

Potencial energético das biomassas de canjiqueira e de cambará



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pantanal
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
146**

**Potencial energético das biomassas de canjiqueira
e de cambará**

*Fábio Galvani
Layssa Aline Okamura
Suzana Maria Salis*

***Embrapa Pantanal
Corumbá, MS
2021***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pantanal
Rua 21 de Setembro, 1880
Bairro Nossa Senhora de Fátima,
79320-900, Corumbá, MS
Fone: (67) 3234-5800
Fax: (67) 3234-5815
www.embrapa.br/pantanal
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Embrapa Pantanal

Presidente
Suzana Maria Salis

Membros
Ana Helena B. Marozzi Fernandes, Fernando Rodrigues Teixeira Dias, Juliana Correa Borges Silva, Márcia Furlan Nogueira Tavares de Lima, Viviane de Oliveira Solano

Supervisão editorial
Suzana Maria Salis

Revisão de texto
Suzana Maria Salis

Normalização bibliográfica
Viviane de Oliveira Solano

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Cecília Torrico Vargas

Fotos da capa:
Weber Tortul da Silveira (amostras nos recipientes) e Suzana Maria Salis (à esquerda, arbusto de canjiqueira e, à direita, árvore jovem de cambará)

1ª edição
Publicação digital (2021)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Pantanal

Galvani, Fábio
Potencial energético das biomassas de canjiqueira e de cambará/ Fábio Galvani, Layssa Aline Okamura e Suzana Maria Salis. – Corumbá : Embrapa Pantanal, 2021.

PDF (25 p.) : il. color. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Pantanal, ISSN 1981-7215; 146).

1. Bioenergia. 2. Biomassa. 3. Recurso Energético. I. Título. II. Okamura, Layssa Aline. III. Salis, Suzana Maria. IV. Série. V. Embrapa Pantanal.

CDD(21.ed.) 660.63

Viviane de Oliveira Solano CRB 1-2210

© Embrapa, 2021

Sumário

Introdução.....	7
Material e Métodos	8
Local de coleta e amostras coletadas	8
Preparação das amostras	8
Caracterizações químicas e físicas	9
Resultados e discussão.....	15
Conclusões	23
Agradecimentos.....	23
Referências.....	24

Potencial energético das biomassas de canjiqueira e de cambará

Fábio Galvani¹

Layssa Aline Okamura²

Suzana Maria Salis³

Resumo – A utilização de fontes renováveis na matriz energética mundial, especialmente a proveniente da biomassa, é um dos maiores desafios da sociedade atual na busca por alternativas ambientalmente favoráveis e economicamente viáveis. O uso de resíduos de biomassa tem se mostrado ser uma alternativa para a produção de energia renovável, seja por meio da queima direta, ou pela fabricação de bioproduto. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é caracterizar química e fisicamente os resíduos de duas espécies lenhosas nativas, canjiqueira (*Byrsonima cydoniifolia*) e cambará (*Vochysia divergens*), provenientes do manejo de limpeza do campo no Pantanal para avaliar e identificar suas potencialidades de aplicação em novos produtos e/ou geração de energia. As serragens dessas duas espécies foram avaliadas por meio de análises imediata, elementar, de poder calorífico, termogravimetria, calorimetria exploratória diferencial, espectroscopia na região do infravermelho, composicional (extrativos, hidrólise ácida e ligninas solúveis, insolúveis e totais, teor de celulose e hemicelulose) e de potencial de briquetagem. Os resultados apontam um excelente potencial das biomassas dessas duas espécies para a geração de energia, principalmente da canjiqueira devido ao elevado teor de lignina, o que lhe confere um poder calorífico mais elevado. Além disso, a baixa presença de material inorgânico (cinzas) permite que essa espécie possa ser adequadamente utilizada em sistemas de geração térmica, sem comprometer o poder calorífico, a eficiência de combustão e a manutenção de equipamentos. O alto teor de lignina das duas biomassas pode ser benéfico não apenas para geração de energia como também para outras aplicações dentro do conceito de biorrefinarias de lignina, ou ainda como materiais precursores para a produção de carvão ativado. O baixo teor de hemicelulose e celulose das biomassas das duas espécies demonstrou baixo potencial para aplicações mais nobres como obtenção de polpa celulósica e para produção de etanol celulósico.

Palavras-chaves: *Byrsonima cydoniifolia*, energia renovável, resíduos vegetais, *Vochysia divergens*.

¹ Químico, doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, pesquisador da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS

² Química, mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, coordenadora de pesquisa do Senai, Três Lagoas, MS

³ Bióloga, doutora em Biologia Vegetal, pesquisadora da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS

Biomass energy potential of *Byrsonima cydoniifolia* and *Vochysia divergens*

Abstract - The use of renewable energy in the global energy matrix, especially the plant biomass, is the biggest challenge for today society in the search for environmentally and economically viable alternatives. The use of biomass residues can be the alternative for the renewable energy production, may it be by burning or bioproducts manufacturing. The goal in this study is to characterize chemically and physically the biomass residues from two native species (*Byrsonima cydoniifolia* and *Vochysia divergens*) result from field cleaning in Pantanal to analyze and find potential uses to news products or to generate energy. The sawdust of these two species were submitted in immediate analysis, elemental analysis, calorific value, thermal value, infrared analysis, compositional analysis (extractives, acid hydrolysis, total, soluble and insoluble lignin, cellulose and hemicellulose content), and briquetting. The results show excellent potential use for the two biomass residues to generate energy, especially the *Byrsonima cydoniifolia*, since the higher lignin content produces high calorific power. Also, the low presence of inorganic material (ash) enables this species to be used for thermal generation without compromising the calorific value, combustion efficiency, nor equipment maintenance. The higher lignin content of the two biomasses can be ideal for energy generation and others applications in the lignin biorefineries or as precursor materials for the production of activated carbon. The lower hemicellulose and cellulose content of the two biomass species show the lower potential for more noble applications such as obtaining cellulosic pulp and the for cellulosic ethanol production.

Index terms: *Byrsonima cydoniifolia*, renewable energy, plant residues, *Vochysia divergens*.

Introdução

A utilização de fontes renováveis de energia, em particular a proveniente da biomassa, na matriz energética mundial, que sejam ambientalmente favoráveis e economicamente viáveis, é um dos maiores desafios da sociedade atual. No Brasil, esta preocupação torna-se ainda mais evidente, diante da utilização predominante na matriz nacional de fontes não renováveis, nocivas ao meio ambiente, como o petróleo e seus derivados (Lopes et al., 2019).

O uso de biomassa assume relevante importância no Brasil devido à intensa atividade agrícola e às grandes quantidades de resíduos agroindustriais gerados. A solução desse problema é um grande desafio para os pesquisadores e o objetivo dos processos propostos não deve apenas reduzir a quantidade de resíduos, mas também agregar valor a esses materiais (Schneider, 2018).

Segundo Nones et al. (2017), a biomassa vegetal tem ampla abrangência, pois engloba todos os organismos formados por meio do processo de fotossíntese como também os resíduos gerados a partir da utilização dos mesmos, tais como resíduos florestais, agrícolas, matéria orgânica contida nos resíduos industriais, domésticos, comerciais e rurais.

O reaproveitamento energético da biomassa residual de vegetais gerados a partir de várias atividades da agricultura pode ser uma forma de reduzir a pressão sobre os recursos naturais diretamente explorados como fonte de combustíveis renováveis. A utilização de resíduos de biomassa tem se tornado uma alternativa para a produção de energia renovável, seja por meio da queima direta, ou pela fabricação de bioproduto (Silva et al., 2017).

No Pantanal, em áreas de campos limpos, a invasão de espécies lenhosas, como o arbusto canjiqueira (*Byrsonima cydoniifolia*) e a árvore cambará (*Vochysia divergens*), tem diminuído a capacidade produtiva das fazendas, prejudicando o setor pecuário da região (Santos et al., 2006). Os pantaneiros têm desenvolvido empiricamente práticas de manejo, experiências práticas que consistem principalmente de limpeza mecânica (Wantzen et al., 2011; Santos et al., 2006). A utilização da limpeza mecânica como prática de manejo no campo gera um resíduo de biomassa destas espécies invasoras e representa uma demanda (ou oportunidade) quanto ao destino da lenha produzida.

Dentre os diversos estudos que abordam a fabricação de bioprodutos obtidos por meio de resíduos da biomassa vegetal, destaca-se o estudo realizado por Silva et al. (2017) que abordou a viabilidade técnica para produção do bioproduto oriundo de biomassas residuais das culturas agrícolas de soja, milho, cana-de-açúcar, arroz, feijão, mandioca e trigo onde foi verificado que essas culturas proporcionam viabilidade técnica para produção de briquetes. Com uma disponibilidade de biomassa de 36.000 t de resíduos por mês, viabiliza tecnicamente a alimentação por insumos de uma biofábrica na região de Dourados, MS. Também se destaca o estudo realizado por Santos (2016) que investigou a produção de carvão ativado de biomassa proveniente do mesocarpo de babaçu a partir da pirólise e fez-se sua avaliação como adsorvente de efluente têxtil. Foi verificado que o carvão ativado com mesocarpo de babaçu apresentou alto desempenho de adsorção quando comparado a um carvão ativado comercial. Nos trabalhos realizados por Pott e Pott (2003) e Ramos (2006) foram verificados os usos de espécies florestais madeireiras e suas potenciais aplicações. Por exemplo, as características da madeira da canjiqueira têm apresentado bom potencial energético (Marchesan et al., 2006). Porém, estes estudos são baseados em relatos pontuais e há carência de informações mais embasadas para definir novos usos e possíveis potenciais de aplicação tecnológica, como tem sido verificado para outras espécies (Logsdon; Finger, 2007; Goulart et al., 2012).

Neste sentido, este trabalho procurou caracterizar química e fisicamente os resíduos das espécies canjiqueira e cambará proveniente do manejo de limpeza do campo para avaliar e identificar suas potencialidades de aplicação em novos produtos e/ou na geração de energia.

Material e Métodos

Local de coleta e amostras coletadas

As amostras de canjiqueira foram coletadas na Fazenda Experimental Nhumirim e as do cambará na Fazenda Xaraes. As coletas contam com o devido registro voluntário de coleta de material botânico junto ao Sisbio (Número 76817-1, emitido em 03/11/2020), autorização do proprietário e cadastro no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado - SisGen (cadastro de acesso nº A9E95DC), conforme legislação vigente. Os resíduos de biomassa gerados pelo corte de partes do tronco e dos galhos das espécies (tocos, gravetos e serragem) foram etiquetados e encaminhados para o Instituto Senai de Inovação em Biomassa (ISI Biomassa) na cidade de Três Lagoas, MS para as caracterizações químicas e físicas.

Preparação das amostras

As amostras recebidas no ISI Biomassa foram identificadas como: serragem de canjiqueira e serragem de cambará. Após a identificação, as espécies in natura passaram por processo de moagem em moinho de facas tipo Willey e tiveram a granulometria controlada com peneira de 0,5 mm. Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as imagens das amostras de canjiqueira e cambará in natura e após serem moídas.



Figura 1. Amostras de canjiqueira (*Byrsonima cydoniifolia*) in natura (a) e após moagem (b).



Figura 2. Amostras de cambará (*Vochysia divergens*) in natura (a) e após moagem (b).

Caracterizações químicas e físicas

Foram realizadas as seguintes caracterizações químicas e físicas para as amostras de canjiqueira e de cambará, descritas a seguir:

Análise imediata

A análise imediata foi realizada conforme ABNT NBR 8112 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986) a partir da determinação do teor de umidade, teor de matéria volátil, teor de cinzas e teor de carbono fixo.

Determinação do teor de umidade

Foi pesado cerca de 1 g da amostra vegetal em um cadinho sem tampa. Após a pesagem a amostra foi colocada em estufa com circulação de ar à temperatura de 105 ± 5 °C durante uma hora e meia. Em seguida, a amostra foi retirada da estufa e colocada para resfriar em dessecador. O cálculo do teor de umidade (%U) foi obtido conforme a Equação 1.

$$\%U = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \times 100 \frac{m_1 - m_2}{m_3} \quad (1)$$

Onde:

m_1 é a massa do cadinho com a amostra antes de entrar na estufa

m_2 é a massa do cadinho com a amostra após a estufa

m_3 é a massa da amostra

Determinação do teor de matéria volátil

Foi pesado cerca de 1 g da amostra vegetal, isenta de umidade e de granulometria inferior a 0,210 mm e superior a 0,150 mm em um cadinho com tampa, previamente seco e tarado. Colocou-se o cadinho com a amostra de carvão vegetal sobre a porta da mufla previamente aquecida a 950 ± 10 °C durante 2 minutos. Após 2 minutos, foi colocado o cadinho na mufla e deixado por 6 minutos com a porta fechada. Retirou-se a amostra da mufla, deixou-se resfriar no dessecador e determinou-se a massa final. O teor de voláteis (%V) foi calculado pela Equação 2.

$$\%V = (m_2 - m_4) / m_3 * 100 \quad (2)$$

Onde:

m_2 é a massa do cadinho com amostra após retirada da umidade na estufa

m_3 é a massa da amostra

m_4 é a massa do cadinho com amostra após retirada de voláteis

Determinação do teor de cinzas

A análise do teor de cinzas está relacionada com a presença de material inorgânico presente na biomassa, que não é passível de ser volatilizado ou cujo sistema de combustão não teve a capacidade de volatilizar. Com o cadinho previamente calcinado, pesou-se cerca de 1 g de amostra que foi levada à mufla previamente aquecida a 575 ± 25 °C em atmosfera ambiente por 4 horas. Após este tempo o cadinho foi retirado e colocado em dessecador até temperatura ambiente, e teve sua massa final determinada. O teor de cinzas (%Z) foi determinado de acordo com a Equação 3.

$$\%Z = m_5 / m_3 \frac{m_4 - m_5}{m_3} * 100 \quad (3)$$

Onde:

m_3 é a massa da amostra

m_5 é a massa das cinzas (final), descontando a massa do cadinho

Determinação do teor de carbono fixo

A determinação do carbono fixo (%CF) foi feita por diferença entre a soma dos teores (%) de umidade, matéria volátil e cinzas. O teor de carbono fixo foi calculado por meio da Equação 4.

$$\%CF = 100 - (\%U + \%V + \%Z) \quad (4)$$

Observação: Na determinação do teor de carbono fixo, ressalta-se que os resultados devem ser obtidos em duplicata e não devem diferir na determinação do teor de umidade de 5%, na determinação do teor de matéria volátil de 2% e na determinação do teor de cinzas de 10%.

Análise elementar

A análise elementar foi realizada conforme a ISO 16948:2015 (Internacional Standard Organization, 2015). Para determinação da concentração elementar (%) do carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e enxofre (S) nas amostras foi utilizado um analisador elementar modelo Flash Smart CHNS/O da Thermo Fisher Scientific com a análise do oxigênio de forma indireta por meio de cálculo por diferença. Foram analisadas as amostras em pó, com granulometria controlada, e o padrão utilizado foi o BBOT - 2,5-bis (5-terc-butil-benzoxazol-2-il) tiofeno. A Tabela 1 apresenta as condições utilizadas nas análises elementares.

Tabela 1. Condições utilizadas no analisador para a análise elementar.

Padrão utilizado	BBOT - 2,5-Bis (5-terc-butil-benzoxazol-2-il) tiofeno		
	Fornalha direita O ₂	Fornalha esquerda CHNS	Forno
Temperatura (°C)	Off (CHNS)	950 (CHNS)	65
	Ciclo de análise	Injeção de amostra	Injeção de oxigênio
Tempo (s)	720 (CHNS)	12 (CHNS)	5 (CHNS)
	Arraste (He)	Oxigênio	Referência (He)
Fluxo dos gases (ml/min)	140 (CHNS)	250 (CHNS)	100
Condição das amostras	Todas as análises foram feitas em duplicatas. As amostras sólidas foram trituradas e homogeneizadas		

Fonte: Elaborado pelos autores.

Análise de poder calorífico

O poder calorífico de um material energético qualquer pode ser definido como a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa da unidade de massa ou volume do combustível medido em MJ/kg ou kcal/kg no caso de combustíveis sólidos e, em MJ/Nm³ ou kcal/Nm³ para combustíveis gasosos. O poder calorífico pode variar muito de acordo com o teor de umidade da biomassa. A diferença entre o poder calorífico superior (PCS) e o poder calorífico inferior (PCI) é a energia requerida para evaporar tanto a umidade presente no combustível, como a água de formação obtida a partir da oxidação do hidrogênio do combustível. No caso do PCI, considera-se a umidade no estado gasoso e no PCS considera-se a água na forma líquida e, portanto, a este último é adicionado o calor latente da vaporização. O procedimento para determinação da capacidade calorífica das matérias primas foi realizado com as amostras secas utilizando calorímetro PARR 6400 conforme as normas da ABNT NBR 8633 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984) nas condições apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Condições operacionais do calorímetro isoperibol automático utilizado para as análises de poder calorífico.

Padrão utilizado	Ácido Benzoico (Calor de combustão = 6318,4 cal/g)
Modo	Determinação
Método	Dinâmico
Temperatura da jaqueta	30 °C
Características físicas das amostras	Pó
Spike utilizado	Óleo mineral

Fonte: Elaborado pelos autores.

Análise térmica

A caracterização do perfil de termodegradação foi realizada por análise termogravimétrica (TGA) e por calorimetria diferencial de varredura (DSC). Essa caracterização foi feita com o objetivo de identificar as perdas de massa e as transições térmicas ocorridas durante a decomposição dos materiais, por meio da interpretação das curvas de DSC, obtidas pelo método acoplado das técnicas de TGA e DSC das amostras em pó no equipamento Netzsch STA 449 F3 Jupiter, do Senai ISI Biomassa, nas condições operacionais de rampa de temperatura de 30°C/ 20,0 (k/min)/ 900°C; fluxo de 50,0 ml/min; purga de nitrogênio.

Análise de espectroscopia na região do infravermelho

As análises de espectroscopia na região do infravermelho das amostras foram realizadas conforme instruções operacionais do equipamento Nicolet iS10 da Thermo Scientific. Todas as medidas foram realizadas com 32 scans de 450 a 4000 cm^{-1} , em modo de transmitância.

Análise composicional I

A análise química composicional I compreende a determinação dos teores de extrativos e lignina total nas amostras de canjiqueira e de cambará. Essa caracterização foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 16550 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018).

Determinação do teor de extrativos

Os extrativos foram removidos, em triplicata, por meio de um extrator tipo Soxhlet com cerca de 3 g de amostra em cartuchos de papel filtro previamente secos em estufa a 105 °C. Duas extrações foram realizadas em sequência, a primeira utilizando acetona como solvente, durante 5 horas, e a segunda com água, durante 8 horas. Após este tempo, o cartucho com a biomassa livre de extrativos foi colocado na estufa a 105 °C até peso constante e quantificação do teor de extrativos (%Ext) conforme Equação 5.

$$\%Ext = (m_{bs} - m_{s/extrativos}/m_{bs}) * 100 \quad (5)$$

Onde:

m_{bs} é a massa da amostra em base seca (inicial)

$m_{s/extrativos}$ é a massa da amostra livre de extrativos (final)

O material livre de extrativos passou pela etapa de hidrólise ácida e destinada para análise de lignina total, hemicelulose e celulose.

Determinação do teor de lignina total

A lignina presente foi então extraída pela adição de ácido sulfúrico 72% a 30,0 °C ± 1,0 °C em aproximadamente 0,3 g de amostra livre de extrativos, em tubos de pressão, com agitação constante em mesa agitadora tipo Shaker, à 200 rpm durante 1 hora. Sequencialmente adicionou-se água destilada para diluição do ácido até 4% e as amostras foram autoclavadas por 1 hora a 121°C. As amostras foram filtradas em cadinho de Gooch N°4, com seu peso seco previamente determinado.

A fração líquida hidrolisada foi analisada para a quantificação da lignina solúvel em ácido, por espectrofotômetro UV-Vis a 215 nm e 280 nm. A fração sólida foi destinada para a quantificação de lignina e cinzas insolúveis em ácido, por meio da secagem do cadinho de Gooch N° 4 em estufa a 105 °C overnight e calcinação em mufla a 575 °C por 4 horas, e por diferença de massa. Após o cálculo do teor de lignina das frações solúvel (Equação 6) e insolúvel (Equação 7), foram calculados os percentuais de lignina totais (Equação 8):

$$\%Lig_{\text{Solúvel}} = [(4,53 \times Abs_{215}) - Abs_{280}] \times V / (300 \times m_{s/\text{extrativos}}) \times f_{\text{dligsol}} \quad (6)$$

Onde:

$\%Lig_{\text{Solúvel}}$ é o teor de lignina solúvel na biomassa, em base seca, expressa em porcentagem de massa por massa (%m/m)

Abs_{215} é o valor da absorbância a 215 nm analisado no UV-Vis

Abs_{280} é o valor da absorbância a 280 nm analisado no UV-Vis

V é o volume do hidrolisado 0,08673 L

$m_{s/\text{extrativos}}$ é a massa seca e livre de extrativos da biomassa, expressa em gramas (g)

f_{dligsol} é o fator de diluição do processo

$$\%Lig_{\text{Insolúvel}} = [(m_{\text{resíduo}} - m_{\text{cinzas}}) / m_{s/\text{extrativos}}] \times 100 \quad (7)$$

Onde:

$\%Lig_{\text{Insolúvel}}$ é o teor de lignina insolúvel na biomassa, em base seca, expressa em porcentagem de massa por massa (%m/m)

$m_{\text{resíduo}}$ é a massa do resíduo com lignina e cinzas, expressa em gramas (g)

m_{cinzas} é a massa das cinzas do resíduo, expressa em gramas (g)

$m_{s/\text{extrativos}}$ é a massa seca e livre de extrativos da biomassa, expressa em gramas (g)

$$\%Lig_T = (\%Lig_{\text{Solúvel}} + \%Lig_{\text{Insolúvel}}) \times [(100 - \%Ext)/100] \quad (8)$$

Onde:

$\%Lig_T$ é o teor de lignina total na biomassa, em base seca, expressa em porcentagem de massa por massa (%m/m)

$\%Lig_{\text{Solúvel}}$ é o teor de lignina solúvel na biomassa, em base seca, expressa em porcentagem de massa por massa (%m/m)

$\%Lig_{\text{Insolúvel}}$ é o teor de lignina insolúvel na biomassa, em base seca, expressa em porcentagem de massa por massa (%m/m)

Análise composicional II

Os teores dos carboidratos estruturais, celulose e hemicelulose, foram determinados conforme procedimento descrito na norma NREL/TP-510-42618 (Sluiter et al., 2012) utilizando um cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC, sigla em inglês) da marca Thermo Scientific modelo Ultimate 3000 acoplado a um detector de índice de refração, utilizando as duas condições descritas abaixo.

Condição A:

Coluna: Biorad Aminex HPX-87P com pré-coluna correspondente e uma pré-coluna Deashing

Volume de amostra: 20 μ L

Fase móvel: água ultrapura, desgaseificada e filtrada com filtro 0,2 μ m

Fluxo: 0,6 mL/min

Tempo: 35 minutos

Temperatura da coluna: 65 °C

Temperatura do detector: 50°C

Condição B:

Coluna: BioRad Hplex H com pré-coluna correspondente e uma pré-coluna Deashing

Volume de amostra: 20 μ L

Fase móvel: H₂SO₄ 0,005 M, desgaseificada e filtrada com filtro 0,2 μ m

Fluxo: 0,6 mL/min

Tempo: 50 minutos

Temperatura da coluna: 60 °C

Temperatura do detector: 50°C

Utilizou-se o líquido filtrado obtido por meio do processo de hidrólise. Transferiu-se uma alíquota de aproximadamente 20 mL de cada licor para um frasco Erlenmeyer e adicionou-se lentamente o carbonato de cálcio para neutralizar cada amostra a pH 5-6. Depois de atingir o pH 5–6, interrompeu a adição de carbonato de cálcio e deixou-se a amostra sedimentar e decantar o sobrenadante. Essas amostras foram purificadas com filtro 0,2 μ m e enviadas para o HPLC com as condições citadas anteriormente. Os resultados obtidos pelo HPLC usados nas as Equações 9 e 10:

$$\%RCx = [(C_{HPLCx} * f_{dx})/C_x] * 100 \quad (9)$$

Onde:

%RC x é a porcentagem de recuperação do componente x

C_{HPLCx} é a concentração do componente x fornecido pelo HPLC

f_{dx} é o fator de diluição do componente x

C_x é a concentração conhecida inicial do componente x , antes da hidrólise

OBS: sendo x celulose ou hemicelulose

$$Cxi = ((Ci * fi) * V)/M_{slivext} * ((100 - \%EXT)/100) \quad (10)$$

Onde:

Cxi é o teor em porcentagem da massa do carboidrato i do componente x , na forma monomérica (%m/m)

Ci é a concentração do carboidrato i em gramas por litro (g/L)

fi é o fator de correção do carboidrato i , utilizando os valores 0,88 para pentoses (xilose e arabinose) e 0,90 para hexoses (glicose, galactose e manose) e 0,95 para celobiose

V é o volume do hidrolisado 0,08673 L

$M_{slivext}$ é a massa seca e livre de extrativos da biomassa, expressa em gramas (g)

%EXT é o teor de extrativos, expresso em porcentagem de massa por massa (%m/m)

Para a determinação do teor de celulose, utiliza-se a soma dos teores de glicose e celobiose, conforme Equação 11:

$$\%Cel = \sum Cx_{glicose}, Cx_{celobiose} \quad (11)$$

Onde:

%Cel é o teor de celulose da biomassa, em base seca, expresso em porcentagem de massa por massa (%m/m)

$Cx_{glicose}$ é o teor de glicose presente na biomassa em porcentagem massa por massa (%m/m)

$Cx_{celobiose}$ é o teor de celobiose presente na biomassa em porcentagem massa por massa (%m/m)

Para a determinação do teor de hemicelulose, utiliza-se a Equação 12:

$$\% \text{Hemicel} = \sum Cx_{xilose}, Cx_{arabnose}, Cx_{galactose}, Cx_{manose} \quad (12)$$

Onde:

$\% \text{Hemicel}$ é o teor de hemicelulose da biomassa, em base seca, expresso em porcentagem de massa por massa (%m/m)

Cx_{xilose} é o teor de xilose presente na biomassa em porcentagem massa por massa (%m/m)

$Cx_{arabnose}$ é o teor de arabnose presente na biomassa em porcentagem massa por massa (%m/m)

$Cx_{galactose}$ é o teor de galactose presente na biomassa em porcentagem massa por massa (%m/m)

Cx_{manose} é o teor de manose presente na biomassa em porcentagem massa por massa (%m/m)

Briquetagem

Para melhor adequação da biomassa ao uso como combustível, alguns pré-tratamentos podem ser empregados (redução de tamanho, secagem, carbonização e densificação), principalmente para o condicionamento ao processo fim e para padronização do material. Para otimização dos processos de combustão, é possível densificar a matéria orgânica de forma a tornar a biomassa mais homogênea e compacta, por peletização ou briquetagem. Dentre as vantagens apresentadas destaca-se o aumento da densidade energética da biomassa (Ponte et al., 2019). Neste estudo, a briquetagem foi o processo escolhido para compactar as biomassas de canjiqueira e de cambará e avaliar se os briquetes apresentam resistência mecânica suficiente para o transporte.

O processo de briquetagem foi realizado conforme as instruções operacionais da briquetadeira LB-32 da Lippel, escala de bancada. Para o processo de briquetagem foram utilizados os seguintes parâmetros: tempo de compressão de 15 minutos; temperatura de 90 °C; e pressão de 30 bar. Após a briquetagem foi avaliado a densidade energética do material (PCS/densidade). As imagens dos briquetes obtidos com as biomassas de cambará e canjiqueira estão na Figura 3.

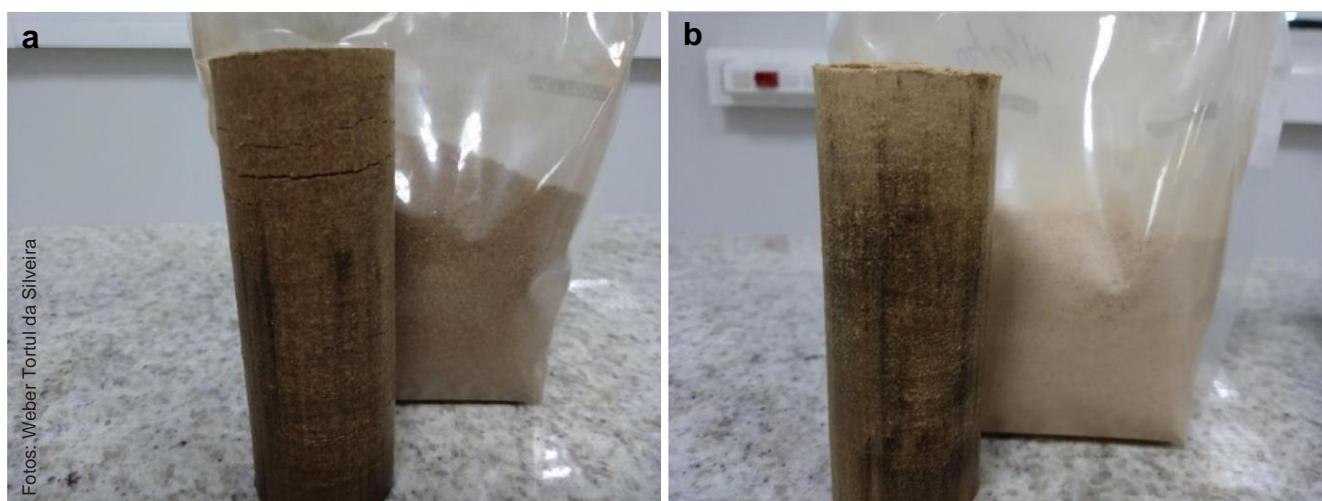


Figura 3. Briquete obtido da amostra de canjiqueira (*Byrsonima cydoniifolia*) (a) e de cambará (*Vochysia divergens*) (b).

As densidades aparentes do material in natura e do briquete foram determinadas após os ensaios de briquetagem.

Resultados e discussão

Análise imediata

Os resultados obtidos da análise imediata encontram-se na Tabela 3. As biomassas analisadas apresentaram um teor de umidade entre 3,59% e 6,86%, valores muito baixos quando comparados a teores de umidade de cavacos de outras espécies florestais que variam de 35% a 45% (Corradi, 2021). O teor de umidade depende diretamente do tipo de biomassa e também dos processos e do tempo empregados para armazenamento e conservação.

Quando se avalia uma biomassa para fins energéticos, o alto teor de umidade prejudica a eficiência do processo de combustão, pois mais energia será necessária para o processo de secagem durante o próprio processo de queima/combustão do material, o mesmo se aplica quando se trata de outros processos de termoconversão como pirólise e gaseificação. Quanto maior for a umidade, maior será o gasto energético, consequentemente maior também será o custo total do processo.

De forma geral, o teor de cinzas de biomassa de madeira varia de 0,5% a 3%, entretanto, há estudos que reportam elevados valores de cinzas de biomassa combustível, acima de 10% (Chandrasekaran et al., 2012). Os teores de cinzas obtidos estão acima do normalmente encontrados para madeiras como eucalipto e pinus, entre 0,21% e 0,40% (Belini, 2018). No entanto, a forma e o local em que foram coletadas as amostras podem apresentar maior ou menor grau de sujidade, o que influencia diretamente na análise de cinzas que é composta principalmente por elementos inorgânicos (óxidos metálicos e silicatos).

Em geral, biomassas com elevados teores de cinzas apresentam menor teor de carbono fixo e, consequentemente, menor poder calorífico. A composição e a quantidade das cinzas também influenciam diretamente na aplicação energética da biomassa, tendo em vista que podem acarretar e intensificar processos de geração de escória e incrustações em caldeiras. Para a aplicação da biomassa na geração de energia de forma mais eficiente, em geral, é recomendado um baixo teor de cinzas (Belini, 2018). Os teores de voláteis encontrados para a canjiqueira foram 69,46% e para o cambará, 79,53%, muito próximos aos encontrados para as amostras de podas de cajueiro, mangueira e bagaço de cana (Ponte et al., 2019).

Observa-se ainda que os teores de materiais voláteis e carbono fixo são inversamente proporcionais (Reis et al., 2012). O teor de voláteis, bastante elevado nas biomassas em geral, incluindo as deste estudo, é um fator a ser levado em conta durante o aproveitamento energético, seja para a queima (combustão) ou para processos de termoconversão, como a pirólise e a gaseificação. Um elevado teor de voláteis influi diretamente no rendimento dos produtos líquidos e gasosos durante a termoconversão, resultando em menor rendimento de carvão, e durante a combustão pode influenciar na decomposição térmica da biomassa, tornando a ignição mais fácil em baixas temperaturas, o que resulta em uma alta reatividade, acelerando o processo de queima (Belini, 2018).

O teor de carbono fixo é importante na avaliação de biomassas para produção de carvão, pois elevados teores de carbono fixo geram mais rendimento de carvão. Os valores obtidos para canjiqueira e cambará são comparáveis aos obtidos por Ponte et al. (2019) para cajueiro, mangueira e bagaço de cana, e superiores aos encontrados por Belini (2018), para eucalipto e pinus. Isso demonstra um excelente potencial, principalmente da biomassa da canjiqueira (21% de carbono fixo) para produção de carvão vegetal.

Tabela 3. Análise imediata (valores médios e desvio padrão) das amostras de canjiqueira e cambará.

Amostra	Teor médio de umidade (%)	Teor médio de voláteis (%)	Teor médio de cinzas (%)	Teor médio de carbono fixo (%)
Canjiqueira	6,86 ± 0,11	69,46 ± 0,31	2,18 ± 0,13	21,51 ± 0,33
Cambará	3,59 ± 0,38	79,53 ± 0,39	2,62 ± 0,13	14,27 ± 0,12

Fonte: Elaborado pelos autores.

Análise elementar

A utilização de madeira como biocombustível para fornecimento energético requer a sua caracterização elementar, pois biomassas combustíveis devem conter menores quantidades de oxigênio e elevados teores de carbono e hidrogênio, componentes que apresentam correlações diretas com o poder calorífico da biomassa vegetal (Reis et al., 2012). Na Tabela 4 estão apresentados os resultados obtidos na análise elementar das amostras de canjiqueira e de cambará.

Tabela 4. Caracterização elementar (valores médios e desvio padrão) das biomassas de canjiqueira e cambará.

Amostra	Teor médio de C (%)	Teor médio de H (%)	Teor médio de N (%)	Teor médio de S (%)	Teor médio de O (%)
Canjiqueira	47,28 ± 0,19	6,30 ± 0,23	0,24 ± 0,00	0,00	44,00 ± 0,04
Cambará	46,93 ± 0,70	7,14 ± 0,45	0,14 ± 0,02	0,00	43,21 ± 0,93

C= carbono; H = hidrogênio; N= nitrogênio; S= enxofre; O= oxigênio

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os maiores constituintes da biomassa de madeira são carbono (45-50%), seguido de oxigênio (40-50%), hidrogênio (cerca de 6%) e nitrogênio (em geral menos de 1%) (Chandrasekaran et al., 2012). Os resultados da análise elementar para ambas as biomassas se apresentaram condizentes com os descritos por Chandrasekaran et al. (2012) e também por Chen et al. (2018) que avaliaram duas espécies diferentes de biomassas de madeira, uma dura (hardwood) e outra macia (softwood). Em geral, o teor de enxofre é baixo em biomassas vegetais, geralmente detectados em ppm. O carvão mineral, por exemplo, possui um teor de enxofre que pode variar de 1% a 12%. O baixo teor de enxofre em um combustível reduz problemas relacionados a corrosão em chaminés devido a formação de ácido sulfúrico, além de não produzir gases poluentes como os SO_x durante sua queima. A presença de nitrogênio na composição da madeira resulta na formação de óxidos de nitrogênio após a combustão (Reis et al., 2012). Os gases SO_x, NO_x e N₂O são altamente tóxicos e poluentes do ambiente, portanto, quantidades menores de nitrogênio são desejáveis no processo de carbonização da madeira e também no uso para combustão. Um aumento do teor de oxigênio e diminuição do teor de hidrogênio tende a diminuir o poder calorífico dos combustíveis de biomassa vegetal (Reis et al., 2012). Na medida em que o teor de oxigênio é maior, a capacidade de formação de água durante o processo de termoconversão (pirólise) aumenta, sendo mais intensa em processos de pirólise lenta (carbonização) e mais branda em pirólise rápida. A partir dos resultados apresentados na Tabela 4, foram determinadas as relações C/H para as amostras de canjiqueira e cambara. Estes resultados estão apresentados na Tabela 5 e comparados com dados encontrados na literatura.

Tabela 5. Relação carbono/hidrogênio (C/H) para as amostras de canjiqueira e cambará em comparação com os encontrados na literatura.

Amostra	C/H
<i>Byrsonima cydoniifolia</i> (canjiqueira)	7,50
<i>Vochysia divergens</i> (cambará)	6,57
<i>Eucalyptus urophylla</i> (Reis et al., 2012)	7,62
<i>Populus nigra</i> (Chen et al., 2018)	7,37
<i>Abies pectinate</i> (Chen et al., 2018)	7,35

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os baixos valores de hidrogênio na composição da madeira resultam em uma alta relação C/H, fato este indesejável quando se visa à produção de energia, pois pequenos acréscimos no teor de hidrogênio promovem elevado ganho no valor calórico dos combustíveis de biomassa (Reis et al., 2012).

A relação C/H obtida para canjiqueira foi próxima às obtidas por Reis et al. (2012) para *Eucalyptus urophylla* e por Chen et al. (2018) para duas espécies de madeiras comuns na Europa, *Populus nigra* e *Abies pectinata*. Entretanto, a relação C/H para o cambará foi menor, indicando um maior potencial de uso para fins energéticos em relação a canjiqueira, devido ao seu maior teor de hidrogênio.

Avaliação do poder calorífico

Os resultados de poder calorífico das biomassas de canjiqueira e cambará analisadas estão na Tabela 6.

Tabela 6. Poder calorífico superior e inferior (média e desvio padrão) das amostras de canjiqueira e cambará.

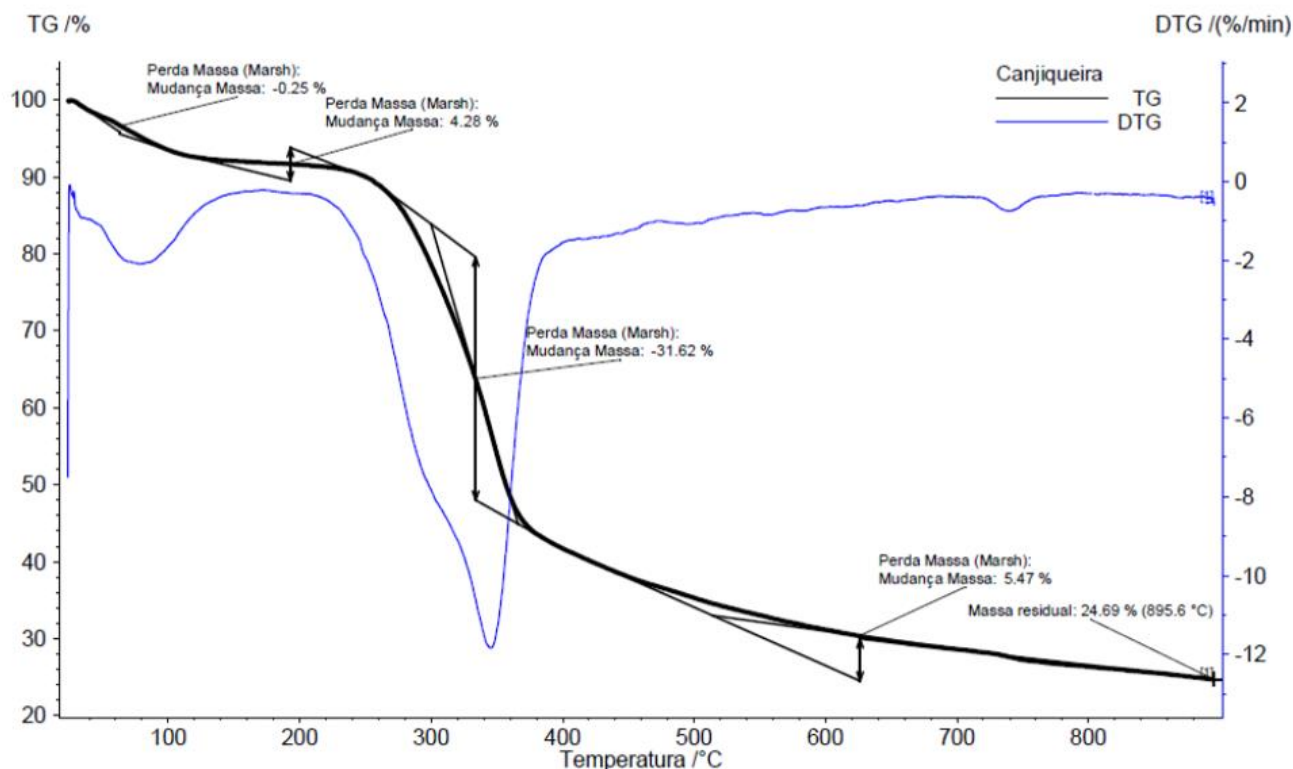
Amostra	Poder calorífico superior médio (MJ/kg)	Poder calorífico inferior médio (MJ/kg)
Canjiqueira	20,07 ± 0,45	16,92 ± 0,25
Cambará	19,54 ± 0,03	15,69 ± 0,27

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados obtidos de poder calorífico superior (PCS) são bastante similares aos de outras espécies de madeiras como as dos gêneros *Pinus* (próximo a 20 MJ/kg) e *Eucalyptus* (próximo a 19 MJ/kg), e superiores aos encontrados por Chen et al. (2018) que avaliaram a torrefação de dois materiais de biomassa lenhosa de choupo (madeira dura) e abeto (madeira macia). O elevado PCS encontrado nas biomassas se deve principalmente pelo elevado teor de carbono fixo presente nas amostras, pois há uma correlação positiva entre o teor de carbono fixo e o PCS, ou seja, quanto maior o teor de carbono fixo maior o poder calorífico da biomassa (Reis et al., 2012).

Avaliação térmica

As curvas termogravimétricas (TG) representam a perda de massa, em porcentagem, em função da temperatura, enquanto as curvas DTG correspondem à derivada primeira das curvas TG e apresentam a variação da massa em relação ao tempo, registradas em função da temperatura. As Figuras 4 e 5 apresentam os termogramas, i.e., as curvas de decomposição térmica das amostras de canjiqueira e de cambará,



respectivamente.

Figura 4. Termograma dos eventos térmicos e perdas de massas relativas observados na análise de TGA/DTG das amostras biomassa de canjiqueira.

Fonte: Elaborado pelos autores.

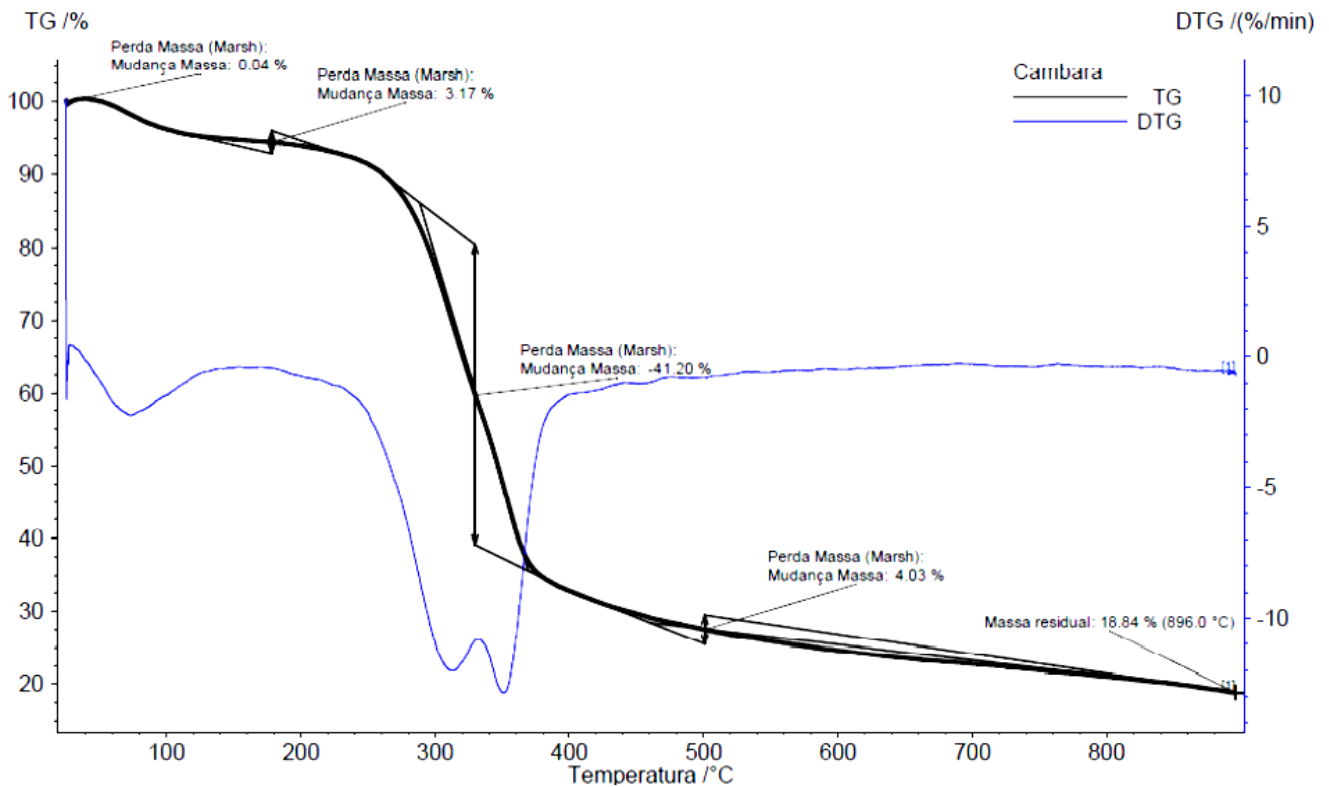


Figura 5. Termograma dos eventos térmicos e perdas de massas relativas observados na análise de TGA/DTG das amostras biomassa de cambará.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os perfis da decomposição termogravimétrica indicam as faixas de temperatura das perdas de massa para cada tipo de amostra. Os perfis termogravimétricos das duas espécies são similares. Os picos iniciais de aumento de massa provavelmente se devem a absorção inicial de umidade. As curvas TG/DTG indicam três faixas de degradação térmica, que estão destacadas nas Figuras 4 e 5, a primeira atribuída à secagem da madeira e as outras duas, à degradação de hemicelulose e celulose, devendo-se ressaltar que cada uma (celulose e hemicelulose) se degrada de maneira distinta em diferentes faixas de temperatura. Uma elevada perda de massa na segunda e terceira faixa de temperatura é observada para a amostra de cambará, cerca de 70%, enquanto que para a amostra de canjiqueira, a perda de massa na segunda faixa foi de aproximadamente 52%, possivelmente pela presença de mais compostos voláteis na amostra de cambará relacionada a presença de maior conteúdo de celulose e hemicelulose que de lignina para esta amostra. A ausência de um pico específico de degradação referente à lignina se deve, provavelmente, ao fato de a sua decomposição térmica ocorrer em ampla faixa de temperatura, ressaltando-se que apenas pequena fração se decompõe em temperaturas inferiores a 450 °C (Pereira et al., 2013).

A Figura 6 apresenta as curvas de DSC para ambas as amostras de canjiqueira e cambará. A DSC fornece a informação se a reação é caracterizada por liberação de calor (exotérmica) ou absorção de calor (endotérmica), além de fornecer a quantidade de calor envolvido na reação.

Os estágios de perda de massa relativos às amostras estão diretamente relacionados à degradação térmica da hemicelulose, celulose e lignina, que constituem a biomassa lignocelulósica das plantas lenhosas. Independentemente do resíduo analisado, o primeiro estágio observado que ocorre até 200 °C corresponde à perda de umidade dos resíduos, possivelmente aos extrativos e outros compostos voláteis. No segundo estágio, entre 200 °C e 300°C, provavelmente ocorre à degradação das hemiceluloses. A celulose degrada-se entre 240 °C e 260 °C e a lignina, que apresenta uma estrutura altamente aromática e polimerizada, decompõe-se termicamente em uma faixa de temperatura mais alta, de 280 °C a 460°C (Ferreira, 2014).

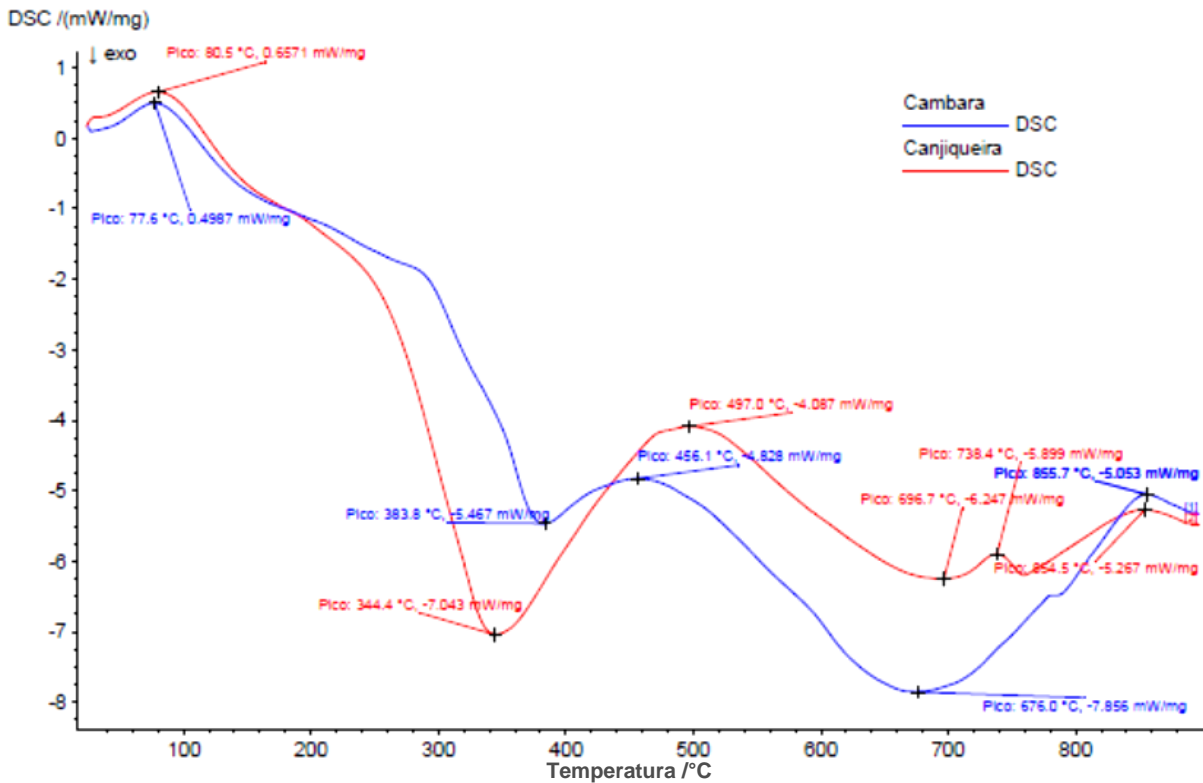


Figura 6. Curvas de calorimetria diferencial de varredura (DSC) das amostras de canjiqueira e camará.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Nas Figuras 7 e 8 são demonstradas as perdas de massas relativas aos eventos térmicos da degradação térmica, respectivamente, das amostras de canjiqueira e camará. É possível perceber no gráfico a perda de massa na faixa de 25-110 °C correspondente ao evento endotérmico de dessorção de água da matriz das biomassas, sendo essas de 6,94% para a amostra de canjiqueira e de 4,27% para amostra de camará. Esses valores são compatíveis com os valores de teor de umidade obtidos no ensaio de análise imediata: 6,86% de teor de umidade para canjiqueira e 3,59% para camará. Identificou-se um percentual residual de 24,69% e 18,84%, respectivamente para canjiqueira e camará ao final do processo de termodegradação.

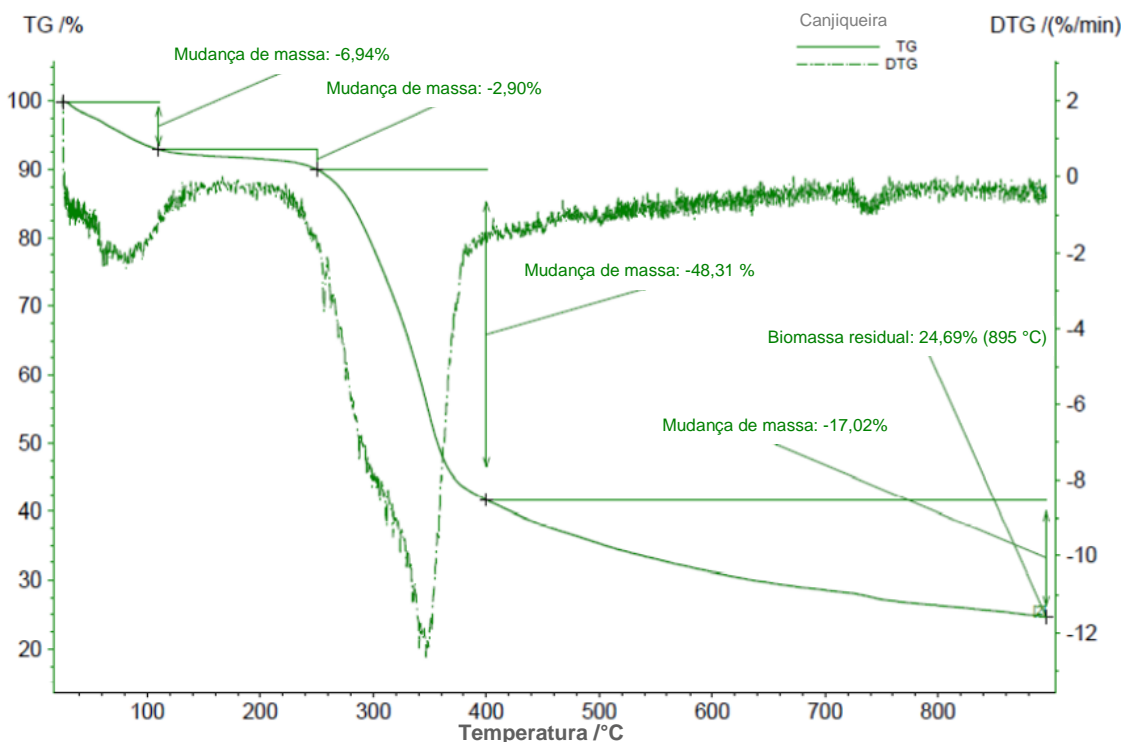


Figura 7. Termograma com perdas de massas e DTG da amostra de canjiqueira.
Fonte: Elaborado pelos autores.

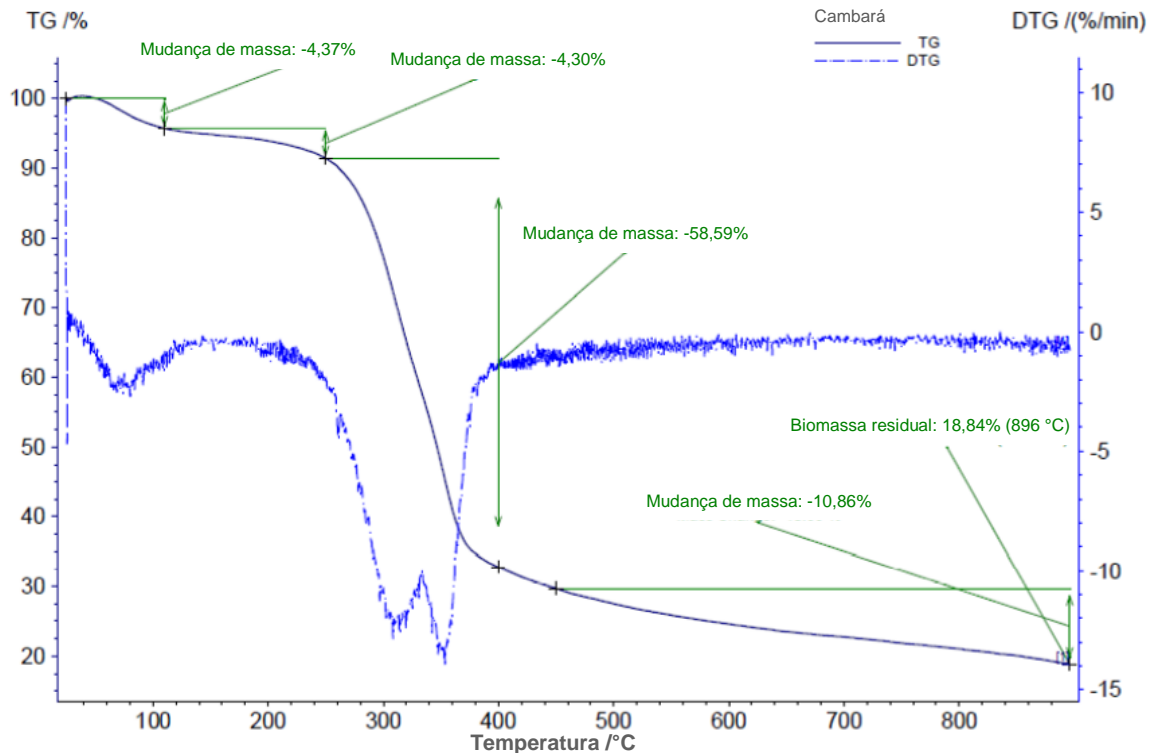


Figura 8. Termograma com perdas de massas e DTG da amostra de camarará.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Análise dos perfis de absorção por infravermelho

Analisando os espectros de perfil de absorção por infravermelho - FTIR (Figura 9), a região entre 3600-3100 cm^{-1} é comumente atribuída ao alongamento O-H em moléculas de hidroxila, carboxila e água para a amostra de endocarpo. Os materiais lignocelulósicos são polímeros ricos em grupos hidróxido. A banda em torno de 3270 e 3258 cm^{-1} para as duas amostras é característica dos grupos hidroxila (-OH) na celulose. Os picos 1018 cm^{-1} e 1228 cm^{-1} , na canjiqueira e, 1014 cm^{-1} e 1231 cm^{-1} , no camarará, estão relacionados aos estiramentos simétricos C=O nas xilanas (carboidrato encontrado na hemicelulose) e a associação OH na celulose e hemicelulose, respectivamente. A banda situada em 2921 cm^{-1} e 2865 cm^{-1} , em ambas amostras, são referentes às vibrações C-H.

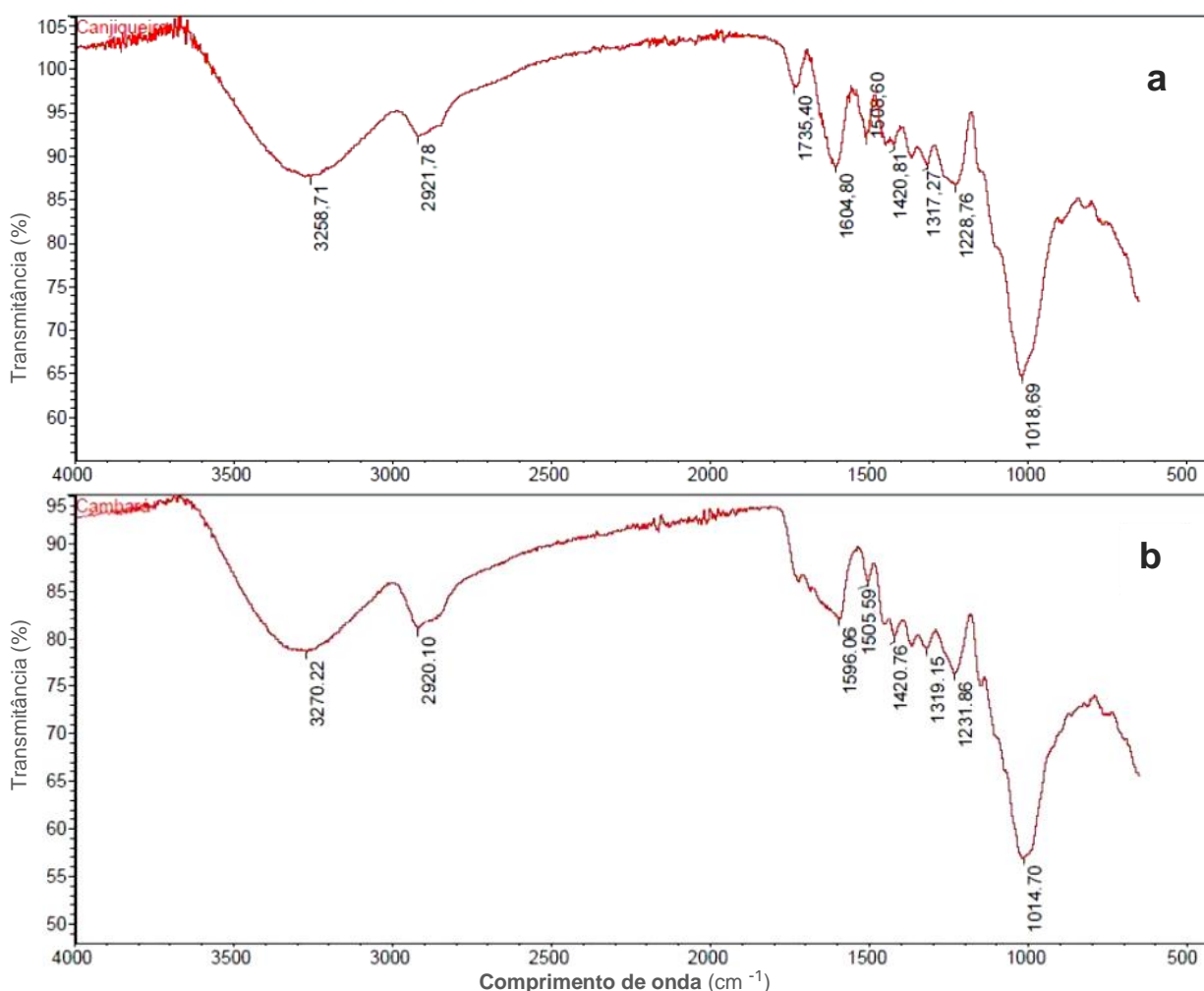


Figura 9. Espectros no infravermelho para amostra da canjiqueira (a) e cambará (b).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Análise composicional I: extrativos e ligninas solúveis, insolúveis e totais

Os componentes químicos da madeira podem ser compreendidos em dois grandes grupos: componentes de elevada massa molecular que são a celulose, as hemiceluloses e a lignina, e os componentes de baixa massa molecular que são os extrativos e as cinzas (Balloni, 2009). Os extrativos são compostos químicos da parede celular formados principalmente a partir de ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos, esteroides, resinas e ceras. Apesar do baixo teor de extrativos em relação aos demais componentes, sua presença pode determinar finalidade da madeira. Por exemplo, os extrativos de cor ou voláteis que dão valor estético à madeira; os compostos aromáticos que impedem o ataque da madeira por fungos e insetos; os taninos e resinas que podem interferir negativamente nos processos de hidrólise da madeira ou de produção da polpa (Santos, 2008). Os resultados obtidos das biomassas analisadas para o teor de extrativos estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7. Teor de extrativos (média e desvio padrão) das amostras de canjiqueira e cambará em base seca.

Amostra	Teor médio de extrativos
Canjiqueira	7,37 ± 0,88
Cambará	14,30 ± 2,82

Fonte: Elaborado pelos autores.

A amostra de cambará apresenta o dobro de extrativo que a amostra de canjiqueira. Essa variação pode ser explicada pelo fato dos extrativos se consistirem de uma diversidade de compostos químicos presentes na madeira e seu teor variar entre espécies, idade, condições de crescimento e também na parte da madeira do tronco, entre albúrnio e cerne (Colares, 2016). O resultado obtido de extrativos para a canjiqueira estão muito próximos dos reportados por Colares (2016) para algumas espécies de eucalipto como *Eucalyptus urophylla* e o híbrido de *E. urophylla* x *E. camaldulensis*. A lignina é o polímero de maior teor de carbono entre os componentes da biomassa, sendo o principal contribuinte na formação do carvão vegetal entre os componentes da madeira, pois possui elevada estabilidade térmica, está diretamente relacionada ao teor de carbono fixo e pode afetar consideravelmente o rendimento gravimétrico da carbonização (Reis et al., 2012).

A Tabela 8 apresenta os teores de ligninas encontrados nas duas amostras de madeira. Como pode ser observado a amostra de canjiqueira apresentou um teor superior de lignina em relação a amostra de cambará. Esta última apresentou os teores de lignina próximos aos valores encontrados por Colares (2016) para *Eucalyptus grandis*, híbrido de *E. urophylla* x *E. camaldulensis*, *E. urophylla* e *S. macrophylla* e por Balloni (2009) e Belini (2018) para *Pinus elliottii*. O elevado teor de ligninas na amostra de canjiqueira pode ser relacionado a aspectos genéticos, silviculturais e edafoclimáticos (Duarte, 2007).

Tabela 8. Resultado dos teores de lignina (média e desvio padrão) das amostras de canjiqueira e cambará.

Amostra	Teor médio de lignina insolúvel (%)	Teor médio de lignina solúvel (%)	Teor médio de lignina total (%)
Canjiqueira	37,76 ± 0,21	0,62 ± 0,03	38,37 ± 0,24
Cambará	22,42 ± 0,55	2,48 ± 0,11	24,90 ± 0,63

Fonte: Elaborado pelos autores.

Análise composicional II: determinação do teor de celulose e hemicelulose

A maior porção de carboidratos da madeira é composta por polímeros de celulose e hemicelulose, com menor quantidade de outros açúcares. A combinação de ambos é denominada holocelulose. Os resultados obtidos para as biomassas analisadas estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9. Resultado da análise dos teores de celulose, hemicelulose e holocelulose (média e desvio padrão) das amostras de canjiqueira e cambará.

Amostra	Teor médio de celulose (%)	Teor médio de hemicelulose (%)	Teor médio de holocelulose (%)
Canjiqueira	33,79 ± 0,43	10,01 ± 0,69	43,80 ± 0,29
Cambará	40,41 ± 2,90	16,96 ± 0,90	57,36 ± 2,92

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os teores obtidos para celulose e hemicelulose da amostra de cambará foram muito próximos aos encontrados para madeira de eucalipto. Já a amostra de canjiqueira apresentou menores teores de ambos os componentes, isso demonstra o baixo potencial desta para aplicações na produção de polpa celulósica e também para produção de etanol segunda geração.

Briquetagem

Ambos os briquetes obtidos apresentaram boa resistência mecânica com poucas falhas ou rachaduras em sua estrutura, o que demonstra a possibilidade de utilizar as duas espécies estudadas para fins de adensamento energético por meio de peletização ou briquetagem. Na Tabela 10 constam os valores de densidade obtidos das amostras de canjiqueira e cambará in natura e depois de briquetados. Na mesma tabela encontra-se a relação PCS/volume antes e após o processo de briquetagem, em que pode ser avaliado o valor calorífico por volume das amostras, demonstrando a elevação da densidade energética do material. A densidade energética é uma das principais propriedades que definem a qualidade do briquete, pois resume as características químicas e a quantidade de calor disponível do produto final para aplicações energéticas.

Tabela 10. Densidade e poder calorífico superior (PCS) das amostras de canjiqueira e de cambará antes e após a briquetagem.

Amostra	Análise antes da briquetagem		Análise após briquetagem	
	Densidade bruta da biomassa in natura (kg/L)	Relação PCS/Volume (MJ/L)	Densidade do briquete (kg/L)	Relação PCS/Volume (MJ/L)
Canjiqueira	0,142	2,86	1,311	26,31
Cambará	0,125	2,44	1,377	26,92

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conclusões

De acordo com os resultados obtidos a partir das análises realizadas, as biomassas de canjiqueira e de cambará apresentam excelente potencial tanto para geração de energia quanto como materiais precursores para a produção de carvão ativado. Destacando-se, principalmente, a biomassa da canjiqueira devido ao elevado teor de lignina, o que lhe confere um poder calorífico mais elevado. Além disso, a baixa presença de material inorgânico (cinzas) permite que a canjiqueira seja adequadamente utilizada em sistemas de geração térmica, não comprometendo o seu valor calorífico e nem questões de eficiência de combustão e manutenção de equipamentos. Ressalta-se que o alto teor de lignina pode ser benéfico não apenas para geração de energia como também para outras aplicações dentro do conceito de biorrefinarias de lignina. O baixo teor de hemicelulose e celulose das biomassas das duas espécies demonstrou baixo potencial para aplicações mais nobres, como obtenção de polpa celulósica ou a produção de etanol de segunda geração.

Agradecimentos

À Sandra Maysa Fava Demari Manzano, proprietária da Fazenda Xaraes, que permitiu a coleta das amostras de cambará na sua área.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: carvão vegetal - Análise imediata - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: carvão vegetal – Determinação do poder calorífico – Método de ensaio. Rio de Janeiro. ABNT, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16550**: bagaço de cana - Caracterização química. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- BALLONI, C. J. V. **Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliotti***. 2009. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva.
- BELINI, G. B. **Termogravimetria aplicada para caracterização da biomassa**. 2018. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- CHANDRASEKARAN, S. R.; HOPKE, P. K.; RECTOR, L.; ALLEN, G.; LIN, L. Chemical composition of wood chips and wood pellets. **Energy and Fuels**, v. 26, n. 8, p. 4932-4937, 2012.
- CHEN, W. H.; LIN, B. J.; COLIN, B.; CHANG, J. S.; PÉTRISSANS, A.; BI, X.; PÉTRISSANS, M. Hygroscopic transformation of woody biomass torrefaction for carbon storage. **Applied Energy**, v. 231, p. 768-776, 2018.
- COLARES, C. J. G. **Estudo da homogeneidade e discriminação de madeiras através de espectroscopia de imagens, imagens digitais e ferramentas quimiométricas**. 2016. 159 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/21012>. Acesso em: 10 jun. 2021.
- CORRADI, G. M. **Qualidade energética de diferentes biomassas florestais utilizadas no Oeste Paranaense**. 2021. 47 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/5480>. Acesso em: 15 dez. 2021.
- DUARTE, F. A. S. **Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de polpa celulósica Kraft**. 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. DOI:10.11606/D.11.2007.tde-04072007-104504. Acesso em: 15 dez. 2021.
- FERREIRA, N. de L. **Pirólise de biomassa lignocelulósica utilizando diferentes catalisadores para produção de bio-óleo**. 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/SFSA-9JLURF>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- GOULART, S. L.; MORI, F. A.; RIBEIRO, A. D. O.; COUTO, A. M.; ARANTES, M. D. C.; MENDES, L. M. Análises químicas e densidade básica da madeira de raiz, fuste e galho de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*) Coville do bioma cerrado. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 59-66, jan./mar., 2012.
- INTERNACIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 16948:2015**. Solid biofuels: determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen. Geneva: ISO, 2015. 9 p.
- LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; ROSA, L. M. Caracterização da madeira de cambará, *Vochysia guianensis* Aubl. **Engenharia Civil**, n. 29, p. 57-69, 2007.
- LOPES, K.; MARTINS, E. M.; DE MIRANDA, R. L. A Potencialidade energética da biomassa no Brasil. **Revista Desenvolvimento Socioeconômico em debate**, v. 5, n. 1, p. 95, 2019.
- MARCHELAN, R.; MATTOS, P. P. de; SAVAREZ, G. K.; SALIS, S. M. **Caracterização física, química e anatômica da madeira *Byrsonima orbignyana***. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 3 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 167).
- NONES, D. L.; BRAND, M. A.; AMPESSAN, C. G. M.; FRIEDERICHS, G. Biomassa residual agrícola e florestal na produção de compactados para geração de energia. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 2, p. 155-164, 2017.
- PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. DE C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A.; OLIVEIRA, A. C. Estudo da degradação térmica da madeira de *Eucalyptus* através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Arvore**, v. 37, n. 3, p.567-576, 2013.
- PONTE, M. R.; GADELHA, A. M. T.; MACHADO, Y. DE L.; LOPES, A. A. S.; MALVEIRA, J. Q.; MAZZETTO, S. E.; LOMONACO, D.; SOUSA RIOS, M. A. de. Blends of sugarcane bagasse with the mango tree and cashew tree's pruning: properties characterization and investigation of their energy potentials. **Revista Matéria**, v. 24, n. 2, 2019.

POTT, A.; POTT, V. J. Plantas nativas potenciais para sistemas agroflorestais em Mato Grosso do Sul. In: SEMINÁRIO SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, Campo Grande, MS. **Palestras...** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. CD ROM.

RAMOS, A. S. **Estratégias de ocupação do espaço e uso de recursos naturais em unidades produtivas da Comunidade de Santana, Cáceres, MT.** 2006. 212 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

REIS, A. A. dos; PROTÁSIO, T. de P.; MELO, I. C. N. A. de; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. de C. O. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 277-290, 2012.

SANTOS, A. M. S. **Carbono ativado por pirólise a partir de biomassa de babaçu (*Orbignya speciosa*) e sua aplicação como adsorvente.** 2016. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Piauí, Teresina.

SANTOS, I. D. **Holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.** 2008. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/3594>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SANTOS, S. A.; CUNHA, C. N. da; TOMÁS, W. M.; ABREU, U. G. P. de; ARIEIRA, J. **Plantas invasoras no Pantanal: como entender o problema e soluções de manejo por meio de diagnóstico participativo.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. 45p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 66).

SCHNEIDER, J. K. **Utilização de biomassas brasileiras para produção de carvão ativado de alta qualidade: caracterização e aplicação como adsorvente.** 2018. 148 f. Tese (Doutorado em Química). Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, J. W. F.; CARNEIRO, R. A. F.; LOPES, J. M. L. M. Da biomassa residual ao briquete: viabilidade técnica para produção de briquetes na microrregião de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 4, p. 624-646, 2017.

SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D.; CROCKER, D. **Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass.** Laboratory Analytical Procedure (LAP), Golden, CO: NREL, 2008. 16 p. Technical Report NREL/TP-510-42618.

WANTZEN, K. M.; CUNHA, C. N. da; JUNK, W. J., GIRARD, P.; ROSSETTO, O. C.; PENHA, J. M.; COUTO, E. G.; BECKER, M.; PRIANTE, G.; TOMAS, W.M.; SANTOS, S. A. Suggestions for a sustainable management concept for the Pantanal. In: JUNK, W. J., DA SILVA, C. J., CUNHA, C. N. da, WANTZEN, K. M. (Ed). **The Pantanal: ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland.** Sofia, Moscou: Pensoft Publishers, 2011. p. 795-832.



Pantanal



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL