kg por tonelada de cana colhida, com 50% de umidade, considerando as diversas variedades de cana-de-açúcar plantadas.



A produtividade média de cana-de-açúcar no Brasil é de 85 toneladas por hectare, sendo que para cada tonelada de cana processada são gerados cerca de 140 kg de palha e 140 kg de bagaço em base seca, ou seja, 12 toneladas de palha e 12 toneladas de bagaço. A palha de cana-de-açúcar representa 15% do peso dos colmos da cana madura, ou 12% quando seca.

A Brasil Biomassa desenvolveu uma série de projetos e plantas industriais para o aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar.

Temos um quantitativo de disponibilidade de resíduos de 327.855.000 ton./ano da palha e bagaço um poder calorífico 13,4 MJ/kg que podem ser utilizados na produção do biochar.

Essas duas matérias-primas orgânicas (palhiço e bagaço) podem ser convertidas termoquimicamente em biochars que podem ser utilizados como um corretivo do solo para melhorar a saúde do solo, captura e armazenamento de carbono, a capacidade de retenção de água e melhorar a produtividade da cana-de-açúcar.



Os benefícios são esperados tanto para os produtores de cana-de-açúcar quanto para os usineiros por meio da produção de subprodutos valiosos da pirólise de resíduos de bagaço e do palhiço da cana-de-açúcar, bem como o aprimoramento do papel da indústria da cana-de-açúcar nos mercados de energia renovável.

Uma extensa pesquisa desenvolvida neste livro revelou uma via promissora para melhorar a recuperação de energia por meio da conversão de resíduos da cana-de-açúcar 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 de sobras da cana-de-açúcar, abrindo caminho para a utilização sustentável e eficiente de recursos.



Por meio do processo termoquímico de pirólise, a biomassa da cana-de-açúcar 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 CH₄, H₂, CO e CO₂ também são gerados.

Os biochars da biomassa da cana-de-açúcar 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 versatilidade do bagaço de cana-de-açúcar abre inúmeras possibilidades para sua aplicação em vários setores, fornecendo alternativas sustentáveis e ecologicamente corretas em várias indústrias.

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.

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 e limitar o aquecimento global a 2°C ou menos. 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 e bio-óleo (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 Biomassa Cana-de-açúcar é a quantidade de matéria-prima que encontra-se disponível para a produção de biochar com acesso imediato no Brasil



Assim sendo, o estudo pretende em abordar uma questão fundamental de disponibilidade de biomassa 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 da cana-de-açúcar 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 da Cana-de-açúcar

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 da Cana-de-açúcar é de ajudar as empresas do setor sucroenergético em encontrar soluções ambientais com a palha e o bagaço da cana-de-açúcar para a produção de um biocombustível energético para sequestro de carbono e para agricultura regenerativa.

O livro retrata o aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar 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 palha e do bagaço da cana-de-açúcar para a produção de biochar. A conversão de resíduos da cana-de-açúcar em biochar como um meio eficiente de aproveitar a energia após a desvolatilização da biomassa.

Há interesse científico e comercial na transformação de biomassa da cana-de-açúcar em produtos de valor agregado, incluindo biochar, biogás e biocombustível. Este Livro investiga vários processos de pirólise aplicáveis para converter a palha e o bagaço de cana-de-açúcar em materiais de carvão ativado (biochar), mostrando seu potencial para diversas aplicações em linha com os interesses atuais.

Esses resíduos assumem principalmente a forma de palha que ficam no campo e do bagaço, que permanece após a cana-de-açúcar passar por processamento em fábricas para extrair sacarose ou álcool. Sem a utilização adequada, o bagaço é comumente descartado como resíduo sólido ou utilizado como fonte de combustível para o processo de moagem.

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 da cana-de-açúcar 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 do bagaço de cana-de-açúcar 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, a Cana-de-açúcar representa uma cultura maravilhosa para a produção de Biochar. Tem necessidades mínimas de nutrientes, é relativamente rápido de se estabelecer.. Devido a essas características e principalmente graças ao seu rápido crescimento em relação às plantas lenhosas, a Cana-de-açúcar é uma fonte ótima para produzir biochar de forma mais eficiente e ecologicamente correta do que a madeira. Os rejeitos agrícolas da Cana-de-açúcar como podem ser utilizados para a produção de biochar.

É de consciência que grande parte da biomassa gerada pelo setor da Cana-de-açúcar como a palha é descartada no campo, sem o devido aproveitamento da energia contida na mesma. Portanto, a caracterização energética é um passo importante no aproveitamento desta biomassa.

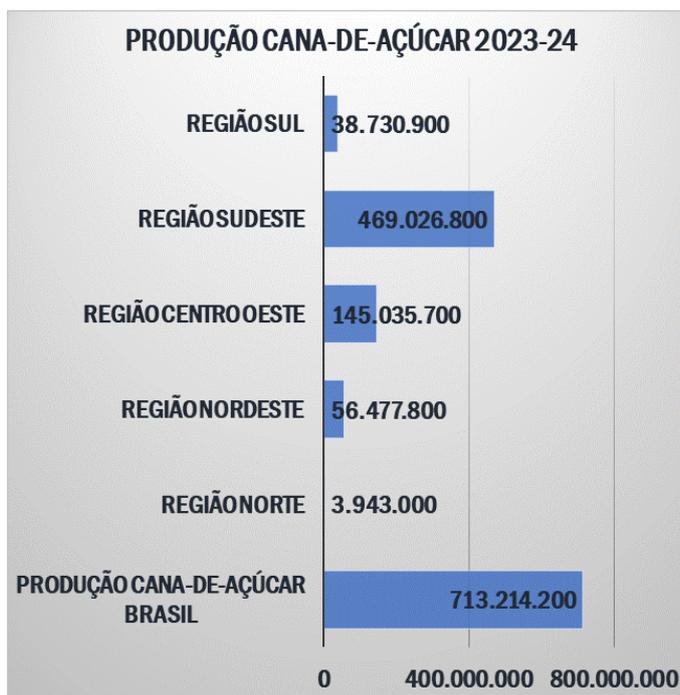
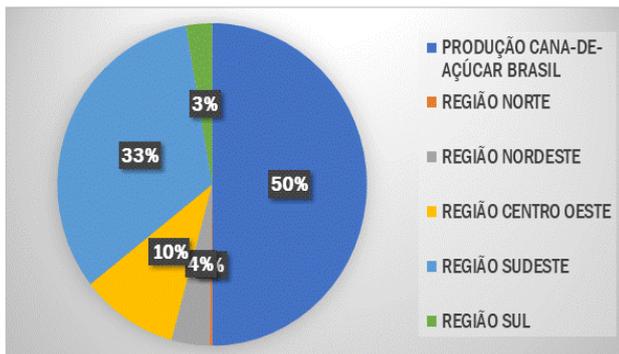
O processamento industrial com a finalidade de utilizar a Cana-de-açúcar, gera resíduo composto por palha e bagaço.

Conforme o Atlas de Biomassa da Cana-de-açúcar desenvolvido pela Associação Brasileira de Indústrias da Biomassa – ABIB e a Brasil Biomassa no ano de 2024 sobre a produção e dos quantitativos de resíduos da cana-de-açúcar:

ABIB BRASIL BIOMASSA ATLAS BRASIL

DADOS PRODUÇÃO CANA-DE-AÇÚCAR BRASIL

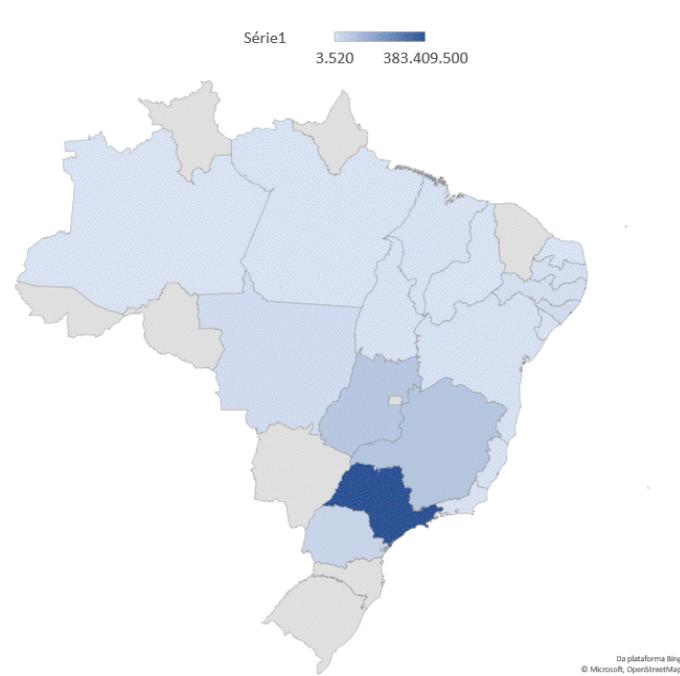
PRODUÇÃO CANA-DE-AÇÚCAR BRASIL	713.214.200
REGIÃO NORTE	3.943.000
REGIÃO NORDESTE	56.477.800
REGIÃO CENTRO OESTE	145.035.700
REGIÃO SUDESTE	469.026.800
REGIÃO SUL	38.730.900



ABIB BRASIL BIOMASSA ATLAS BRASIL

DADOS PRODUÇÃO CANA-DE-AÇÚCAR BRASIL

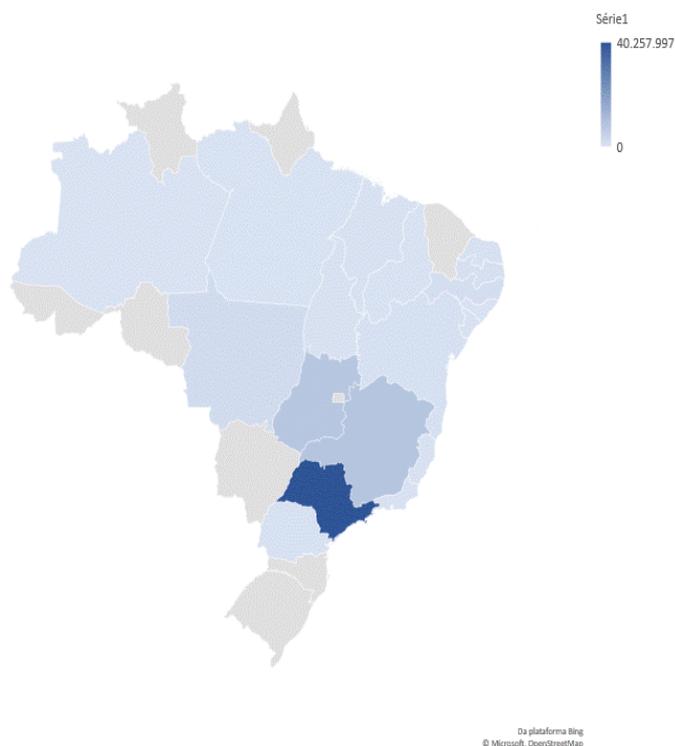
ESTADO	PRODUÇÃO SAFRA 2023/24 (TON/ANO)
AMAZONAS	304.000
PARA	1.276.000
TOCANTINS	2.363.000
MARANHÃO	2.078.200
PIAUI	1.302.000
RIO GRANDE NORTE	3.519.600
PARAIBA	7.605.700
PERNAMBUCO	13.810.200
ALAGOAS	19.675.800
SERGIPE	2.535.900
BAHIA	5.950.500
MATO GROSSO	17.663.300
MATO GROSSO SUL	50.771.700
GOIÁS	76.600.600
MINAS GERAIS	81.376.500
ESPIRITO SANTO	2.815.600
RIO DE JANEIRO	1.425.300
SÃO PAULO	383.409.500
PARANÁ	38.730.900



ABIB BRASIL BIOMASSA ATLAS BRASIL

ESTADO	QUANTITATIVO DISPONIBILIDADE BAGAÇO CANA-DE-AÇÚCAR (TON./ANO)
AMAZONAS	31.920
PARA	133.980
TOCANTINS	250.215
MARANHÃO	218.211
PIAUI	136.710
RIO GRANDE NORTE	369.558
PARAIBA	819.598
PERNAMBUCO	1.450.071
ALAGOAS	1.960.959
SERGIPE	266.269
BAHIA	624.802
MATO GROSSO	1.848.346
MATO GROSSO SUL	5.331.028
GOIÁS	8.043.063
MINAS GERAIS	8.544.532
ESPIRITO SANTO	295.638
RIO DE JANEIRO	149.656
SÃO PAULO	40.257.997
PARANÁ	406.674

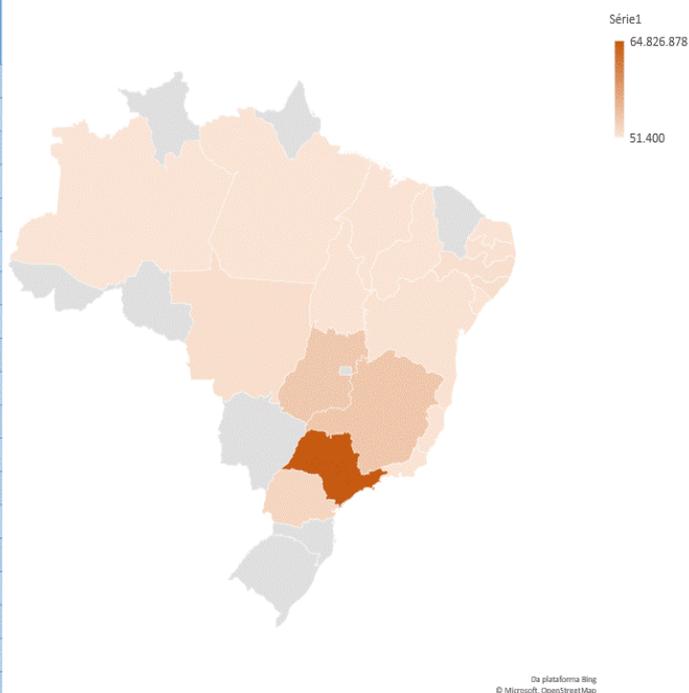
POTENCIAL BIOMASSA BAGAÇO CANA BRASIL



ABIB BRASIL BIOMASSA ATLAS BRASIL

ESTADO	QUANTITATIVO DISPONIBILIDADE PALHA CANA-DE-AÇÚCAR (TON./ANO)
AMAZONAS	51.400
PARA	215.746
TOCANTINS	399.536
MARANHÃO	351.382
PIAUI	220.142
RIO GRANDE NORTE	595.093
PARAIBA	1.285.971
PERNAMBUCO	2.335.028
ALAGOAS	3.326.784
SERGIPE	428.769
BAHIA	1.006.110
MATO GROSSO	2.986.510
MATO GROSSO SUL	8.584.479
GOIÁS	12.951.629
MINAS GERAIS	13.759.138
ESPIRITO SANTO	476.061
RIO DE JANEIRO	240.989
SÃO PAULO	64.826.878
PARANÁ	6.548.620

POTENCIAL BIOMASSA PALHA CANA BRASIL



Os resíduos como a palha da atividade de produção da Cana-de-açúcar, 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 da cana-de-açúcar o que contribui tanto à indústria quanto ao meio ambiente, o desenvolvimento deste Livro alavancará a análise do potencial de aproveitamento do bagaço e da palha do Cana-de-açúcar como fonte de matéria-prima para a produção de biochar.

O biochar de bagaço de cana-de-açúcar 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 da palha e do bagaço de cana-de-açúcar 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 CO₂ e libera oxigênio (> 30%) de volta para a atmosfera, reduzindo assim o aquecimento global.

Nesse sentido, devido à sua taxa de crescimento inigualável, a Cana-de-açúcar produz mais biomassa e captura mais carbono atmosférico por hectare do que qualquer outra cultura, removendo assim mais carbono do céu e adicionando-o ao solo.

Esses benefícios são influenciados pelos procedimentos de ativação e carbonização usados para fazer biochar. A biomassa da Cana-de-açúcar 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 (cana-de-açúcar) 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 da cana-de-açúcar, como aumentar a participação em mercado de produção industrial e de superar obstáculos como o problema do cloro na palha da cana-de-açúcar (apresentamos duas soluções) 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 benéficos e usos físicos do Biochar.

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