

Robson José de Oliveira  
Organizador

# RECURSOS NATURAIS ENERGIA DE BIOMASSA FLORESTAL



editora científica

Robson José de Oliveira  
Organizador

# RECURSOS NATURAIS ENERGIA DE BIOMASSA FLORESTAL

1ª EDIÇÃO



editora científica

2021 - GUARUJÁ - SP

**Copyright© 2021 por Editora Científica Digital**

Copyright da Edição © 2021 Editora Científica Digital

Copyright do Texto © 2021 Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

R311 Recursos naturais [livro eletrônico] : energia de biomassa florestal /  
Organizador Robson José de Oliveira. – Guarujá, SP: Científica  
Digital, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-87196-84-8

DOI 10.37885/978-65-87196-84-8

1. Recursos naturais. 2. Energia. 3. Biomassa. I. Oliveira,  
Robson José de.

CDD 621.4

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

**Parecer e Revisão Por Pares**

Os textos que compõem esta obra foram submetidos para avaliação do Conselho Editorial da Editora Científica Digital, bem como revisados por pares, sendo indicados para a publicação.

O conteúdo dos capítulos e seus dados e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. É permitido o download e compartilhamento desta obra desde que no formato Acesso Livre (Open Access) com os créditos atribuídos aos respectivos autores, mas sem a possibilidade de alteração de nenhuma forma ou utilização para fins comerciais.



editora científica

**EDITORA CIENTÍFICA DIGITAL LTDA**

Guarujá - São Paulo - Brasil

[www.editoracientifica.org](http://www.editoracientifica.org) - [contato@editoracientifica.org](mailto:contato@editoracientifica.org)

# CORPO EDITORIAL

## Direção Editorial

---

Reinaldo Cardoso

João Batista Quintela

## Editor Científico

---

Prof. Dr. Robson José de Oliveira

## Assistentes Editoriais

---

Elielson Ramos Jr.

Erick Braga Freire

Bianca Moreira

Sandra Cardoso

## Bibliotecário

---

Maurício Amormino Júnior - CRB6/2422

## Jurídico

---

Dr. Alandelon Cardoso Lima - OAB/SP-307852



editora científica

# CONSELHO EDITORIAL

MESTRES, MESTRAS, DOUTORES E DOUTORAS

Robson José de Oliveira

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Carlos Alberto Martins Cordeiro

Universidade Federal do Pará, Brasil

Rogério de Melo Grillo

Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Eloisa Rosotti Navarro

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Ernane Rosa Martins

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Brasil

Rossano Sartori Dal Molin

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Carlos Alexandre Oelke

Universidade Federal do Pampa, Brasil

Domingos Bombo Damião

Universidade Agostinho Neto, Angola

Edilson Coelho Sampaio

Universidade da Amazônia, Brasil

Elson Ferreira Costa

Universidade do Estado do Pará, Brasil

Reinaldo Eduardo da Silva Sales

Instituto Federal do Pará, Brasil

Patrício Francisco da Silva

Universidade CEUMA, Brasil

Auristela Correa Castro

Universidade Federal do Pará, Brasil

Dalízia Amaral Cruz

Universidade Federal do Pará, Brasil

Susana Jorge Ferreira

Universidade de Évora, Portugal

Fabricio Gomes Gonçalves

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Erival Gonçalves Prata

Universidade Federal do Pará, Brasil

Gevair Campos

Faculdade CNEC Unai, Brasil

Flávio Aparecido de Almeida

Faculdade Unida de Vitória, Brasil

Mauro Vinicius Dutra Girão

Centro Universitário Ina, Brasil

Clóvis Luciano Giacomet

Universidade Federal do Amapá, Brasil

Giovanna Moraes

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

André Cutrim Carvalho

Universidade Federal do Pará, Brasil

Dennis Soares Leite

Universidade de São Paulo, Brasil

Silvani Verruck

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Osvaldo Contador Junior

Faculdade de Tecnologia de Jahu, Brasil

Claudia Maria Rinhel-Silva

Universidade Paulista, Brasil

Silvana Lima Vieira

Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Cristina Berger Fadel

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Graciete Barros Silva

Universidade Estadual de Roraima, Brasil



editora científica

Carlos Roberto de Lima

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

Wesley Viana Evangelista

Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil

Cristiano Marins

Universidade Federal Fluminense, Brasil

Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva

Escola Superior de Ciências da Santa Casa de Misericórdia de Vitória, Brasil

Daniel Luciano Gevehr

Faculdades Integradas de Taquara, Brasil

Silvio Almeida Junior

Universidade de Franca, Brasil

Juliana Campos Pinheiro

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Raimundo Nonato Ferreira do Nascimento

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Antônio Marcos Mota Miranda

Instituto Evandro Chagas, Brasil

Maria Cristina Zago

Centro Universitário UNIFAAT, Brasil

Samylla Maira Costa Siqueira

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Gloria Maria de Franca

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Carla da Silva Sousa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Dennys Ramon de Melo Fernandes Almeida

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Mário Celso Neves de Andrade

Universidade de São Paulo, Brasil

Juliano Pizzano Ayoub

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

Ricardo Pereira Sepini

Universidade Federal de São João Del-Rei, Brasil

Maria do Carmo de Sousa

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Flávio Campos de Moraes

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Jonatas Brito de Alencar Neto

Universidade Federal do Ceará, Brasil

Reginaldo da Silva Sales

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

Iramirton Figuerêdo Moreira

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

Moisés de Souza Mendonça

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

Bianca Anacleto Araújo de Sousa

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

Pedro Afonso Cortez

Universidade Metodista de São Paulo, Brasil

Bianca Cerqueira Martins

Universidade Federal do Acre, Brasil

Vitor Afonso Hoeflich

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Francisco de Sousa Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Sayonara Cotrim Sabioni

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Thais Ranielle Souza de Oliveira

Centro Universitário Euroamericano, Brasil

Cynthia Mafra Fonseca de Lima

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

Marcos Reis Gonçalves

Centro Universitário Tiradentes, Brasil

Rosemary Laís Galati

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Maria Fernanda Soares Queiroz

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil



Letícia Cunha da Hungria

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

Dioniso de Souza Sampaio

Universidade Federal do Pará, Brasil

Leonardo Augusto Couto Finelli

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

Danielly de Sousa Nóbrega

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre, Brasil

Mauro Luiz Costa Campello

Universidade Paulista, Brasil

Livia Fernandes dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre, Brasil

Sonia Aparecida Cabral

Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, Brasil

Camila de Moura Vogt

Universidade Federal do Pará, Brasil

José Martins Juliano Eustáquio

Universidade de Uberaba, Brasil

Walmir Fernandes Pereira

Miami University of Science and Technology, Estados Unidos da América

Liege Coutinho Goulart Dornellas

Universidade Presidente Antônio Carlos, Brasil

Ticiano Azevedo Bastos

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Jónata Ferreira De Moura

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Daniela Remião de Macedo

Faculdade de Belas Artes da Universidade de Lisboa, Portugal

Francisco Carlos Alberto Fonteles Holanda

Universidade Federal do Pará, Brasil

Bruna Almeida da Silva

Universidade do Estado do Pará, Brasil

Adriana Leite de Andrade

Universidade Católica de Petrópolis, Brasil

Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco

Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Brasil

Claudiomir da Silva Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, Brasil

Fabício dos Santos Ritá

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, Brasil, Brasil

Ronei Aparecido Barbosa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, Brasil

Julio Onésio Ferreira Melo

Universidade Federal de São João Del-Rei, Brasil

Juliano José Corbi

Universidade de São Paulo, Brasil

Alessandra de Souza Martins

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho

Universidade Federal do Cariri, Brasil

Thadeu Borges Souza Santos

Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Francine Náthalie Ferraresi Rodriguess Queluz

Universidade São Francisco, Brasil

Maria Luzete Costa Cavalcante

Universidade Federal do Ceará, Brasil

Luciane Martins de Oliveira Matos

Faculdade do Ensino Superior de Linhares, Brasil

Rosenery Pimentel Nascimento

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Lívia Silveira Duarte Aquino

Universidade Federal do Cariri, Brasil

Irlane Maia de Oliveira

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Xaene Maria Fernandes Mendonça

Universidade Federal do Pará, Brasil



Thaís de Oliveira Carvalho Granado Santos

Universidade Federal do Pará, Brasil

Fábio Ferreira de Carvalho Junior

Fundação Getúlio Vargas, Brasil

Anderson Nunes Lopes

Universidade Luterana do Brasil, Brasil

Iara Margolis Ribeiro

Centro Universitário Boa Viagem, Brasil

Carlos Alberto da Silva

Universidade Federal do Ceará

Keila de Souza Silva

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

Francisco das Chagas Alves do Nascimento

Universidade Federal do Pará, Brasil

Réia Sílvia Lemos da Costa e Silva Gomes

Universidade Federal do Pará, Brasil

Priscyla Lima de Andrade

Centro Universitário UniFBV, Brasil

Aleteia Hummes Thaines

Faculdades Integradas de Taquara, Brasil

Darlindo Ferreira de Lima

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Sílvia Raquel Santos de Moraes

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil



# APRESENTAÇÃO

Esta obra constituiu-se a partir de um processo colaborativo entre professores, estudantes e pesquisadores que se destacaram e qualificaram as discussões neste espaço formativo. Resulta, também, de movimentos interinstitucionais e de ações de incentivo à pesquisa que congregam pesquisadores das mais diversas áreas do conhecimento e de diferentes Instituições de Educação Superior públicas e privadas de abrangência nacional e internacional. Tem como objetivo integrar ações interinstitucionais nacionais e internacionais com redes de pesquisas que tenham a finalidade de fomentar a formação continuada dos profissionais da educação, por meio da produção e socialização de conhecimentos das diversas áreas dos Saberes. Agradecemos aos autores e a organizadora pelo empenho, disponibilidade e dedicação para o desenvolvimento e conclusão desta obra. Esperamos também que esta obra sirva de instrumento didático-pedagógico para estudantes, professores dos diversos níveis de ensino em seus trabalhos e demais interessados pela temática.

Editora Científica Digital



editora científica

# SUMÁRIO

## CAPÍTULO 01

ASSINATURAS RADIOATIVAS NA SEDIMENTAÇÃO DA PORÇÃO CONTINENTAL DA BACIA DE CAMPOS - RJ

Hildeberto Ferreira de Macedo Filho; Jéssica Araújo de Azevedo; Ingrid Martins Alves; Andrea A. Ferreira; Marcelo S. Salomão

DOI: 10.37885/210203128 ..... 14

## CAPÍTULO 02

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS E AVALIAÇÃO DE SEUS PRODUTOS DE PIRÓLISE

Claudia Zubiolo; Lucas Lemos Pereira; Hortência E. P. Santana; Lisiane Santos Freitas; Denise S. Ruzene; Daniel P. Silva

DOI: 10.37885/210203264 ..... 23

## CAPÍTULO 03

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO TALO DE GIRASSOL E SABUGO DE MILHO PARA PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE

Hortência Elucielly Pereira Santana; Tammires Lorena Costa Santana; Rafael Mota de Aragão Lima; Daniel Pereira Silva; Isabelly Pereira Silva; Denise Santos Ruzene

DOI: 10.37885/201202666 ..... 36

## CAPÍTULO 04

CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DE MADEIRA DE *E. GRANDIS*, *PINUS SP.*, *T. VULGARIS* E *P. LECOINTEI*

Matheus Couto Crisóstomo; Macksuel Fernandes da Silva; Ailton Teixeira do Vale; Bruno Sant'Anna Chaves

DOI: 10.37885/210203270 ..... 50

## CAPÍTULO 05

CONFECÇÃO DE PLACA POLIMÉRICA A PARTIR DA TECNOLOGIA *WOOD-PLASTIC COMPOSITES*, *WPC*, E SUA EFICIÊNCIA TÉRMICA

Alexandre Rodriguez Murari; Victor José dos Santos Baldan; Gabriel de Castro Dottori; Javier Mazariegos Pablos; Eduvaldo Paulo Sichieri

DOI: 10.37885/201202507 ..... 63

## CAPÍTULO 06

EFEITO DO SUBSTRATO E LUMINOSIDADE NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *MIMOSA CAESALPINIAEFOLIA*

Luiz Carlos da Silva Boaventura; Lorena dos Santos Almeida Silva; Neivesson Brito Santos

DOI: 10.37885/210203378 ..... 73

# SUMÁRIO

## CAPÍTULO 07

EFEITO DO TEMPO NA BIOMASSA DE PLANTAS DE *LUEHEA DIVARICATA* MART. & ZUCC. (MALVACEAE), SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTOS

Aldeize Santos de Sá; César Augusto Guimarães Finger; Luciane Almeri Tabaldi

DOI: 10.37885/201202615 ..... 82

## CAPÍTULO 08

EFEITO DO TRANSPORTE NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CARVÃO DE GALHOS DE MAÇARANDUBA SOB DIFERENTES TEMPERATURAS

Cezar Dias Cardoso Júnior; Fernando Wallase Carvalho Andrade; Aécio Dantas de Sousa Júnior; Victor Hugo Pereira Moutinho

DOI: 10.37885/201202588 ..... 93

## CAPÍTULO 09

EFEITO DOS MANEJOS CONVENCIONAL E AGROFLORESTAL SOB A BIOMETRIA DE CULTIVARES DE ABÓBORA

Francisca Aline da Silva Andrade; Rafael Santiago da Costa; Letícia Kenia Bessa de Oliveira; Raimundo Gleidison Lima Rocha; José Abel Aguiar da Silva Paz; Beatriz de Abreu Araújo; Francisca Edineide Lima Barbosa; Aiala Vieira Amorim

DOI: 10.37885/210303524 ..... 107

## CAPÍTULO 10

GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL DE SEMENTES DE *ADENANTHERA PAVONINA* L. EM DIFERENTES TIPOS DE SUBSTRATOS

Edja Santos de Araújo; Lucas Teles Bezerra; Déborah Monteiro Barbosa; Gustavo Belchior de Barros; Allaiane Fiana Vieira da Silva; Aldo Luiz Maximino Romeiro; Mikael Oliveira da Silva

DOI: 10.37885/201202451 ..... 118

## CAPÍTULO 11

GÁS NATURAL: CENÁRIO DA PRODUÇÃO E PROCESSOS DE TRATAMENTO

Lucas Freitas de Lima e Freitas; Ronney José Oliveira Santos; Marília Rafaela Oliveira Santos; Fabiane Santos Serpa; Roberto Oliveira Macêdo Júnior

DOI: 10.37885/210203413 ..... 129

# SUMÁRIO

## CAPÍTULO 12

### POTENCIALIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE EUCALIPTO

Ricardo Marques Barreiros; Gustavo Paes Ribeiro; Kelly Bossardi Dias; Cantídio Fernando Gouvêa; Alessandra Maria Ferreira Reis; Gilmar Correia Silva

DOI: 10.37885/210203332 ..... 147

## CAPÍTULO 13

### PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS SUÍNOS E LODO DE FRIGORÍFICO

Tanize Kohlhoff da Silva; Franciele da Silva Bruckmann; Theodoro da Rosa Salles; Juliana Ferreira Soares; Cristiano Rodrigo Bohn Rhoden

DOI: 10.37885/201202649 ..... 166

## CAPÍTULO 14

### PRODUÇÃO DO ETANOL LIGNOCELULÓSICO PROVENIENTE DA BANANICULTURA: MÉTODOS DE PRÉ- TRATAMENTO UTILIZADOS

Isaac Anderson Alves de Moura; Joelda Dantas; Nyara Aschoff Cavalcanti Figueirêdo; Ingrid Lélis Ricarte Cavalcanti; Marta Célia Dantas Silva

DOI: 10.37885/210203155 ..... 177

## CAPÍTULO 15

### QUALIDADE DE BRIQUETES PRODUZIDOS A PARTIR DO MIX DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL COM EUCALIPTO

Bianca Moreira Barbosa; Humberto Fauller de Siqueira; Carla Priscilla Távora Cabral; Welliton Lelis Cândido; Carlos Miguel Simões da Silva; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro; Alex Ramos Barbosa

DOI: 10.37885/201202494 ..... 186

## CAPÍTULO 16

### SÍNTESE E QUEBRA DE EMULSÃO ÓLEO EM ÁGUA(O/A) VIA AQUECIMENTO E ADITIVAÇÃO COM NONILFENOL POLIETOXILADO

Geraldine Angélica Silva da Nóbrega; Heithor Syro Anacleto Almeida; Diego Angelo de Araújo Gomes

DOI: 10.37885/201202419 ..... 198

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 210**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 211**

“

# Assinaturas radioativas na sedimentação da porção continental da Bacia de Campos - RJ

▮ Hildeberto Ferreira de **Macedo Filho**  
UFAM

▮ Jéssica Araújo de **Azevedo**  
UEA

▮ Ingrid Martins **Alves**  
UEA

▮ Andrea A. **Ferreira**  
UERJ

▮ Marcelo S. **Salomão**  
UERJ

# RESUMO

A região Cabo Frio no Estado do Rio de Janeiro, é essencialmente preenchida de sedimentos do quaternário, que correspondem ao setor oriental do litoral do referido Estado, englobando o Parque Ecológico do Mico-Leão Dourado, dentro da Bacia Hidrográfica do Rio São João. Foram estudados perfis de radiação gama, onde os elementos Urânio, Tório e Potássio mostraram assinaturas radioativas da sedimentação, fator importante no conhecimento da deposição na Bacia de Campos. A radioatividade natural é usada no mapeamento geológico, nas análises minerais e em ambientes de bacias sedimentares para a pesquisa de petróleo e gás. A sua aplicação se deve às características de alguns radioisótopos (núcleos instáveis), cujas propriedades nucleares permitem em seu decaimento transformarem-se em isótopos de outros elementos, com emissão de partículas e liberação de energia. As principais fontes de radiação são o Potássio ( $K^{40}$ ), a série de decaimento do Urânio ( $U^{238}$ ) e a série do Tório ( $Th^{232}$ ). Esses elementos podem ser detectados convenientemente e fornecem informações sobre o meio, permitindo também a aplicação em estudos de perfilagens de poços de petróleo e gás. Neste trabalho, foi usado o gamaespectrômetro portátil GR320, cujos dados após o processamento e interpretação, mostraram a predominância do potássio nos lineamentos geológicos, com a distribuição consistente do tório e a dispersão do urânio.

**Palavras-chave:** Bacia de Campos, Onshore, Gamaespectrometria.

## INTRODUÇÃO

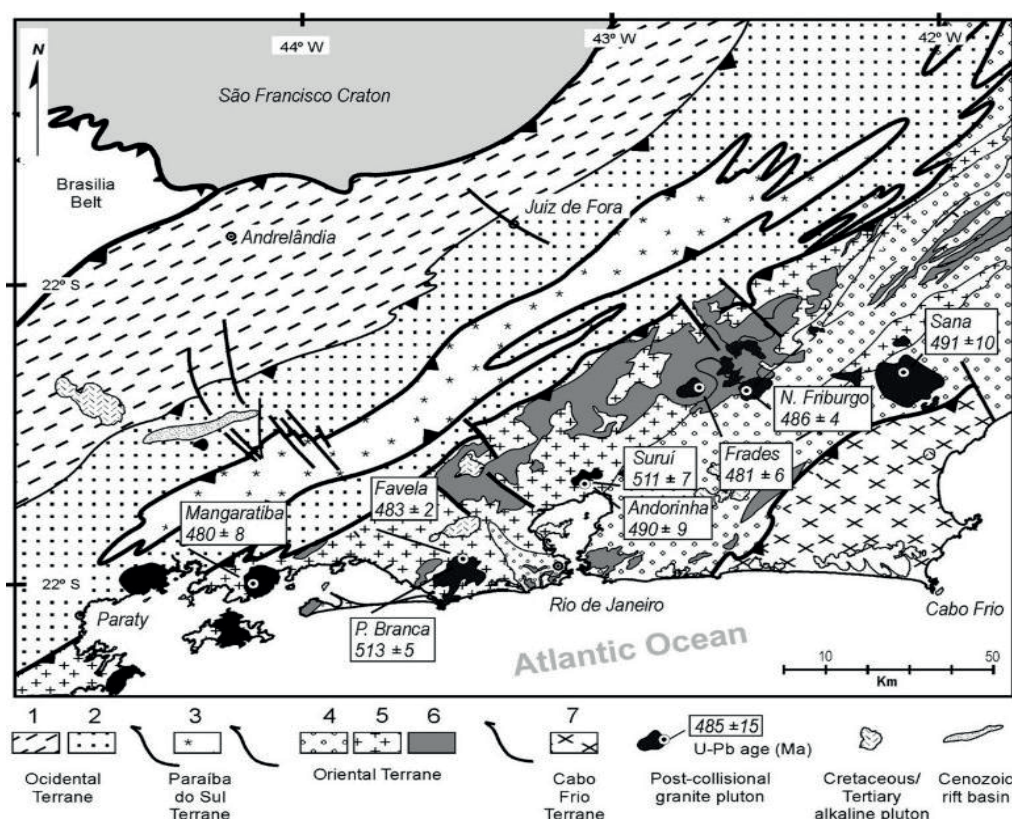
A Bacia de Campos ocupa uma área de aproximadamente 100.000 km<sup>2</sup> e se estende do estado do Espírito Santo até o litoral norte do estado do Rio de Janeiro, é a principal província petrolífera do país, contribuindo para mais de 80% da produção petrolífera brasileira (SOUZA; TERRA, 2020). A evolução geológica da Bacia de Campos está relacionada ao rifteamento Mesozóico que separou a África da América do Sul (CASTANHA, 2020).

Na segunda metade da década de 1970 houve as primeiras descobertas na Bacia de Campos e em 1974 foi descoberto o campo de Garoupa em carbonatos do Albiano pelo poço 1-RJS-9A-RJ e na mesma época, foram descobertos os campos de Namorado, Bonito, Badejo, Pargo e Pampo (CASTANHA, 2020; SANTOS et al., 2017). O primeiro campo gigante do Brasil o campo de Namorado descoberto em turbiditos do Cenomaniano (CASTANHA, 2020).

A região costeira do Estado do Rio de Janeiro é essencialmente constituída de sedimentos de idade Quaternária e tem como fator de formação regional as flutuações no nível do mar do quaternário (FERNANDEZ et al., 2017). No município de Cabo Frio, que está situado na porção sudeste do estado, localiza-se o Parque Ecológico do Mico-Leão Dourado.

A geologia regional da área de investigação (Figura 1) é constituída por gnaisses granitóides, paragneisses e granitos que fazem parte do Terreno Oriental da Faixa Ribeira, o qual representa a raiz de um orógeno colisional que se desenvolveu durante o Ciclo Brasileiro (TUPINAMBÁ; TEIXEIRA; HEILBRON, 2012). A área de estudo está contida no Domínio Tectônico Cabo Frio, o qual corresponde a uma região do litoral do Estado do Rio de Janeiro (Brasil) que contém feições geológicas atípicas em comparação com as unidades adjacentes da margem continental brasileira (SCHMITT et al., 2016). Seu limite está definido a NW por uma falha de empurrão com direção NE- SW, que a separa do Terreno Oriental.

**Figura 1.** Mapa de esboço tectônico do seguimento central da Faixa Ribeira.



Fonte: (VALERIANO et al., 2011)

A geologia metassedimentar é explicada pelas variações do nível relativo do mar durante o quaternário, que depositou sedimentos de ambiente costeiro em diversos cordões litorâneos pretéritos e, em casos de afogamentos desses cordões, intercalou os mesmo com sedimentos de composição mais fina em uma camada de aproximadamente 20 metros (ARTUSI; FIGUEIREDO JR., 2007).

A gamaespectrometria tem sido utilizada como apoio ao mapeamento geológico regional e à prospecção mineral de radioelementos, como o urânio. A introdução de gamaespectrômetros de alta resolução e a transformação das contagens por segundo (cps) em % de K, e U (urânio equivalente) e Th (tório equivalente), em ppm, têm permitido extrair informações valiosas dos dados gamaespectrométricos em correspondência à integração de dados exploratórios multifonte. Além disso, o notável avanço das técnicas de geoprocessamento em ambiente georreferenciado, integrado aos sistemas de processamento digital de imagens (PDI) e ao uso de posicionamento por satélite (*Global Positioning System* – GPS), alavancaram a análise e o uso de informações radiométricas, tanto aéreas como terrestres.

Neste trabalho foi utilizado o equipamento Gamaespectrômetro modelo RS-230-BGO (Figura 2), da empresa *Radiation Solution*, disponibilizado pelo Laboratório de Exploração Mineral (LEXMIN) da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

**Figura 2.** Gamaespectrômetro modelo RS-230-BGO.



Fonte: (MORI; LEITE, 2011)

O equipamento é composto por um único módulo, com detector embutido, constituído por um cristal de iodeto de sódio ativado por tálio (NaI(Tl)), com volume de 124 cm<sup>3</sup>, acoplado a uma unidade fotomultiplicadora. O RS-230 fornece leituras em % de K e ppm de U e Th.

## OBJETIVO

Avaliar as assinaturas radioativas na sedimentação da porção continental da Bacia de Campos – RJ.

## MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram realizados: pesquisa bibliográfica sobre geologia e geomorfologia da área; aplicação de métodos gamaespectrométricos aéreos e terrestres; técnicas de georreferenciamento de dados de campo. As atividades de campo foram planejadas visando a futura integração dos dados radiométricos com outros levantamentos geofísicos realizados (Radar de Penetração no Solo, Eletorresistividade).

A radioatividade dos solos está diretamente relacionada ao material originário que o gerou, bem como a processos que atuaram na sua formação. A metodologia considerou as características e a mobilidade dos radioelementos. O urânio, como exemplo, ocorre em baixa concentração na crosta terrestre (~3ppm), sendo quimicamente dominado por seus estados de valência U+4 e U+6. O primeiro estado geralmente está contido em minerais não solúveis, enquanto o segundo associa-se com ânions nos carbonatos, sulfatos e fosfatos para formarem espécies solúveis (DICKSON; SCOTT, 1997). A mobilidade do U+6 é modificada pela adsorção a óxidos hidratados de ferro, minerais de argila e colóides, como também pela transformação em minerais de U+4 nos ambientes redutores.

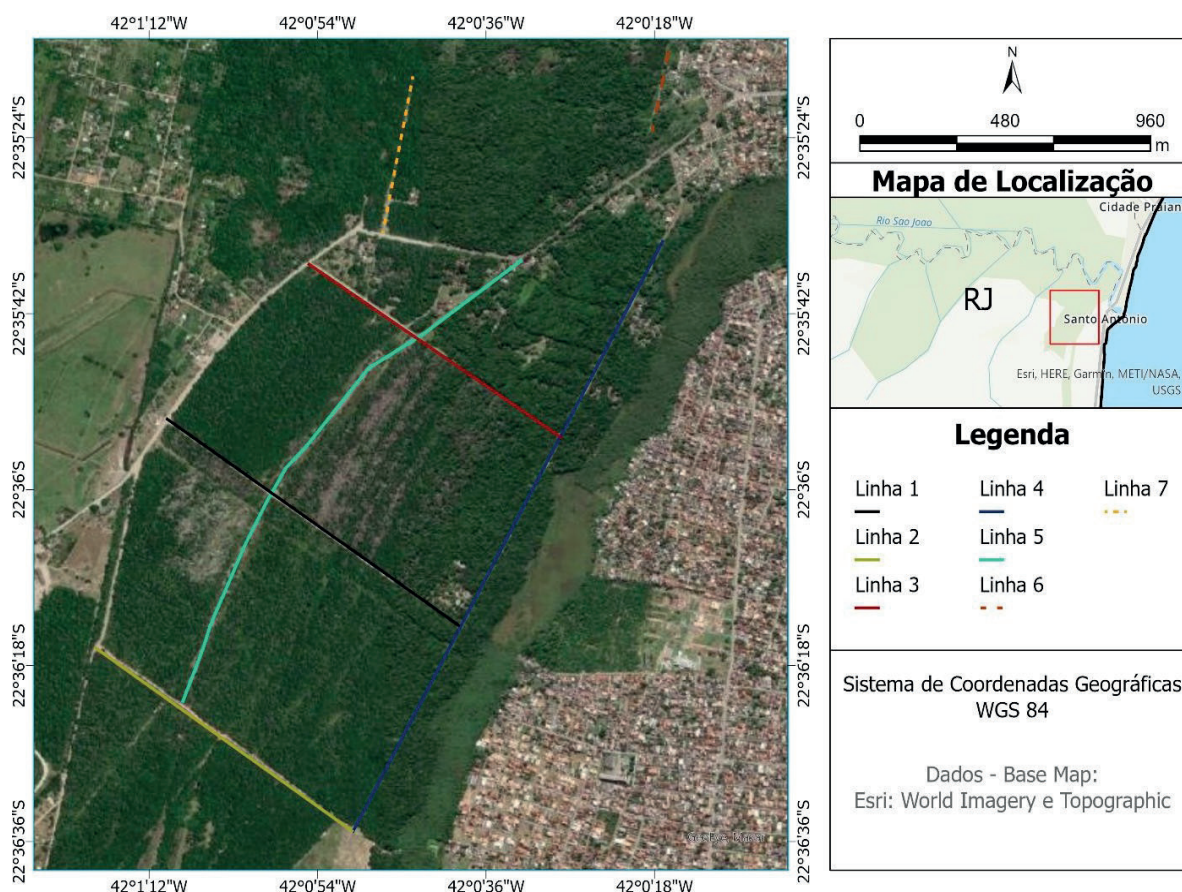
Nas rochas, o urânio ocorre como óxidos e silicatos, uraninita e uranotorita, e, principalmente, em minerais como a monazita, o xenotímeo e o zircão. O clima quente e úmido reúne as condições necessárias para a lixiviação do urânio das rochas. Neste tipo de clima a grande circulação de águas, em geral ácidas, com oxigênio e dióxido de carbono dissolvidos,

é determinante para que os minerais com U, exceto os refratários, sejam hidrolisados, oxidados e lixiviados na forma do íon hidroxila  $(\text{UO}_2)_2^{2+}$ , que em ambiente oxidante tem alta mobilidade, passando para a solução do solo (WEIJDEN; WEIJDEN, 1995).

O levantamento gamaespectrométrico reflete a variação geoquímica do K, do U e do Th nos 30 a 50 cm da superfície da terra. Essa fina camada é sujeita aos efeitos do intemperismo, que conduz à perda de K em todos os tipos de rochas e, para as rochas félsicas, perdas também, de U e Th. A interpretação do grau de intemperismo e as respostas gama requerem a compreensão das características dos radioelementos na rocha mãe, bem como do material intemperizado.

As aquisições geofísicas foram realizadas ao longo das estradas secundárias que atravessam o Parque do Mico Leão Dourado (Figura 3). No total foram percorridos 4,5 km, e obtidas 300 medidas. O tempo de cada leitura foi de 2 minutos. Os resultados foram gravados no equipamento e anotados em caderneta de campo. Cada ponto de aquisição foi georreferenciado através de GPS (*Global Position System*), com datum horizontal WGS84.

**Figura 3.** Seções de aquisição.

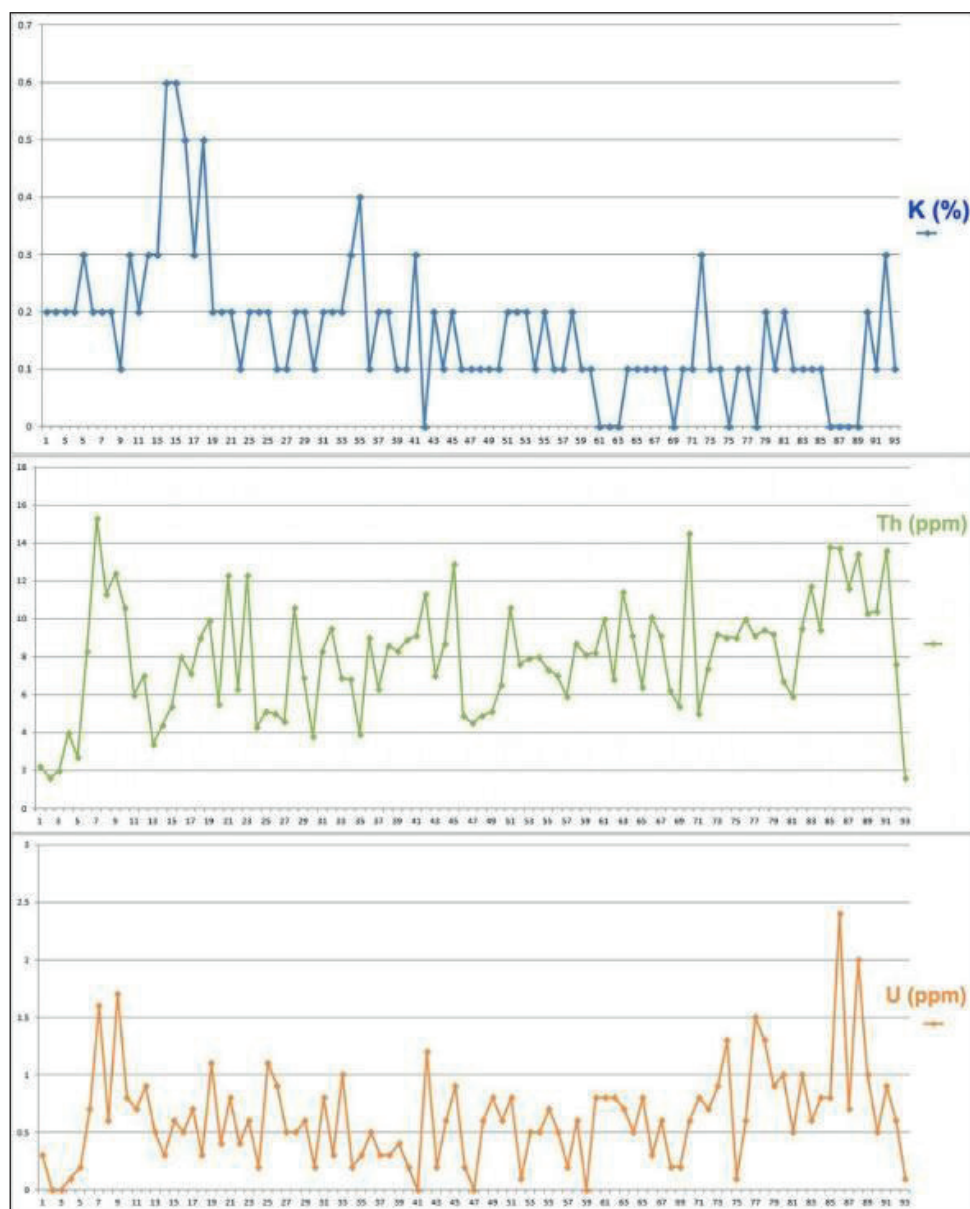


**Fonte:** Elaborado pelos autores (2021).

## RESULTADOS

Os depósitos são formados por sedimentos continentais (fluviais e pantanosos), de paleocanais, lagunares e de fundo de baía (MARTIN et al., 1997). A seção geofísica gamaespectrométrica (Figura 4) exibe variações dos elementos U, K e Th considerando todas as seções.

**Figura 4.** Seções de Gamaespectrometria.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

## DISCUSSÃO

Os valores do elemento U oscilam entre 0 e 2.3 ppm. Os valores do elemento Th oscilam entre 1.8 e 15.3 ppm. Os valores do elemento K oscilam entre 0 e 0.6 %. Os climas subtropical e tropical reúnem as condições necessárias para a lixiviação e consequente mobilização do

urânio no subsolo. O elemento tório pode ocorrer nos minerais alanita, monazita, xenotímeo e zircão, em concentrações maiores que 1000 ppm ou em quantidades-traço em outros minerais constituintes das rochas. Os minerais monazita e zircão são estáveis durante o intemperismo e podem acumular-se em depósitos de minerais pesados. O tório liberado durante o processo de intemperismo pode ser retido em óxidos e hidróxidos de Fe e Ti e em argilas. O elemento Th pode também ser transportado quando adsorvido em colóides argilosos e óxidos de ferro. As ocorrências de K mais comuns são observadas em minerais como os feldspatos potássicos e micas (biotita/muscovita, com 8% de K). O incremento deste radionuclídeo nas porções mais baixas do terreno (aluvões) pode ser explicado pela migração a partir de outras litologias.

## **CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo evidencia a complexidade do método gamaespectrométrico devido aos diversos fatores físico/químicos que influenciam nas medidas. Destaca-se a importância de conhecer as condições de cada ponto de amostragem, com uma análise do nível de alteração da rocha, umidade, espessura da camada de solo, além do entendimento do sistema de drenagem local.

A interpretação do comportamento dos radionuclídeos U, Th e K na área estudada permitiram uma caracterização do solo, incluindo a porosidade associada. A área apresenta característica predominantemente arenosa, com níveis restritos argilosos. O tratamento dos dados gamaespectrométricos permitiu caracterizar melhor as assinaturas radiométricas dos solos (granulometria). Os maiores valores de K indicam um solo com presença de feldspatos potássicos e micas (biotita/muscovita). Estes resultados podem ser replicados para outras áreas da porção onshore da Bacia de campos, para caracterização dos sedimentos quaternários e metassedimentos. A integração dos dados terrestres com aqueles provenientes de aquisições aéreas torna-se uma importante etapa futura de investigação. Além disso, a incorporação dos dados geológicos e geomorfológicos pode permitir a correlação destas informações com as respostas radiométricas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Laboratório de Exploração Mineral (LEXMIN) da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), pela cessão dos equipamentos geofísicos e de posicionamento global (GPS).

## ■ REFERÊNCIAS

1. ARTUSI, L.; FIGUEIREDO JR., A. G. DE. Sismografia rasa da plataforma continental de Cabo Frio Araruama - RJ. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. Supl. 1, p. 7–16, 2007.
2. CASTANHA, D. S. **Análise econômica de projetos de exploração e produção de óleo e gás: um estudo de caso na Bacia de Campos**. Rio de Janeiro, Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.
3. DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 187–200, 1997.
4. FERNANDEZ, G. B. et al. Classificação morfológica das dunas costeiras entre o cabo frio e o cabo Búzios, litoral do estado do Rio De Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, p. 595–622, 2017.
5. MARTIN, L. et al. **Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo**. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo, 1997.
6. MORI, R. T.; LEITE, E. P. Gamaespectrometria De Afloramentos Do Grupo Tubarão, Bacia Do Paraná. **XIX Congresso Interno de Iniciação Científica**, 2011.
7. SANTOS, M. DOS et al. Incidentes de descarga de óleo, substâncias nocivas ou perigosas na bacia de campos: uma análise à luz do método de análise preliminar de risco. **Revista Da Universidade Vale Do Rio Verde**, v. 15, n. 1, p. 94–105, 2017.
8. SCHMITT, R. DA S. et al. The tectonic significance of the Cabo Frio Tectonic Domain in the SE Brazilian margin: A Paleoproterozoic through Cretaceous saga of a reworked continental margin. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. Suppl 1, p. 37–66, 2016.
9. SOUZA, J.; TERRA, D. Migrações, pendularidades e mercado de trabalho no segmento upstream da indústria do petróleo na bacia de campos. **Eure**, v. 46, n. 137, p. 157–180, 2020.
10. TUPINAMBÁ, M.; TEIXEIRA, W.; HEILBRON, M. Evolução Tectônica e Magmática da Faixa Ribeira entre o Neoproterozoico e o Paleozoico Inferior na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 35–2, p. 140–151, 2012.
11. VALERIANO, C. DE M. et al. U-Pb LA-MC-ICPMS geochronology of Cambro-Ordovician post-collisional granites of the Ribeira belt, southeast Brazil: Terminal Brasileiro magmatism in central Gondwana supercontinent. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 32, n. 4, p. 416–428, 2011.
12. WEIJDEN, C. H. VAN DER; WEIJDEN, R. D. VAN DER. Mobility of major, minor and some redox-sensitive trace elements and rare-earth elements during weathering of four granitoids in central Portugal. **Chemical Geology**, v. 125, n. 3–4, p. 149–167, 1995.

“

# Caracterização de resíduos lignocelulósicos e avaliação de seus produtos de pirólise

- I Claudia **Zubiolo**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS
- I Lucas Lemos **Pereira**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS
- I Hortência E. P. **Santana**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS
- I Lisiane Santos **Freitas**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS
- I Denise S. **Ruzene**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS
- I Daniel P. **Silva**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

# RESUMO

A conversão de resíduos agrícolas e agroindustriais em produtos com potencial energético por pirólise constitui um dos meios mais eficientes para diminuir a dependência dos derivados fósseis como fonte de energia. Nesse processo a biomassa é termoquimicamente degradada em ausência de oxigênio e ao final são formadas frações de bio-óleo, biogás e biocarvão precursoras para a produção de biocombustíveis e compostos importantes na indústria química. Embora esses três produtos sejam característicos da pirólise, seus rendimentos dependem das particularidades do processo, principalmente em relação aos resíduos lignocelulósicos, que devido a diversidade de espécies e composição se comportam de maneiras distintas diante dos fatores da operação. **Objetivo:** caracterização lignocelulósica dos resíduos de sabugo de milho (SM) e caule de girassol (CG), avaliação dos produtos obtidos da pirólise dos mesmos e a influência dos componentes lignocelulósicos (celulose (C), hemicelulose (H) e lignina (L)) nos rendimentos. **Métodos:** a composição das biomassas foi estimada a partir da hidrólise das amostras em  $H_2SO_4$  72% e posterior análise em espectrofotômetro UV/Visível e em cromatógrafo de alta eficiência, enquanto a pirólise foi performada com 20 g das amostras em reator de leito fixo a 500°C. **Resultados:** os rendimentos do SM (26,7% C, 23,2 H e 36,1% L) foram de 34% bio-óleo, 31,2% biocarvão e 34,8% biogás e do CG (37,2% C, 13,4 H e 15,8% L) de 18,6% bio-óleo, 34,8% biocarvão e 46,6% biogás. **Conclusão:** os dois resíduos se mostraram como boas alternativas para diversificar o setor energético, entretanto com diferenças nas composições relacionadas a composição das frações lignocelulósicas.

**Palavras-chave:** Biomassa Lignocelulósica, Caracterização Lignocelulósica, Pirólise.

## INTRODUÇÃO

Os problemas econômicos, sociais e ambientais decorrentes da exploração constante dos combustíveis fósseis como principal fonte da energia tem causado um alerta na população mundial quanto a urgência de expandir a implementação de energias mais limpas e sustentáveis (SDSN, 2019; IEA, 2020). Sabe-se que a maior parte da energia consumida é proveniente da queima de derivados fósseis, que são recurso limitado e responsáveis pela liberação de gases poluentes que impulsionam severas mudanças climáticas (BP, 2020; MURDOCK *et al.*, 2020; FRIEDLINGSTEIN *et al.*, 2020). Contudo, para realizar a transição do panorama energético mundial de maneira eficiente, são cruciais o desenvolvimento de alternativas que sejam ambientalmente coerentes, garantam acessibilidade e capazes de atender a demanda (SDSN, 2019; WEC, 2020). A reflexo desta preocupação, no decorrer das últimas décadas, o investimento em políticas de apoio a energias renováveis modernas (solar, eólica, hidroelétricas, biomassa, nuclear e geotérmica) tem se tornado indispensável na busca por um futuro com baixa emissão de carbono (MURDOCK *et al.*, 2020; IEA, 2020).

Dentre as opções, a biomassa, que constitui de toda matéria orgânica de origem vegetal ou animal, tem se sobressaído como uma das alternativas com maior potencial de colaboração (DHYANI e BHASKAR, 2018; RAUD *et al.*, 2019). Sua abundância, possibilidade de estocagem, baixo custo, fácil disponibilidade e abrangente variedade, em particular nos resíduos lignocelulósicos agrícolas e agroindustriais de culturas como do milho, soja, cana-de-açúcar, arroz e girassol, são atributos que lhe conferem destaque no uso para fins energéticos (DHYANI e BHASKAR, 2018; EPE, 2018). Estima-se que no Brasil, presente no ranking dos maiores produtores agrícola do mundo, em 2017 o pós-colheita resultou em cerca de 521 milhões de toneladas de resíduos gerados, e embora uma parcela seja reaproveitada, em virtude da larga escala, grande parte dos subprodutos ainda são desperdiçados (EPE, 2019).

Há diversas possibilidades de se aproveitar a energia contida nesses resíduos, desde a queima direta até rotas mais tecnológicas e sofisticadas que convertem a biomassa em biocombustíveis líquidos, sólidos ou gasosos energeticamente melhor e de maior valor agregado (MURDOCK *et al.*, 2020). Durante a pirólise, por exemplo, ao ser aquecida na ausência parcial ou total de  $O_2$ , os componentes lignocelulósicos que integram a biomassa são degradados em gases não condensáveis (biogás), resíduo sólido (biocarvão) e uma fração líquida, escura e viscosa denominada bio-óleo (BASU, 2018). O bio-óleo, mistura complexa de água e compostos orgânicos, é o principal produto da pirólise e potencial substituto do petróleo, participando diretamente na geração de energia (elétrica e térmica) e como componente na produção de combustíveis e uma série de produtos químicos (VAMVUKA, 2011; BASU, 2018). O gás de pirólise, composto majoritariamente por  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$  e metano, mesmo

não sendo o maior interesse também pode ser aproveitado como agente fluidizante ou equivalente do gás natural (ALVAREZ *et al.*, 2015). A aplicação do biocarvão ainda é limitada, porém seu alto teor de carbono lhe confere a característica de sequestrador de carbono que é aproveitada no setor agrícola para fertilização/melhoria do solo (ALVAREZ *et al.*, 2015).

No que se refere a transformação termoquímica da biomassa lignocelulósica via pirólise, múltiplos parâmetros operacionais afetam o volume e qualidade dos produtos finais sobretudo o tempo de residência, temperatura de pirólise e taxa de aquecimento (CHEN *et al.*, 2018; BASU, 2018). Outro fator que afeta diretamente o rendimento dos biocombustíveis é o tipo de alimentação: material lignocelulósico é composto predominantemente por celulose, hemicelulose e lignina, macromoléculas que se comportam de maneiras distintas quando pirolisadas, e por consequência a proporção em que esses constituintes ocorrem na biomassa impacta nas parcelas de bio-óleo, biogás e biocarvão (ALVAREZ-CHAVEZ *et al.*, 2019). Deste modo, uma vez que a distribuição dos componentes lignocelulósicos e as propriedades específicas da matéria-prima dependem de aspectos como espécie da planta e condições de cultivo é de suma importância analisar como diferentes tipos de biomassas reagem diante da pirólise e de que forma os parâmetros do processo podem ser ajustados para otimizar a obtenção dos produtos (ARANSIOLA *et al.*, 2020; CHARIS, DANHA e MUZENDA, 2020).

Perante o que foi exposto, o presente trabalho teve como finalidade realizar a pirólise do sabugo de milho e caule de girassol *sem tratamento*, resíduos lignocelulósicos, para avaliar seus respectivos potenciais na produção de bio-óleo, biogás e biocarvão, e investigar sua relação com a composição lignocelulósica destas biomassas. Ambos os resíduos são provenientes de duas expressivas commodities: o milho, cereal mais cultivado em escala global (13% do total de safra), e girassol, que atualmente representa 9% da colheita de oleaginosas no mundo (FAO, 2020).

## OBJETIVO

Analisar os produtos obtidos na pirólise do sabugo de milho e caule de girassol quanto ao potencial para produção de biocombustíveis e estudar a relação dos respectivos rendimentos com a composição lignocelulósica das respectivas biomassas utilizadas.

## METODOLOGIA

### Materiais

As amostras de sabugo de milho e caule de girassol, avaliadas nesse trabalho, foram coletadas da zona rural do estado de Sergipe (Brasil). A princípio os materiais obtidos foram

secos a 45°C em estufa de ar circulante por 24h, assegurando um limite máximo de umidade de 10%, posteriormente foram cortados em pedaços menores, moídos em moinho de facas (obtendo-se uma granulometria de 40 *mesh*) e estocados em pequenas porções.

### **Caracterização dos resíduos lignocelulósicos**

Para mensurar os carboidratos, ácidos orgânicos e lignina das biomassas, amostras de 2,0 g de sabugo de milho foram tratadas com 10mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% a 45°C por 7 min e autoclavadas à 121°C por 30min (GOUVEIA *et al.*, 2009); enquanto para o talo de girassol amostras de 0,3g foram colocadas em tubos de ensaio juntamente com 3mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% a 30°C por 60min (SLUITER *et al.*, 2012). Após a descompressão da autoclave, os frascos foram retirados e resfriados à temperatura ambiente, sendo a mistura reacional filtrada e completada com água destilada. As soluções resultantes foram guardadas para análises posteriores de lignina solúvel e carboidratos.

O material insolúvel, retido no papel de filtro (sabugo de milho) ou cadinho (talo de girassol) foi lavado com água destilada e seco em estufa a 110°C até peso constante, sendo a porcentagem de lignina insolúvel calculada em relação à massa de material lignocelulósico seco. A quantidade de lignina solúvel no hidrolisado em meio ácido foi quantificada conforme metodologia descrita por Gouveia *et al.* (2009) (sabugo de milho) e por Sluiter *et al.* (2012) (talo de girassol), por leituras em um espectrofotômetro UV/Visível com absorbância a 280 nm. Assim, a lignina total foi determinada pela soma da lignina insolúvel com a lignina solúvel.

Os teores de umidade do sabugo de milho e caule de girassol foram obtidos pela diferença das massas *in natura* e após secagem em estufa conforme a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008).

A determinação de carboidratos e ácidos orgânicos foi realizada em cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE) e com detector de índice de refração. Para as amostras de sabugo de milho foi utilizada uma coluna Biorad Aminex HPX-87H, equipada com uma pré-coluna, como fase móvel foi utilizado H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005mol/L com fluxo de 0,6mL/min, a 45°C. Para o talo de girassol as amostras foram neutralizadas com carbonato de cálcio a pH entre 5-6 e injetadas em uma coluna Supelcogel – Pb, 30 cm x 7,8mm equipada com pré-coluna. A fase móvel empregada foi água deionizada com fluxo de 0,5mL/min, a 85°C. As concentrações foram definidas a partir das curvas de calibração obtidas com as soluções padrões dos compostos puros em diferentes concentrações.

### **Processo de pirólise**

O processo de pirólise das biomassas foi realizado em duplicata utilizando-se 20 g de biomassas, previamente secas, em um reator de aço inox equipado com um forno de leito

fixo, refratário, aquecido eletricamente por resistência e controlado por um termopar. O gás de arraste utilizado foi nitrogênio em fluxo de 1,0mL/min e a temperatura interna do reator de 500°C. Deste processo foram obtidos como produtos a fração líquida (bio-óleo+água) recuperada em tubos condensadores; o resíduo sólido (biocarvão) retido, que foi pesado e armazenado; e os gases não condensáveis (bio gás), com quantidade calculada pela diferença das frações anteriores. Os experimentos descritos foram realizados no Laboratório de Análise de Compostos Poluentes (LCP), da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

## RESULTADOS

### Caracterização dos resíduos lignocelulósicos

Os percentuais de umidade e os teores de Celulose, Hemicelulose e Lignina (composição química) detectados nas biomassas de sabugo de milho e caule de girassol estão detalhados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Umidade e composição química lignocelulósica do sabugo de milho e caule de girassol

|                        | Teor de umidade | Celulose (C) | Hemicelulose (H) | Lignina (L)* |
|------------------------|-----------------|--------------|------------------|--------------|
| Sabugo de milho (SM)   | 8,3             | 26,7         | 23,2             | 36,1         |
| Caule de girassol (CG) | 9,8             | 37,2         | 13,4             | 15,8         |

\*Lignina total (solúvel e insolúvel em ácido)

A umidade alcançada após a etapa de secagem foi de 8,3% para o sabugo de milho e 9,8% para o caule de girassol, estando dentro do valor considerado adequado para manter o estado das amostras enquanto estocadas e também em conformidade com os percentuais médios de diversos tipos de biomassas trabalhadas por outros autores na literatura (4-11%). As frações lignocelulósicas encontradas no sabugo de milho foram de 26,7% (celulose), 23,2% (hemicelulose) e 36,1% (lignina) contendo mais lignina e hemicelulose, e menor celulose que o caule de girassol para o qual foram de 37,2% (celulose), 13,4% (hemicelulose) e 15,8% (lignina).

A proporção em que os componentes lignocelulósicos ocorrem no sabugo de milho diverge do esperado. De acordo com os resultados das caracterizações consultadas na literatura, os valores para o SM variam de 31,6%-48,8% H, 32,6-37,6% C e 14,4-20,77% L, evidenciando hemicelulose como predominante e a lignina menos expressiva (LYU, WU e ZHANG, 2015; SINGH *et al.*, 2019). O desacordo entre os dados pode ser atribuído as diferentes condições de clima e técnicas de cultivo. Em contraponto, concentrações semelhantes às de celulose foram encontradas por Liu *et al.* (2014) (28,7%) e Mullen *et al.* (2010) (30%).

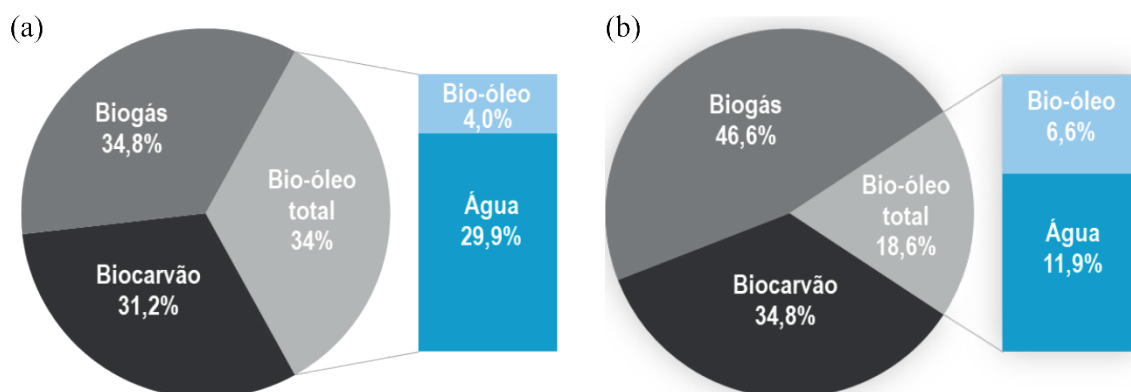
No caule de girassol, os teores de celulose (37,2%) e lignina (15,8%) estão dentro da média prevista para os resíduos agroindustriais que compreende 25-50% C, 20-40% H e 10-25% L, enquanto a hemicelulose (13,4%) apresentou um valor abaixo do indicado (GUPTA

*et al.*, 2014; KUMAR, UPADHYAY e MISHRA, 2019). Os resultados estão próximos com os detectados por Jung *et al.* (2013) (35,8% C; 19,7% H; 14,9% L).

## Processo de pirólise

Na Figura 1, estão dispostos os percentuais do bio-óleo total, biocarvão e biogás obtidos a partir dos experimentos de pirólise. Observa-se que os rendimentos dos produtos de natureza energética provenientes do caule de girassol (46,6% biogás, 34,8% biocarvão e 6,6% bio-óleo) superam aos obtidos pelo sabugo de milho (34,8% biogás, 31,2% biocarvão e 4,0% bio-óleo). Pois, ainda que a fração líquida total deste último apresente maior volume, nota-se que o conteúdo de água também é superior, de maneira que o percentual de bio-óleo seja inferior ao obtido pelo caule de girassol.

**Figura 1.** Rendimento produtos da pirólise do (a) sabugo de milho e (b) caule de girassol.



Comparando os percentuais obtidos com os convencionalmente estabelecidos para condições similares as do experimento (~35% bio-óleo, ~35% biocarvão e ~30% biogás), verifica-se que o sabugo de milho está dentro do esperado e o caule de girassol com maiores rendimentos de biogás e menores de bio-óleo (ITSKOS *et al.*, 2016; DHYANI e BHASKAR, 2018; ZHAN, Yaning *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2020). Na Tabela 2, podem ser conferidos valores reportados na literatura semelhantes aos do SM em uma mistura de resíduos agrícolas e resíduos de jardins e em uma espécie de gramíneo. Também estão dispostos os altos rendimentos de biogás encontrados por Sellin *et al.* (2016), Daniel *et al.* (2018) e Wang *et al.* (2020), os quais são análogos aos do CG do presente estudo.

**Tabela 2.** Rendimentos do Bio-óleo, Biocarvão e Biogás da pirólise de variadas biomassas lignocelulósicas reportadas na literatura

| Sabugo de milho                    | 34,0 | 31,2 | 34,8 | Presente Trabalho           |
|------------------------------------|------|------|------|-----------------------------|
| Caule de girassol                  | 18,6 | 34,8 | 46,6 | Presente Trabalho           |
| Resíduo agrícola e de jardim       | 38,0 | 32,0 | 30,0 | Husain <i>et al.</i> , 2020 |
| Talo de arroz                      | 27,5 | 33,1 | 39,4 | Wang <i>et al.</i> , 2020   |
| <i>Panicum virgatum</i> (Gramíneo) | 31,5 | 29,0 | 37,5 | Daniel <i>et al.</i> , 2018 |
| Folha de bananeira                 | 27,0 | 23,3 | 49,7 | Sellin <i>et al.</i> , 2016 |

## DISCUSSÃO

A biomassa, quando pirolisada, tem sua composição química alterada em consequência da degradação térmica da matéria orgânica submetida a elevadas temperaturas (300-650°C) em atmosfera inerte (BASU, 2018; RAUD *et al.*, 2018). O processo de formação de bio-óleo, biogás e biocarvão é composto por uma série de reações divididas em três etapas básicas: secagem com liberação de água e gases de baixo peso molecular (100-300°C); reações primárias com a formação de carvão e voláteis (200-600°C); e estágio final com a condensação de parte dos vapores em bio-óleo junto a obtenção de carvão e não condensáveis (<300°C) (BASU, 2018; GOKUL *et al.*, 2019).

Conforme anteriormente comentado, as quantidades relativas formadas dos produtos da pirólise dependem de diversos fatores operacionais e particulares da alimentação. Em revisão da literatura, Sukumar *et al.* (2015) e Guedes, Luna e Torres (2017) observaram que baixas temperaturas e taxas de aquecimento favorecem a formação de biocarvão, enquanto a elevação de ambos até certo ponto tende a aumentar a eficiência na conversão de biogás e bio-óleo, mas se forem muito altas causam o efeito contrário e o rendimento da fração líquida decai. Greco *et al.* (2020) reportaram que menores tempos de residência e moderados/altos fluxos de gás durante o processo dificulta a produção do alcatrão e beneficia o bio-óleo e biogás.

Segundo Basu (2018) e Liu *et al.* (2014) os produtos da pirólise são majoritariamente impactados pela temperatura, mas também sofrem influência da composição dos componentes lignocelulósicos. A Hemicelulose, formada por cadeias curtas de monossacarídeos (pentoses e hexoses), de estrutura amorfa, baixo grau de polimerização e fácil hidrólise, tem degradação entre 195-255°C e contribui na geração de voláteis, cujo bio-óleo derivado comumente possui grandes quantidades de água (YANG *et al.*, 2007; GUEDES, LUNA e TORRES, 2017; ALVAREZ-CHAVEZ *et al.*, 2019). Esta relação é vista nos resultados do presente trabalho em que o sabugo de milho com 22,8% H obteve uma fração líquida com 87,9 % de água, e o caule de girassol (13,2% H) com 63,9% e maior presença de compostos

orgânicos. Essa diferença pode indicar uma melhor qualidade do bio-óleo do CG, dado que a umidade compromete o poder calorífico e densidade dos combustíveis (VAMVUKA, 2011; LYU, WU e ZHANG, 2015).

A celulose, que em geral é o componente lignocelulósico mais abundante, traduz-se em fibras de cadeia longa não ramificadas e de um só monômero (glicose), cuja estrutura cristalina a torna estável e insolúvel (YANG *et al.*, 2007; CHEN *et al.*, 2018). Sua pirólise (285–380°C) produz baixo teor de sólidos e é a principal contribuinte para o melhor rendimento de bio-óleo, e diferente do derivado da hemicelulose são mais ricos em orgânicos e possuem caráter oxigenado (MATUSIAK, ŚLĘZAK e LEDAKOWICZ, 2020). Por sua vez, a lignina é uma macromolécula formada por unidades de fenilpropano reticulados de alto peso molecular e estrutura amorfa (CHEN *et al.*, 2018; IBRAHIM, BILSBORROW e PHAN, 2021). A mesma se decompõe mais lentamente, com faixa de temperatura mais ampla (150-900°C) que a celulose e hemicelulose, e se degrada em compostos aromáticos responsáveis por gerar grandes quantidades de resíduos sólidos e menor volume de voláteis, em especial bio-óleo (YANG *et al.*, 2007; KUMAR, UPADHYAY e MISHRA, 2019; ZHANG *et al.*, 2020).

Em virtude do alto teor de lignina no SM utilizado (tanto comparado ao CG desse mesmo estudo quanto a média geral dos resíduos agrícolas 10-25% L), esperava-se uma produção de biocarvão superior ao do CG, que não aconteceu. Entretanto, este resultado está provavelmente atrelado a um ou mais aspectos operacionais previamente relatados que podem ter colaborado com a conversão dos compostos voláteis em resíduos sólidos (TRIPATHI, SAHU e GANESAN, 2016; ALVAREZ-CHAVEZ *et al.*, 2019).

Via de regra, o biogás consiste em CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e outros hidrocarbonetos; o biocarvão com conteúdo de aproximadamente 70-85% de carbono; e a fase orgânica do bio-óleo dominante em fenóis, açúcares e ácidos orgânicos, de tal forma que essa combinação lhe desencadeia características como alto teor de água e oxigênio, elevada viscosidade e pH baixo (BASU, 2018; DHYANI e BHASKAR, 2018). Porém, vale ressaltar que a natureza química da biomassa afeta não só o volume dos produtos da pirólise, mas também na qualidade de cada um, pois como mostrado a celulose, lignina e hemicelulose são polímeros de estruturas complexas e também variam em proporção e composição (ALVAREZ-CHAVEZ *et al.*, 2019; CHARIS, DANHA e MUZENDA, 2020). Assim, baseado na caracterização química da alimentação pode-se traçar um perfil dos atributos esperados nos produtos e suas possíveis aplicações.

## CONCLUSÃO

Diante da urgência de promover o fornecimento de energia a partir de fontes alternativas e sustentáveis, a utilização do caule de girassol e do sabugo de milho como materiais de

alimentação no processo de pirólise se mostra eficaz. O rendimento de bio-óleo, biogás e biocarvão dos dois resíduos foram semelhantes, mas tendo o caule de girassol um percentual ligeiramente maior em todos os compostos com potencial energético. De toda forma, para melhor aproveitamento dos produtos finais, é conveniente buscar técnicas que otimizem suas características para geração de biocombustíveis e aplicação na indústria química.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ALVAREZ, Jon et al. Fast co-pyrolysis of sewage sludge and lignocellulosic biomass in a conical spouted bed reactor. **Fuel**, v. 159, p. 810-818, 2015. Doi: 10.1016/j.fuel.2015.07.039
2. ALVAREZ-CHAVEZ, Brenda J. et al. Physical, chemical, thermal and biological pre-treatment technologies in fast pyrolysis to maximize bio-oil quality: A critical review. **Biomass and Bio-energy**, v. 128, p. 105333, 2019. Doi: 10.1016/j.biombioe.2019.105333
3. ARANSIOLA, E. F. et al. Lignocellulosic Pretreatment Methods for Bioethanol Production. In: **Valorization of Biomass to Value-Added Commodities**. Springer, Cham, 2020. p. 135-162. Doi : [https://doi.org/10.1007/978-3-030-38032-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-38032-8_8)
4. ASTM. Methods Standard Test Methods for lignin in Wood. D 271-48, 1956.
5. BASU, Prabir. **Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory**. Academic press, 2018.
6. BP – British Petroleum. Statistical Review of World Energy, Edição 69. 2020. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> . Acesso em: 04/02/2021.
7. CHARIS, Gratitude; DANHA, Gwiranai; MUZENDA, Edison. Characterizations of Biomasses for Subsequent Thermochemical Conversion: A Comparative Study of Pine Sawdust and Acacia Tortilis. **Processes**, v. 8, n. 5, p. 546, 2020. Doi: 10.3390/pr8050546
8. CHEN, Xing et al. Prediction of product distribution and bio-oil heating value of biomass fast pyrolysis. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, v. 130, p. 36-42, 2018. Doi: 10.1016/j.cep.2018.05.018
9. DANIEL, Dideolu J. et al. An evaluative comparison of lignocellulosic pyrolysis products derived from various parts of Populus deltoides trees and Panicum virgatum grass in an inductively heated reactor. **Energy Conversion and Management**, v. 171, p. 710-720, 2018. Doi: 10.1016/j.enconman.2018.06.026
10. DHYANI, Vaibhav; BHASKAR, Thallada. A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. **Renewable energy**, v. 129, p. 695-716, 2018. Doi: 10.1016/j.renene.2017.04.035
11. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Papel da Biomassa na Expansão da Geração de Energia Elétrica. 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Biomassa%20e%20Expans%C3%A3o%20de%20Energia.pdf> . Acesso em: 04/02/2021.

12. EPE, Empresa de Pesquisa Energética (2019). SI Energia: Potencial Energético dos Resíduos Agropecuários. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/sienergia> . Acesso em: 03/02/2021.
13. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. *World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020*. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/cb1329en> . Acesso em: 04/02/2021
14. FRIEDLINGSTEIN, Pierre et al. Global carbon budget 2020. **Earth System Science Data**, v. 12, n. 4, p. 3269-3340, 2020. Doi: 10.5194/essd-12-3269-2020
15. GOKUL, P. V. et al. Thermal behavior and kinetics of pyrolysis of areca nut husk. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 41, n. 23, p. 2906-2916, 2019. Doi: 10.1080/15567036.2019.1582733
16. GOUVEIA, Ester Ribeiro; NASCIMENTO, Renata Trajano; SOUTO-MAIOR, Ana Maria; ROCHA, George Jackson de Moraes. Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1500-1503, 2009. Disponível em: [http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol32No6\\_1500\\_25-AR08401.pdf](http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol32No6_1500_25-AR08401.pdf) . Acesso em: dezembro de 2020
17. GRECO, Gianluca et al. Effects of slow-pyrolysis conditions on the products yields and properties and on exergy efficiency: A comprehensive assessment for wheat straw. **Applied Energy**, v. 279, p. 115842, 2020. Doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115842
18. GUEDES, Raquel Escrivani; LUNA, Aderval S.; TORRES, Alexandre Rodrigues. Operating parameters for bio-oil production in biomass pyrolysis: A review. **Journal of analytical and applied pyrolysis**, v. 129, p. 134-149, 2018. Doi: 10.1016/j.jaap.2017.11.019
19. GUPTA, Vijai K. et al. Bioenergy research: an overview on technological developments and bioresources. **Bioenergy research: advances and applications**, p. 23-47, 2014. Doi: 10.1016/B978-0-444-59561-4.00002-4
20. HUSAIN, Zakir et al. Valorisation of biomass pellets to renewable fuel and chemicals using pyrolysis: characterisation of pyrolysis products and its application. **Indian Chemical Engineer**, v. 62, n. 1, p. 78-91, 2020. Doi: 10.1080/00194506.2019.1635047
21. IBRAHIM, Hafsat H.; BILSBORROW, Paul E.; PHAN, Anh N. Intensification of pre-treatment and fractionation of agricultural residues. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, v. 159, p. 108231, 2021. Doi: 10.1016/j.cep.2020.108231
22. IEA, International energy agency. Clean Energy Innovation: Part of Energy Technology Perspectives. (2020). Disponível em: <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation> . Acesso em: 04/02/2021.
23. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.
24. ITSKOS, G. et al. Energy and the Environment. In: **Environment and Development**. Elsevier, 2016. p. 363-452. Doi: 10.1016/B978-0-444-62733-9.00006-X
25. JUNG, Chan-Duck et al. Sugar yields from sunflower stalks treated by hydrothermolysis and subsequent enzymatic hydrolysis. **Bioresource technology**, v. 138, p. 1-7, 2013. Doi: 10.1016/j.biortech.2013.03.033

26. KUMAR, Mohit; UPADHYAY, S. N.; MISHRA, P. K. A comparative study of thermochemical characteristics of lignocellulosic biomasses. **Bioresource Technology Reports**, v. 8, p. 100186, 2019. Doi: 10.1016/j.biteb.2019.100186
27. LIU, Xuan et al. Characterization of corncob-derived biocarvão and pyrolysis kinetics in comparison with corn stalk and sawdust. **Bioresource technology**, v. 170, p. 76-82, 2014. Doi: 10.1016/j.biortech.2014.07.077
28. LYU, Gaojin; WU, Shubin; ZHANG, Hongdan. Estimation and comparison of bio-oil components from different pyrolysis conditions. **Frontiers in Energy Research**, v. 3, p. 28, 2015. Doi: 10.3389/fenrg.2015.00028
29. MATUSIAK, Magdalena; ŚLĘZAK, Radosław; LEDAKOWICZ, Stanisław. Thermogravimetric Kinetics of Selected Energy Crops Pyrolysis. **Energies**, v. 13, n. 15, p. 3977, 2020. Doi: 10.3390/en13153977
30. MULLEN, Charles A. et al. Bio-oil and bio-char production from corn cobs and stover by fast pyrolysis. **Biomass and bioenergy**, v. 34, n. 1, p. 67-74, 2010. Doi: 10.1016/j.biombioe.2009.09.012
31. MURDOCK, Hannah E. et al. Renewables 2020: Global status report. 2020. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/> . Acesso em: 04/02/2021
32. RAUD, M. et al. Potentials and challenges in lignocellulosic biofuel production technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 111, p. 44-56, 2019. Doi: 10.1016/j.rser.2019.05.020
33. ROCHA, G.J.M et al. A fast and accurate method for determination of cellulose and polyoses by HPLC. In: **Brazilian Symposium on Chemistry of Lignins and Other Wood Components**, 5, Curitiba, Brasil, v.6, p.3-8, 1997.
34. SDSN, Sustainable Development Solutions Network. Roadmap to 2050: a manual for nations to decarbonize by mid-century. (2019). Disponível em: <https://roadmap2050.report/> . Acesso em: 04/02/2021.
35. SELLIN, Noeli et al. Oxidative fast pyrolysis of banana leaves in fluidized bed reactor. **Renewable Energy**, v. 96, p. 56-64, 2016. Doi: 10.1016/j.renene.2016.04.032
36. SHAH, Ajay et al. Physicochemical properties of bio-oil and biocarvão produced by fast pyrolysis of stored single-pass corn stover and cobs. **Bioresource technology**, v. 125, p. 348-352, 2012. Doi: 10.1016/j.biortech.2012.09.061
37. SINGH, H. K. et al. Isolation of microcrystalline cellulose from corn stover with emphasis on its constituents: corn cover and corn cob. **Materials Today: Proceedings**, v. 27, p. 589-594, 2020. Doi: 10.1016/j.matpr.2019.12.065
38. SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D.; CROCKER, D. **Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass**. National Renewable Energy Laboratory (NREL), p. 1-16, 2012. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy11/42618.pdf>. Acesso em: dezembro de 2020.
39. SUKUMAR, V. et al. Bio oil production from biomass using pyrolysis and upgrading-A review. **International Journal of ChemTech Research**, v. 8, n. 1, p. 196-206, 2015.

40. TRIPATHI, Manoj; SAHU, Jaya Narayan; GANESAN, P. Effect of process parameters on production of biocarvão from biomass waste through pyrolysis: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 467-481, 2016. Doi: 10.1016/j.rser.2015.10.122
41. VAMVUKA, D. Bio-oil, solid and gaseous biofuels from biomass pyrolysis processes—an overview. **International journal of energy research**, v. 35, n. 10, p. 835-862, 2011. Doi: **10.1002/er.1804**
42. WANG, Gang et al. Understanding the pyrolysis behavior of agriculture, forest and aquatic biomass: Products distribution and characterization. **Journal of the Energy Institute**, v. 93, n. 5, p. 1892-1900, 2020. Doi: 10.1016/j.joei.2020.04.004
43. WEC - World Energy Council. World Energy Trilemma Index. (2020). Disponível em: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-index-2020> . Acesso em: 04/02/2021.
44. YANG, Jingxuan et al. Fast co-pyrolysis of low density polyethylene and biomass residue for oil production. **Energy conversion and management**, v. 120, p. 422-429, 2016. Doi: 10.1016/j.enconman.2016.05.008
45. ZHANG, Liqiang et al. Comparative study on the two-step pyrolysis of different lignocellulosic biomass: Effects of components. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 152, p. 104966, 2020. Doi: 10.1016/j.jaap.2020.104966

“

# Caracterização e avaliação do talo de girassol e sabugo de milho para produção de gás de síntese

┆ Hortência Elucielly Pereira **Santana**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

┆ Tammires Lorena Costa **Santana**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

┆ Rafael Mota de Aragão **Lima**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

┆ Daniel Pereira **Silva**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

┆ Isabelly Pereira **Silva**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

┆ Denise Santos **Ruzene**  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

# RESUMO

A biomassa constitui um dos componentes essenciais na transição do atual sistema energético de elevada emissão de carbono para um com baixa emissão de carbono. Por meio do processo de gaseificação é possível converter biomassa em um combustível gasoso rico em hidrogênio (gás de síntese) alternativo aos derivados fósseis, sendo uma maneira de menor custo e eficiente de aproveitar os abundantes resíduos gerados na agroindústria ao passo que contribui com a formação de um cenário ambiental mais favorável. Entretanto, apesar dessa tecnologia ser muito versátil quanto ao material de alimentação, a composição química vegetal (majoritariamente formado por celulose, hemicelulose e lignina) causa diferentes tipos de influência nos parâmetros operacionais e na formação dos produtos. Objetivo: o estudo teve como objetivo avaliar, em termos de composição química, os potenciais de dois resíduos agroindustriais provenientes das culturas de girassol (talo) e do milho (sabugo), e os possíveis ajustes para uma eficiente conversão em gás de síntese. Métodos: para realizar a caracterização química das biomassas, as amostras *in natura* previamente secas e moídas, foram hidrolisadas em  $\text{H}_2\text{SO}_4$  72% v/v com o intuito de fracionar os componentes lignocelulósicos, os quais posteriormente foram quantificados por análise gravimétrica, espectrofotometria em UV-Visível e cromatografia líquida de alta eficiência. Resultados: foram obtidos respectivamente para o talo de girassol e sabugo de milho: 33,81% e 26,51% de celulose, 9,93% e 25,82% de hemicelulose e 20,66% e 34,16% de lignina. Conclusão: analisando os dados tem-se que apesar de ambos os materiais possuírem potencial para produzir combustíveis com bons teores de  $\text{H}_2$  e CO, podem gerar consideráveis quantidades de alcatrão e, portanto, torna-se necessário um controle adequado de parâmetros de operação, principalmente de temperatura, que baseada em outros trabalhos, se mostrou um dos mais influentes no processo, e também de parâmetros relacionados a mecanismos que auxiliem na redução de formação de impurezas.

**Palavras-chave:** Biomassa Lignocelulósica, Caracterização Química, Gaseificação.

## INTRODUÇÃO

Desde meados do século XX o consumo de combustíveis fósseis para atender a demanda energética mundial aumentou intensamente, com valores em 2017 correspondente a oito vezes maior que o registrado em 1950 (RITCHIE e ROSE, 2017). Por serem recursos sujeitos a escassez e que acarretam problemas ambientais, principalmente relacionados a emissão de gases do efeito estufa, tem-se a urgência de promover um sistema energético mais sustentável e que possa frear os problemas decorrentes das severas mudanças climáticas (FOSTER e ELZINGA, 2013; IEA, 2020a).

As energias renováveis, tais como solar, eólica, hidrelétrica e biomassa, são as principais alternativas para substituir as fontes tradicionais, pois possuem baixa emissão de carbono, são resilientes e ainda contribuem com a expansão do acesso à energia em países não desenvolvidos (IRENA, 2018; EPE, 2018; IEA, 2020a). Entretanto, apesar dos recentes avanços quanto a sua integração, o potencial dos recursos renováveis ainda não é devidamente aproveitado para que futuramente possa, de fato, alcançar um cenário que supra a necessidade energética da população sem acarretar em prejuízos ao meio ambiente (IRENA, 2018, 2020). Além disso, mais de 60% da energia renovável atual depende de certas circunstâncias de precipitação de chuvas, ventos ou temperaturas, dificultando a geração nos locais que não possuem condições climáticas adequadas (IEA, 2020b). Assim, é evidente a necessidade de ampliar o investimento em políticas, pesquisas e tecnologias que garantam custos mais atrativos e viabilizem a diversificação na implementação das fontes alternativas (IRENA, 2020).

Dentre as energias renováveis, a bioenergia é uma das mais promissoras e com maior potencial de crescimento para os próximos anos, sendo considerada um dos componentes chave na transição do panorama energético global (ANEEL, 2008; IEA, 2020c). De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2020d), a biomassa sozinha consegue contribuir com uma demanda final de energia cinco vezes maior que a solar e eólica juntas, e embora seu uso para esta finalidade não seja uma novidade, foram nas últimas décadas que ocorreram importantes avanços na produção de bioenergia mais eficientemente que a via tradicional por queima direta (WEC, 2013; EPE, 2018). Outro ponto favorável à biomassa é que, por constituir de qualquer matéria orgânica vegetal ou animal, uma vasta variedade de resíduos pode ser utilizada para este propósito, especialmente os agrícolas, florestais e industriais (ANEEL, 2008; SIKARWAR *et al.*, 2016).

As culturas agrícolas são responsáveis pelo acúmulo de toneladas de resíduos, como palhas, cascas e talos que são deixados após as colheitas, e que historicamente são apenas usados para a alimentação animal, deixados nos campos ou queimados (CHERUBIN *et al.*, 2018; HOFSTRAND *et al.*, 2019; TERI, 2019). Contudo, por ser uma biomassa de

fácil disponibilidade e baixo custo, existem vias tecnológicas que buscam aproveitar do seu potencial lignocelulósico, como a exemplo, da gaseificação que converte a biomassa em uma mistura gasosa rica em hidrogênio (gás de síntese), a partir da qual se pode produzir diversas formas de energias e combustíveis (WEC, 2013; EPE, 2018).

A gaseificação tem se destacado por ser um processo flexível em vários aspectos: design e escala do reator, tipo de agente oxidante, temperatura, pressão, vazões de entrada e saída, e, principalmente, quanto a origem do material, dado que o conteúdo lignocelulósico não tem frações iguais para todas as espécies (WEC, 2013; TERI, 2019). Todavia, um dos desafios enfrentados na implantação desta rota é que no decorrer do processamento além do produto almejado há também a formação de cinzas e outras impurezas, as quais prejudicam o rendimento, provocam incrustações no equipamento e desativação dos catalisadores. Em razão disto, inúmeros estudos são voltados a analisar o comportamento dos parâmetros de operação conforme as particularidades da alimentação de interesse, para então encontrar a relação ótima e evitar compostos e problemas indesejáveis (RAKESH e DASAPPA, 2018; CAO *et al.*, 2020).

Assim, dada a necessidade de impulsionar a integração das energias renováveis e a abundância de biomassa vegetal subaproveitada, especialmente no Brasil com resíduos decorrentes dos seus mais de 60 milhões de hectares de área cultivada, este estudo tem como ponto de partida a caracterização de componentes lignocelulósicos de importantes resíduos agroindustriais, para que por meio da sua composição química possa avaliar seus potenciais e possíveis comportamentos durante a conversão em gás de síntese (MIRANDA, 2018). As biomassas selecionadas foram, o sabugo de milho, uma vez que o milho é a segunda maior safra de grãos do Brasil e a primeira no ranking mundial, chegando a uma produção de aproximadamente 1 bilhão de toneladas por ano, do qual estima-se que a cada 100 kg de espigas produzidas em média 13 kg são de sabugo (HALVORSON e JOHNSON, 2009; USDA, 2020), e o talo de girassol, que embora contemple uma produção menos expressiva, está entre as três maiores culturas de oleaginosas do globo, e possui uma razão consideravelmente elevada (2,2 – 3,2) de resíduo gerado por semente produzida, significando que para os seus quase 55 milhões de toneladas de sementes colhidas mundialmente em 2019/20, cerca de 175 milhões de toneladas de resíduos podem ter sido produzidos em conjunto (SCARLAT; MARTINOV; DALLEMAND, 2010; USDA, 2020).

## OBJETIVO

Avaliar a composição química lignocelulósica dos resíduos de talo de girassol e sabugo de milho, ambos *in natura*, quanto ao potencial para produção de gás de síntese.

## METODOLOGIA

### Materiais

Para realizar as análises propostas nesse trabalho foram utilizadas amostras *in natura* obtidas em áreas rurais do estado de Sergipe (Brasil).

Como preparo inicial, o sabugo de milho foi seco a 45°C em estufa de ar circulante por 24h, com umidade máxima de 10%; enquanto o talo de girassol foi seco a temperatura ambiente até atingir cerca de 8% de umidade. As amostras foram cortadas em pequenos pedaços, moídas em moinhos de facas, separadas por granulometria em uma série de peneiras -20/+80 *mesh* e seguidamente estocadas em pequenas porções.

### Caracterização sabugo de milho

A caracterização química do sabugo de milho foi realizada com base no procedimento modificado de Klason (ASTM, 1956) e reportado por Gouveia, Nascimento e Souto-Maior (2009). Primeiramente, amostras de 2,0 g foram tratadas com 10 mL de ácido sulfúrico 72% a 45°C por 1 h, em seguida, autoclavadas a 121°C por 30 min, para completa hidrólise dos oligômeros. Após retirados da autoclave, os frascos foram resfriados à temperatura ambiente, filtrados, completados com água destilada em um balão volumétrico de 500 mL e guardados para as posteriores análises.

A quantidade de lignina insolúvel foi determinada pelo material retido no papel de filtro, depois de lavado com água destilada e seco em estufa a 110°C. A lignina solúvel em meio ácido foi determinada pela medida da absorbância a 280 nm em espectrofotômetro UV/Visível. A soma das duas ligninas equivale a fração total.

Para a determinação de carboidratos e ácidos orgânicos, o hidrolisado ácido foi analisado em um cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE) com detector de índice de refração e utilizando para análise uma coluna Biorad Aminex HPX-87H, equipada com uma pré-coluna. Como fase móvel foi utilizado  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,005 mol/L com fluxo de 0,6 mL/min, a 45°C. As concentrações foram definidas a partir das curvas de calibração obtidas com as soluções padrões dos compostos puros em diferentes concentrações (GOUVEIA; NASCIMENTO; SOUTO-MAIOR, 2009).

### Caracterização talo de girassol

Nas análises das amostras dos talos de girassol foram utilizados os procedimentos desenvolvidos pelo National *Renewable Energy Laboratory* – NREL (SLUITER *et al.*, 2012). Amostras de 0,3 g dos materiais foram colocadas em tubos de ensaio juntamente com 3 mL

de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  72%, que foram imersos em banho termostático a 30°C por 60 min. Em seguida, o conteúdo dos tubos foi transferido para *Elermeyers*, onde adicionou-se água destilada com finalidade de reduzir a concentração de ácido para 4%, e levados para autoclave por 1 h a 121°C. Após o procedimento, os tubos foram resfriados à temperatura ambiente e a mistura filtrada e armazenada.

A lignina insolúvel foi determinada pela massa do material retido na filtração após ser lavado com água destilada e seco 105°C por 24 h. Imediatamente após a hidrólise, a lignina solúvel foi aferida pela medida de absorbância em espectrofotômetro UV/Visível, salientando-se que cada amostra foi diluída para assegurar um valor de absorbância entre 0,7 e 1,0.

Para a quantificação dos carboidratos e ácidos orgânicos, alíquotas do conteúdo hidrolisado, após neutralizadas com carbonato de cálcio a pH entre 5-6, foram injetadas em um cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE) equipado com detector de índice de refração com uma coluna Supelcogel – Pb, 30 cm x 7,8 mm, partícula 9 µm, e pré-coluna. A fase móvel empregada foi água deionizada com fluxo de 0,5 mL/min, a 85°C.

## RESULTADOS

Os resultados da caracterização química das biomassas lignocelulósicas estão destacados na Tabela 1. As composições foram determinadas em termos de celulose (correspondendo a glicose); hemicelulose (como a soma da xilose, galactose, arabinose, manose e grupo acetil); e lignina total (como soma das porções insolúveis e solúveis em ácido).

**Tabela 1.** Composição química do sabugo de milho e talo de girassol *in natura*.

| Composição                     | Talo de girassol | Sabugo de milho |
|--------------------------------|------------------|-----------------|
| Celulose (%)                   | 33,81 ± 1,1      | 26,51 ± 0,7     |
| Hemicelulose (%)               | 9,93 ± 0,4       | 25,82 ± 0,5     |
| Lignina total (%)              | 20,66 ± 1,3      | 34,16 ± 1,2     |
| Lignina Insolúvel em ácido (%) | 20,48 ± 1,2      | 23,35 ± 1,1     |
| Lignina Solúvel em ácido (%)   | 0,18 ± 0,1       | 10,84 ± 0,8     |
| Total                          | 64,41            | 86,52           |

Assim, tem-se que no talo de girassol os sólidos relacionados a fração lignocelulósica correspondem a 64,41% da massa, sendo a maior fração a de celulose com 33,81 ± 1,1 %, seguido da lignina com 20,66 ± 1,3 %. Para o sabugo de milho, os sólidos relacionados a fração lignocelulósica correspondente as amostras utilizadas representam cerca de 86,52% e a relação dos componentes é invertida, com o teor de lignina (34,16 ± 1,2 %) superior ao de celulose (26,51 ± 0,7 %). Ambas as biomassas lignocelulósicas apresentaram menor concentração de hemicelulose, de 25,82 ± 0,5 % e 9,93 ± 0,4 %, para o sabugo de milho e talo de girassol, respectivamente.

Os valores obtidos nesse estudo corroboram com a média geral dos teores de lignina (10-25%), hemicelulose (15-35%) e celulose (30-45%) reportados na literatura para os resíduos lignocelulósicos, com exceção do teor de hemicelulose ( $9,93 \pm 0,4\%$ ) no talo de girassol e de lignina ( $34,16 \pm 1,2\%$ ) no sabugo de milho (ANWAR; GULFRAZ; IRSHAD, 2014; BARUAH *et al.*, 2018; PASSOTH e SANDGREN, 2019; AWOYALE; LOKHAT; ELOKA-EBOKA, 2019). Esta última também destoa das concentrações encontradas para a mesma biomassa em outros trabalhos publicados, cuja variação está entre 11,9% - 22,1% (RAJ *et al.* 2015; TAKADA *et al.*, 2018; AWOYALE; LOKHAT; ELOKA-EBOKA, 2019; KUCHARSKA *et al.*, 2020; MAFA *et al.*, 2020). Tais diferenças podem ser explicadas pelas diferentes regiões e condições de cultivo (PEREIRA *et al.*, 2016).

A composição do talo de girassol foi similar as relatadas por He *et al.* (2016) para a lignina (23,1%) e celulose (35,8%), e inferior à de hemicelulose (21,8%). Entretanto, é próxima ao teor de 9,7% encontrado por YANIK *et al.* (2008) e BALLICE *et al.* (2020).

## DISCUSSÃO

O gás de síntese, objeto de interesse da gaseificação, é uma mistura gasosa idealmente constituída em grande parte por CO e H<sub>2</sub>, e em menor quantidade por CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. Entretanto, ao final do processo de conversão da biomassa também há a formação de compostos, sobretudo hidrocarbonetos complexos, que são considerados impurezas e cuja quantidade e espécie tem relação direta com a composição da alimentação (HANCHATE *et al.*, 2020).

De acordo com a literatura científica, cerca de 90% da matéria seca da biomassa é composta por celulose, hemicelulose e lignina, e o restante são cinzas e extrativos (NANDA *et al.*, 2014). Contudo, a proporção em que ocorre a composição química não é fixa e varia a depender de fatores como a origem do vegetal, a fase de crescimento da planta, condições de cultivo e até mesmo das diferentes partes da mesma matéria (NANDA *et al.*, 2014; SITUMORANGE *et al.*, 2020). Essa variação é um dos aspectos que mais causam impacto no processo de gaseificação, isso porque cada componente lignocelulósico possui estabilidade térmica diferente, e estruturas com ligações químicas e grupos funcionais característicos que são responsáveis pelos diversos tipos de influência durante as reações e composição final dos produtos (SIVANSANGAR *et al.*, 2015; KUMAR; UPADHYAY; MISHRA, 2019; ZHANG e PANG, 2019).

A celulose é um polímero de cadeia longa formado por ligações  $\beta$ -1,4-glicosídicas, com estrutura fibrosa e diversas ligações de hidrogênio que fazem desse componente insolúvel na maioria dos solventes (NANDA *et al.*, 2014). Devido às ligações C-O proveniente da presença dos grupos carboxil e carbonil, a celulose tem uma tendência a formar gás de síntese com maior teor de CO e CO<sub>2</sub> (ZHANG e PANG, 2019). A hemicelulose, por sua vez, é uma

mistura de polissacarídeos (pentoses e hexoses) de estrutura amorfa, e com massa molar e grau de polimerização menores que a celulose e lignina (NANDA *et al.*, 2014). Portanto, são mais facilmente hidrolisadas e requerem condições menos intensas na gaseificação (OKOLIE *et al.*, 2020). Em relação a lignina, esta é uma macromolécula de elevada massa molar composta principalmente por unidades de fenilpropano, possuindo uma estrutura amorfa e com inúmeras ligações do tipo C-O-C e C-C, que a torna difícil de decompor, necessitando de elevadas temperaturas e mais tempo de residência (PRASAD; SUBBARAO; SUBRAHMANYAM, 2015; ZHANG e PANG, 2019).

Durante a gaseificação a celulose e a hemicelulose se decompõem em açúcares simples como glicose e frutose, enquanto a lignina dissocia-se em compostos fenólicos, formaldeídos e grupos funcionais que se interligam para formar longas cadeias poliméricas. O caráter aromático desta última é apontado como principal responsável pelo alcatrão, que por sua estrutura complexa e difícil remoção, é considerado um produto indesejável e um dos maiores empecilhos na produção de gás de síntese, pois não só interfere na qualidade do combustível como também causa problemas durante a operação (SIKARWAR *et al.*, 2016; REN *et al.*, 2020).

Nos experimentos desenvolvidos por Zhou *et al.* (2018) e Zhang e Pang (2019) foi observado que a presença de moléculas oxigenadas (como cetonas e hetetocíclicos) no alcatrão são resultantes da celulose, ao passo que os mais complexos (fenóis, tolueno, nftaleno e benzeno) derivam principalmente da lignina. Também foi observado que o alcatrão tende a aumentar significativamente em quantidade e alterar sua estrutura como resposta da elevação até certa temperatura, promovendo a conversão dos compostos primários em secundário e terciários (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos). Desta forma, fica evidente que apesar de todos os componentes lignocelulósicos contribuírem para formação de alcatrão, bem como a interferência de outros parâmetros, a lignina é a responsável em propiciar uma fração maior além de seu produto decorrente ser mais termoestável e com maior teor de aromáticos (YU *et al.*, 2014; KUMAR; UPADHYAY; MISHRA, 2019; ZHANG e PANG, 2019).

Nos resíduos avaliados nesse estudo, o sabugo de milho obteve a lignina como componente predominante e com quantidade relativamente alta (34,16%) em comparação a média geral dos materiais lignocelulósicos (10-25%), no entanto é um resultado esperado devido a sua rigidez (REDDY e VINU, 2018). Este alto teor de lignina é propenso a formar um gás com mais CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>, como também contribuir com produção e acúmulo de hidrocarbonetos condensáveis e com elevada massa molar (alcatrão e resíduos de carbono) (ZHANG e PANG, 2019). Essa tendência foi observada durante os processos de gaseificação realizados por Tian *et al.* (2017), Liu *et al.* (2018), Yu, Wu e Chen (2018), Cabuk *et al.* (2020) e Valin *et al.* (2020), em que biomassas ricas em lignina foram as principais responsáveis pelos resíduos

sólidos, como também alcançaram as maiores frações de hidrogênio em comparação a outras ricas em celulose e/ou hemicelulose. Vale ressaltar que os experimentos foram conduzidos em temperaturas acima de 800°C, uma vez que em trabalhos realizados com temperaturas entre 350°C-600°C os resíduos de lignina tiveram um menor rendimento de produto gasoso e de conversão de carbono (MANDENOGLU *et al.*, 2016; OKOLIE *et al.*, 2020; SUN *et al.*, 2020). O sabugo de milho também contém uma porção significativa de hemicelulose (25,82%), que segundo evidenciado por Gökkaya *et al.* (2020) e Okolie *et al.* (2020) tende a ter bons rendimentos de gás com poucos traços de contaminantes.

No talo de girassol os componentes decresceram na ordem celulose > lignina > hemicelulose. Conforme anteriormente mencionado, devido a maior concentração de celulose, o gás de síntese desse resíduo poderá ter um caráter mais oxigenado. Barneto *et al.* (2010) ao compararem a composição final do gás proveniente da gaseificação de diferentes biomassas constataram que as amostras com maior teor de celulose também tiveram maior fração de CO e CO<sub>2</sub>. Essa mesma observação foi vista mais recentemente por Okolie *et al.* (2020) ao compararem o produto final da conversão da lignina, celulose e hemicelulose.

Assim como no sabugo de milho, pode-se esperar que o combustível do talo de girassol contenha uma quantidade considerável de impurezas, uma vez que os dois principais componentes (celulose e lignina) que influenciam na formação do alcatrão representam 54,47% de um total de 75,13% de matéria seca lignocelulósica. Entretanto, ainda que as proporções dos componentes lignocelulósicos sejam cruciais para definir a estrutura e quantidade de substâncias indesejadas, há outros parâmetros de operação (temperatura, pressão, fluxo de agente oxidante, tempo de residência e umidade inicial) que podem ser ajustados a determinada matéria-prima para que a operação seja otimizada e, conseqüentemente, reduza os sólidos gerados e obtenha-se bom aproveitamento do potencial energético dos resíduos.

Dentre os parâmetros citados, a temperatura requer uma maior atenção durante o processo, visto que demonstrou ser determinante no efeito que a composição da biomassa provoca no gás de síntese. Baseado no conhecimento que a decomposição da hemicelulose ocorre entre 200-450°C, da celulose 300-500°C e da lignina com pico máximo entre 500-800°C, nas matérias-primas com predominância de lignina e celulose (como as desse estudo) se o processo ocorrer em baixas temperaturas possivelmente terá um rendimento baixo de gás, por outro lado, temperaturas muito altas ocasionam em alcatrão com estruturas mais complexas de difícil separação (MONIR *et al.*, 2018; NAM *et al.*, 2019; KUMAR; UPADHYAY; MISHRA, 2019; ZONG *et al.*, 2020).

Em publicações recentes na literatura científica autores investigaram métodos eficientes para amenizar esses inconvenientes, como por exemplo o uso de resíduo sólido de carbono da madeira como catalisador testado por Fuentes-Cano *et al.* (2020), que ao contrário dos

tradicionais são resistentes a formação de substâncias indesejáveis, mais baratos e converte principalmente os compostos mais pesados. Ou ainda procedimentos que tratam o gás após produção, como Dafiqurrohman *et al.* (2020) que removeram boa parte de alcatrão utilizando um condensador combinado com filtro em leito fixo com casca de arroz.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na caracterização das biomassas desse estudo e no comportamento dos componentes lignocelulósicos discutidos com base nas observações publicadas na literatura científica, entende-se que os resíduos selecionados (talo de girassol e sabugo de milho) possuem bom potencial como matéria-prima para produção de gás de síntese via gaseificação, sobretudo considerando-se que são originados de duas das maiores *commodities* agrícolas do mundo, e, portanto, disponíveis em larga escala. Porém deve-se ressaltar que, devido a presença de lignina e celulose em predominância, o controle na temperatura de processo é fundamental para otimizar o rendimento da fração gasosa e não favorecer a produção de alcatrão e sólidos durante a decomposição desses componentes.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica, 3ª ed. Parte II – Fontes Renováveis, 2008. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf). Acesso em: dezembro de 2020.
2. ANWAR, Zahid; GULFRAZ, Muhammad; IRSHAD, Muhammad. Agro-industrial lignocellulosic biomass a key to unlock the future bio-energy: a brief review. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 7, n. 2, p. 163-173, 2014. Doi: 10.1016/j.jrras.2014.02.003
3. ASTM, Methods. Standard test methods for lignin in wood, D 271-48, 1956.
4. AWOYALE, A. A.; LOKHAT, D.; ELOKA-EBOKA, A. C. Experimental characterization of selected Nigerian lignocellulosic biomasses in bioethanol production. **International Journal of Ambient Energy**, p. 1-9, 2019. Doi: 10.1080/01430750.2019.1594375
5. BALLICE, Levent *et al.* Determination of Pyrolysis Kinetics of Cellulose and Lignin Fractions Isolated from Selected Turkish Biomasses. **Arabian Journal for Science and Engineering**, 2020. Doi: 10.1007/s13369-020-04594-4
6. BARUAH, Julie *et al.* Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products. **Frontiers in Energy Research**, v. 6, p. 141, 2018. Doi: 10.3389/fenrg.2018.00141
7. BARNETO, Agustín García *et al.* Kinetic study on the thermal degradation of a biomass and its compost: Composting effect on hydrogen production. **Fuel**, v. 89, n. 2, p. 462-473, 2010. Doi: 10.1016/j.fuel.2009.09.024

8. CABUK, Busra *et al.* Effect of fuel blend composition on hydrogen yield in co-gasification of coal and non-woody biomass. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 45, n. 5, p. 3435-3443, 2020. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.02.130
9. CAO, Leichang *et al.* Biorenewable hydrogen production through biomass gasification: A review and future prospects. **Environmental Research**, p. 109547, 2020. Doi: 10.1016/j.envres.2020.109547
10. CHERUBIN, Maurício Roberto *et al.* Crop residue harvest for bioenergy production and its implications on soil functioning and plant growth: A review. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 3, p. 255-272, 2018. Doi: 10.1590/1678-992X-2016-0459
11. DAFIQUROHMAN, Hafif *et al.* Tar reduction using an indirect water condenser and rice straw filter after biomass gasification. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 21, p. 100696, 2020. Doi: 10.1016/j.csite.2020.100696
12. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Papel da Biomassa na Expansão da Geração de Energia Elétrica. 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Biomassa>. Acesso em: dezembro de 2020.
13. FOSTER, Scott; ELZINGA, David. The role of fossil fuels in a sustainable energy system. **Un Chronicle**, v. 52, n. 3, p. 17-19, 2013. Disponível em: <https://www.un-ilibrary.org/content/journals/15643913/52/3/6/read>. Acesso em: dezembro de 2020.
14. FUENTES-CANO, D. *et al.* Tar conversion of biomass syngas in a downstream char bed. **Fuel processing technology**, v. 199, p. 106271, 2020. Doi: 10.1016/j.fuproc.2019.106271
15. GÖKKAYA, Dilek Selvi *et al.* Hydrothermal Gasification of the Isolated Hemicellulose and Sawdust of the White Poplar (*Populus alba* L.). **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 162, p. 104846, 2020. Doi: 10.1016/j.supflu.2020.104846
16. GOUVEIA, Ester Ribeiro; NASCIMENTO, Renata Trajano; SOUTO-MAIOR; Ana Maria. Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1500-1503, 2009. Disponível em: [http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol32No6\\_1500\\_25-AR08401.pdf](http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol32No6_1500_25-AR08401.pdf). Acesso em: dezembro de 2020.
17. HALVORSON, Ardell D.; JOHNSON, Jane MF. Corn cob characteristics in irrigated central Great Plains studies. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 2, p. 390-399, 2009. Doi: 10.2134/agron-j2008.0142x
18. HANCHATE, Naresh *et al.* Biomass Gasification using Dual Fluidized Bed Gasification Systems: A Review. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, n. part 1, p. 123-148, 2020. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123148
19. HE, Xin-fu *et al.* Characterization and pyrolysis behaviors of sunflower stalk and its hydrolysis residue. **Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering**, v. 11, n. 5, p. 803-811, 2016. Doi: 10.1002/apj.2015
20. HOFSTRAND, D. Crop residue—a valuable resource. **AgMRC Renewable Energy Newsletter**. 2019. Disponível em: [https://www.agmrc.org/media/newsletters/AgMRC\\_Oct\\_2009PDF\\_6D54018AD757E\\_F400F8A4F4C17.pdf](https://www.agmrc.org/media/newsletters/AgMRC_Oct_2009PDF_6D54018AD757E_F400F8A4F4C17.pdf). Acesso em: dezembro de 2020.

21. IEA – International Energy Agency. Renewables 2020 - Analysis and forecast to 2025. 2020a. Disponível em: <https://webstore.iea.org/download/direct/4234>. Acesso em: dezembro de 2020.
22. IEA – International Energy Agency. Global Energy Review 2020: The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions. 2020b. Disponível em: <https://webstore.iea.org/download/direct/2995>. Acesso em: dezembro de 2020.
23. IEA – International Energy Agency. Technology Roadmap Delivering Sustainable Bioenergy. 2020c. Disponível em: <https://webstore.iea.org/download/direct/4234>. Acesso em: dezembro de 2020.
24. IEA – International Energy Agency. Bioenergy. 2020d. Disponível em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/bioenergy>. Acesso em: dezembro de 2020.
25. IRENA. International Renewable Energy Agency. Power system flexibility for the energy transition Part 1: overview for policy makers. 2018. Disponível em: [file:///C:/Users/ajscs/Downloads/IRENA\\_Power\\_system\\_flexibility\\_1\\_2018.pdf](file:///C:/Users/ajscs/Downloads/IRENA_Power_system_flexibility_1_2018.pdf) Acesso em: dezembro de 2020.
26. IRENA - International Renewable Energy Agency. Reduce: Non-bio renewables. 2020. Disponível em: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Sep/CCC\\_02\\_Non-bio\\_Renewables\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Sep/CCC_02_Non-bio_Renewables_2020.pdf) Acesso em: dezembro de 2020.
27. KUCHARSKA, Karolina *et al.* Influence of alkaline and oxidative pre-treatment of waste corn cobs on biohydrogen generation efficiency via dark fermentation. **Biomass and Bioenergy**, v. 141, p. 105691, 2020. Doi: 0.1016/j.biombioe.2020.105691
28. KUMAR, Mohit; UPADHYAY, S. N.; MISHRA, P. K. A comparative study of thermochemical characteristics of lignocellulosic biomasses. **Bioresource Technology Reports**, v. 8, p. 100186, 2019. Doi: 10.1016/j.biteb.2019.100186
29. LIU, Junxu *et al.* Production of high-pure hydrogen by an integrated catalytic process: Comparison of different lignocellulosic biomasses and three major components. **Fuel**, v. 226, p. 322-330, 2018. Doi: 10.1016/j.fuel.2018.04.026
30. MADENOĞLU, Tülay Güngören *et al.* Hydrothermal gasification of biomass model compounds (cellulose and lignin alkali) and model mixtures. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 115, p. 79-85, 2016. Doi: 10.1016/j.supflu.2016.04.017
31. MAFA, Mpho *et al.* The effects of alkaline pretreatment on agricultural biomasses (corn cob and sweet sorghum bagasse) and their hydrolysis by a termite-derived enzyme cocktail. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1211, 2020. Doi: 10.3390/agronomy10081211
32. MIRANDA, E. E. de. Potência agrícola e ambiental: áreas cultivadas no Brasil e no mundo. **Rev. Agroanalysis**. São Paulo – SP, v. 38, n. 2, p. 25 – 27, 2018. Disponível em: <http://bi-biotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/download/77453/74223>. Acesso em: dezembro de 2020.
33. MONIR, Minhaj Uddin *et al.* Gasification of lignocellulosic biomass to produce syngas in a 50 kW downdraft reactor. **Biomass and Bioenergy**, v. 119, p. 335-345, 2018. Doi: 10.1016/j.biombioe.2018.10.006
34. NAM, Hoseok *et al.* Biomass gasification with high temperature heat and economic assessment of fusion-biomass hybrid system. **Fusion Engineering and Design**, v. 146, p. 1838-1842, 2019. Doi: 10.1016/j.fusengdes.2019.03.047

35. NANDA, Sonil *et al.* Pathways of lignocellulosic biomass conversion to renewable fuels. **Bio-mass Conversion and Biorefinery**, v. 4, n. 2, p. 157-191, 2014. Doi: 10.1007/s13399-013-0097-z
36. OKOLIE, Jude A. *et al.* Optimization and modeling of process parameters during hydrothermal gasification of biomass model compounds to generate hydrogen-rich gas products. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 45, n. 36, p. 18275-18288, 2020. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.05.132
37. PASSOTH, Volkmar; SANDGREN, Mats. Biofuel production from straw hydrolysates: current achievements and perspectives. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 103, n. 13, p. 5105-5116, 2019. Doi: 10.1007/s00253-019-09863-3
38. PRASAD, Lalta; SUBBARAO, P. M. V.; SUBRAHMANYAM, J. P. Experimental investigation on gasification characteristic of high lignin biomass (Pongamia shells). **Renewable Energy**, v. 80, p. 415-423, 2015. Doi: 10.1016/j.renene.2015.02.024
39. PEREIRA, Lucas Lemos *et al.* Produção e avaliação dos produtos da pirólise de sabugo de milho e caule de girassol. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2, 2016. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2016. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/27036>. Acesso em: dezembro de 2020.
40. RAKESH, N.; DASAPPA, S. A critical assessment of tar generated during biomass gasification-Formation, evaluation, issues and mitigation strategies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p. 1045-1064, 2018. Doi: 10.1016/j.rser.2018.04.017
41. RAJ, Tirath *et al.* Physical and chemical characterization of various Indian agriculture residues for biofuels production. **Energy & Fuels**, v. 29, n. 5, p. 3111-3118, 2015. Doi: 10.1021/ef5027373
42. REDDY, B. Rajasekhar; VINU, R. Feedstock characterization for pyrolysis and gasification. In: **Coal and Biomass Gasification**. Springer, Singapore, 2018. p. 3-36. Doi: 10.1007/978-981-10-7335-9\_1
43. REN, Jie *et al.* Biomass thermochemical conversion: A review on tar elimination from biomass catalytic gasification. **Journal of the Energy Institute**, v. 93, n. 3, p. 1083-1098, 2020. Doi: 10.1016/j.joei.2019.10.003
44. RITCHIE, Hannah; ROSER, Max. Fossil fuels. **Our World in Data**, 2017. Disponível em: <https://ourworldindata.org/fossil-fuels>. Acesso em: dezembro de 2020.
45. SCARLAT, Nicolae; MARTINOV, Milan; DALLEMAND, Jean-François. Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: potential and limitations for bioenergy use. **Waste management**, v. 30, n. 10, p. 1889-1897, 2010. Doi: 10.1016/j.wasman.2010.04.016
46. SLUITER, A. *et al.* **Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass**. National Renewable Energy Laboratory (NREL), p. 1-16, 2012. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy11/42618.pdf>. Acesso em: dezembro de 2020.
47. SIKARWAR, V. S. *et al.* An overview of advances in biomass gasification. **Energy and Environmental Science**, v. 9, n. 10, p. 2939–2977, 2016. Doi: 10.1039/C6EE00935B.

48. SITUMORANG, Yohanes Andre *et al.* Small-scale biomass gasification systems for power generation (< 200 kW class): A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 117, p. 109486, 2020. Doi: 10.1016/j.rser.2019.109486
49. SIVASANGAR, S. *et al.* Supercritical water gasification of empty fruit bunches from oil palm for hydrogen production. **Fuel**, v. 143, p. 563-569, 2015. Doi: 10.1016/j.fuel.2014.11.073
50. SUN, Jie *et al.* Subcritical water gasification of lignocellulosic wastes for hydrogen production with Co modified Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts. **The Journal of Supercritical Fluids**, p. 104863, 2020. Acesso em: dezembro de 2020. Doi: 10.1016/j.supflu.2020.104863
51. TAKADA, Masatsugu *et al.* Characterization of lignin-derived products from various lignocellulose as treated by semi-flow hot-compressed water. **Journal of Wood Science**, v. 64, n. 6, p. 802-809, 2018. Doi: 10.1007/s10086-018-1752-6
52. TERI - The Energy and Resources Institute. Crop residue management: solution to achieve better air quality. 2019. Disponível em: <https://www.teriin.org/sites/default/files/2020-01/crop-residue-management.pdf>. Acesso em: dezembro de 2020.
53. TIAN, Tian *et al.* Effects of biochemical composition on hydrogen production by biomass gasification. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, n. 31, p. 19723-19732, 2017. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.06.174
54. USDA - United States Department of Agriculture. Grain: World Markets and Trade. 2020. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>. Acesso em: dezembro de 2020.
55. VALIN, Sylvie *et al.* Fluidised Bed Gasification of Diverse Biomass Feedstocks and Blends—An Overall Performance Study. **Energies**, v. 13, n. 14, p. 3706, 2020. Doi: 10.3390/en13143706
56. WEC - World Energy Council. World Energy Resources 2013: Bioenergy. 2013. Disponível em: [https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2013/10/WER\\_2013\\_7\\_Bioenergy.pdf](https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2013/10/WER_2013_7_Bioenergy.pdf). Acesso em: dezembro de 2020.
57. YANIK, Jale *et al.* Biomass gasification in supercritical water: II. Effect of catalyst. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, n. 17, p. 4520-4526, 2008. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2008.06.024
58. YU, Haimiao *et al.* Characteristics of tar formation during cellulose, hemicellulose and lignin gasification. **Fuel**, v. 118, p. 250-256, 2014. Doi: 10.1016/j.fuel.2013.10.080
59. YU, Haimiao; WU, Zilu; CHEN, Geng. Catalytic gasification characteristics of cellulose, hemicellulose and lignin. **Renewable Energy**, v. 121, p. 559-567, 2018. Doi: 10.1016/j.renene.2018.01.047
60. ZHANG, Ziyin; PANG, Shusheng. Experimental investigation of tar formation and producer gas composition in biomass steam gasification in a 100 kW dual fluidised bed gasifier. **Renewable Energy**, v. 132, p. 416-424, 2019. Doi: 10.1016/j.renene.2018.07.144
61. ZHOU, Bingliang *et al.* Tar formation and evolution during biomass gasification: An experimental and theoretical study. **Fuel**, v. 234, p. 944-953, 2018. Doi: 10.1016/j.fuel.2018.07.105
62. ZONG, Peijie *et al.* Pyrolysis behavior and product distributions of biomass six group components: Starch, cellulose, hemicellulose, lignin, protein and oil. **Energy Conversion and Management**, v. 216, p. 112777, 2020. Doi: 10.1016/j.enconman.2020.112777

“

# Caracterização energética de madeira de *E. grandis*, *Pinus* sp., *T. vulgaris* e *P. lecointei*

- I Matheus Couto **Crisóstomo**  
UnB
- I Macksuel Fernandes da **Silva**  
UnB
- I Ailton Teixeira do **Vale**  
UnB
- I Bruno Sant'Anna **Chaves**  
IBAMA

# RESUMO

Uma das formas para se alcançar o uso sustentável da madeira e carvão vegetal é através da seleção das espécies que apresentam melhor potencial energético quando comparadas a outras que são comumente utilizadas na conversão para energia. Avaliar as características energéticas de diferentes espécies lenhosas permite a quantificação das principais características utilizadas para qualificar energeticamente um material. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial energético da biomassa e carvão vegetal das espécies lenhosas *Eucalyptus grandis* (eucalipto), *Tachigali vulgaris* (carvoeiro), *Pinus sp.* (pinus) e *Peltogyne lecointei* (roxinho). As amostras de resíduos madeireiros das quatro espécies selecionadas foram carbonizadas com temperatura máxima de 450°C, com taxa de aquecimento de 1,5°C.min<sup>-1</sup>. Tanto no carvão como na biomassa “*in natura*” foram determinados o poder calorífico superior, poder calorífico inferior, poder calorífico útil, análise imediata (teores de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo), densidade básica, densidade energética e o rendimento gravimétrico do carvão. As análises indicaram que todas as espécies apresentam potencial para uso energético, com destaque para *P. lecointei* que apresentaram valores de poder calorífico superior e densidade energética superiores as demais espécies. Outras variáveis importantes como o teor de cinzas e rendimento gravimétrico no carvão estão dentro dos níveis aceitáveis para essas variáveis, demonstrando o forte potencial dessas espécies para o uso energético.

**Palavras-chave:** Biomassa, Carvão, Análise Imediata, Densidade.

## INTRODUÇÃO

A utilização da biomassa como combustível pode ser feita na sua forma *in natura* como lenha, resíduos agrícolas, resíduos florestais, óleos animais e óleos vegetais; ou transformada em álcool, carvão vegetal, gás pobre e biogás (LIMA et al., 2011). Neste cenário destaca-se a biomassa florestal principalmente com o uso da madeira, que constitui uma alternativa de fonte renovável de energia (SIMIONI et al., 2017).

Desta forma o Brasil poderá ser um dos destaques no cenário mundial em produção de energia limpa e sustentável, pois apresenta excelentes condições edafoclimáticas e territoriais, o que permite a ampliação da participação da biomassa agrícola e florestal na matriz energética nacional. A madeira oriunda das florestas nativas, plantações florestais como as de eucalipto e de culturas agrícolas, como a cana-de-açúcar são as principais fontes energéticas de biomassa usadas atualmente no Brasil (HASSUANI et al., 2005).

O uso da madeira para a geração de energia no Brasil tem sido historicamente relacionado ao consumo direto com a queima de lenha e indireto com a produção de carvão vegetal no setor siderúrgico. Considerado um dos insumos mais importantes da indústria siderúrgica nacional, o carvão vegetal registrou consumo de 4,6 milhões de toneladas no Brasil em 2015, sendo 82% ou 43 milhões de metros cúbicos, produzidos a partir de madeira oriunda de árvores plantadas (IBÁ, 2016) e 5,1 milhões em 2017 (BEN, 2018).

Apesar da significativa participação das florestas plantadas, o setor florestal tem direcionado investimentos para pesquisas com espécies nativas que vem ganhando espaço, pois o mercado busca cada vez mais espécies alternativas que tenha como principal característica o rápido crescimento, alta produtividade e boa adaptação as condições do solo (RODRIGUES et al., 2018). Neste sentido, ações e projetos de pesquisa que tenham por objetivo avaliar as características energéticas de diferentes espécies lenhosas, de forma sustentável, são fundamentais para o desenvolvimento desta importante área.

As principais características utilizadas para qualificar energeticamente um material são o poder calorífico, teor de umidade, densidade básica da madeira, análise imediata (teores de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo), além dos teores de lignina, holocelulose e extrativos (FURTADO et al., 2012).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial energético da biomassa e carvão vegetal das espécies lenhosas *Eucalyptus grandis* (eucalipto), *Tachigali vulgaris* (carvoeiro), *Pinus* sp. (pinus) e *Peltogyne lecointei* (roxinho).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Seleção, preparo e carbonização das amostras

Foram selecionadas e coletadas amostras de resíduos madeireiros de *Eucalyptus grandis* (eucalipto), *Tachigali vulgaris* (carvoeiro), *Pinus* sp. (pinus) e *Peltogyne lecointei* (roxinho), provenientes do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) localizado em Brasília/DF.

Para análise do material “in natura” as amostras de cada espécie foram transformadas em serragem utilizando-se um moinho de facas do tipo Willey e submetidas à separação mecânica no agitador orbital de peneiras, para a seleção da fração retida na peneira com malha de 60mesh.

Para a produção do carvão vegetal amostras com dimensões de 2x2x10cm foram previamente secas em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  e carbonizadas em forno mufla com o seguinte protocolo: temperatura máxima de  $450^{\circ}\text{C}$  (permanecendo neste patamar por 90 minutos), tempo total de 9 horas e taxa de aquecimento até atingir  $450^{\circ}\text{C}$  de  $1,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .

### Caracterização energética da biomassa e do carvão vegetal

As análises descritas a seguir foram realizadas tanto para biomassa *in natura* quanto para o carvão vegetal das espécies estudadas.

Para a realização da análise imediata, utilizou-se a metodologia ABNT NBR 8112 (ABNT, 1983), com algumas adaptações, como granulometria menor que  $250\mu\text{m}$  e uso de cadinhos de cerâmica.

As densidades aparentes foram determinadas com base na norma ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997), a densidade básica foi determinada utilizando o método hidrostático, por meio de imersão em água, conforme descrito na norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

Os ensaios de poder calorífico superior (PCS) foram realizados em triplicata, por meio de uma bomba calorimétrica PARR modelo 6400 – Automatic Isoperibol Calorimeter, conforme metodologia descrita pela NBR 8633, ABNT (1984), utilizando para o carvão vegetal amostras de aproximadamente 0,5g. O poder calorífico inferior (PCI), e o poder calorífico útil (PCU) foram determinados pelas Equações 1 e 2, respectivamente:

$$PCI = PCS - 2.5104 * \frac{(9 * T_h)}{100} \quad (1)$$

$$PCU = [PCI * (1 - U)] - 2.5104 * U \quad (2)$$

Onde: PCI = poder calorífico inferior (kcal kg<sup>-1</sup>); PCS = poder calorífico superior (kcal kg<sup>-1</sup>); T<sub>h</sub> = teor de hidrogênio (%); PCU = poder calorífico útil (kcal kg<sup>-1</sup>); U = teor de umidade (%).

Com base nos poderes coloríficos e nas densidades determinaram-se as densidades energéticas, conforme as Equações de 3 a 6:

$$DE_u = \rho_u * PCU * 10^{-3} \quad (3)$$

$$DE_{0\%} = \rho_{0\%} * PCI * 10^{-3} \quad (4)$$

$$DE_{pb} = \rho_b * PCS * 10^{-3} \quad (5)$$

$$DE_c = \rho_c * PCS * 10^{-3} \quad (6)$$

Onde: DE<sub>u</sub>, DE<sub>0%</sub>, DE<sub>b</sub> = densidades energéticas (Mcal m<sup>-3</sup>) com base nas densidades úmida, seca a 0% e básica para o material *in natura* e DE<sub>c</sub> = densidade energética carvão vegetal; ρ<sub>u</sub>, ρ<sub>0%</sub>, ρ<sub>b</sub> = massa específica úmida, seca a 0% e básica do material *in natura* (Mcal m<sup>-3</sup>) e ρ<sub>c</sub> = densidade do carvão vegetal; PCU, PCI e PCS = poderes caloríficos útil, inferior e superior (kcal kg<sup>-1</sup>).

## Análise estatística dos dados

O experimento foi em delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial, 4 × 4, correspondendo a quatro espécies (*E. grandis*, *T. vulgaris*, *Pinus* sp., e *P. lecointei*) e quatro condições (densidade seca ao ar, 0%, básica e do carvão).

Procedeu-se à análise descritiva para as características do material (teor dos materiais voláteis, teor de cinzas, teor de carbono fixo) e seu poder calorífico, e análise de variância (ANOVA) para avaliar o efeito da espécie e da condição do material sobre as propriedades de massa específica, e densidade energética, com posterior teste de Tukey (α= 0,05) para a comparação entre médias dos parâmetros que apresentaram diferenças significativas para a ANOVA (α= 0,05). Os dados obtidos foram tratados pelo software IBM SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*) versão 21.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização energética

A Tabela 1 apresenta a massa específica da madeira para todas as espécies e condições avaliadas. A densidade básica da madeira tem como definição a quantidade de massa de madeira, sem influência da umidade para a geração de energia, sendo uma informação essencial para o dimensionamento das unidades de geração de energia, do rendimento e eficiência dos sistemas de geração (NOGUEIRA; LORA, 2003; BRAND, 2010).

Neto et al. (2015) afirmam que a densidade básica é considerada a propriedade física mais importante da madeira, pois trata-se de um parâmetro significativo para os tecnólogos da madeira, pois guarda grandes relações diretas com as propriedades do carvão, assim fornecendo parâmetros confiáveis para a escolha de uma espécie para a produção de bom carvão vegetal.

A massa específica na condição seca ao ar apresentou diferença significativa para as quatro espécies avaliadas. Foi verificada também diferença significativa nas condições de seca a 0% e densidade básica, com a espécie *P. lecointei* apresentando os maiores resultados.

A análise da massa específica permite agrupar as espécies avaliadas em três grupos: madeiras leves (*Pinus* sp.), indicadas para aeromodelismo, madeiras moderadamente leves (*E. grandis* e *T. vulgaris*), indicadas para movelaria, e madeiras pesadas (*P. lecointei*), indicadas para construção civil (MELO & CAMARGOS, 2016). Da mesma forma, foi observado que quanto maior a massa específica da madeira, maior foi a massa específica do carvão produzido, especialmente na espécie *P. lecointei*, que apresentou a maior massa específica entre os carvões obtidos.

**Tabela 1.** Comparação entre as médias da massa específica ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) em função da espécie e da condição do combustível.

| Espécie             | Condição   |           |                  |         |
|---------------------|------------|-----------|------------------|---------|
|                     | Seca ao ar | Seca a 0% | Densidade básica | Carvão  |
| <i>E. grandis</i>   | 0,84b      | 0,75 b    | 0,64 b           | 0,38 b  |
| <i>T. vulgaris</i>  | 0,68 c     | 0,62 c    | 0,55 c           | 0,35 bc |
| <i>Pinus</i> sp.    | 0,50 d     | 0,47 d    | 0,41 d           | 0,29 c  |
| <i>P. lecointei</i> | 1,03 a     | 0,96 a    | 0,86 a           | 0,59 a  |

Médias seguidas das mesmas letras minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05\%$ ).

Neves et al. (2011) encontraram valores próximos a  $0,51 \text{ g.cm}^{-3}$  para a madeira de eucalipto, valores inferiores aos encontrados nesse estudo, porém, justificáveis pelos fatores que influenciam fortemente na densidade básica da madeira como a idade, sítio ou posição longitudinal da madeira. A queima da biomassa *in natura* ocorre na forma gasosa, a grande produção de materiais voláteis composto, entre outros, por gases combustíveis. Os dados

da Tabela 2 comprovam a grande quantidade de materiais voláteis e a baixa quantidade de carbono fixo da biomassa *in natura*.

**Tabela 2.** Valores médios para os teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas da biomassa por espécie.

| Espécie             | Carbono fixo (%) | Teor de voláteis (%) | Teor de cinzas (%) |
|---------------------|------------------|----------------------|--------------------|
| <i>E. grandis</i>   | 18,17            | 81,79                | 0,04               |
| <i>T. vulgaris</i>  | 16,04            | 83,64                | 0,32               |
| <i>Pinus sp.</i>    | 15,51            | 84,19                | 0,30               |
| <i>P. lecointei</i> | 19,51            | 80,11                | 0,38               |

Segundo Tavares e Santos (2013), o percentual de materiais voláteis representa a facilidade com que o material e o carbono fixo queimam em um determinado período de tempo, neste sentido a biomassa de *Pinus sp.* teria uma maior facilidade de ignição, se comparada com as demais espécies.

Amorim et al. (2015) e Oliveira et al. (2019) observaram valores médios de materiais voláteis de 85,27% e 80,77%, respectivamente para espécies de *Pinus sp.* e *Tabebuia impetiginosa*. Para a espécie *T. vulgaris*, Dionizio et al. (2015) encontraram 82,3% nessa variável e Eloy et al. (2016) observaram uma média de 82,85% de matérias voláteis para *E. grandis*, todos valores semelhantes aos obtidos nesse estudo.

Maior teor de cinza não é interessante do ponto de vista energético, uma vez que contribui para a redução do poder calorífico superior, pois não participam do processo de combustão, neste sentido teores de cinza até 1,5 % são preferíveis para uma biomassa (BRAND, 2010). Sendo assim, os teores de cinzas encontrados na biomassa das quatro espécies estão dentro dos níveis aceitáveis para essa variável.

Além disso, os altos teores de cinzas podem formar nas superfícies de troca térmica dos geradores de vapor severas deposições gerando escórias que podem levar ao mau funcionamento e reduzir a eficiência da transferência de calor (VAMVUKA et al. 2014). As deposições podem também, em longo prazo, em função da sua abrasividade, causar corrosão nos elementos metálicos dos queimadores (CARNEIRO et al., 2014; LIU et al., 2014).

São relatados na literatura baixos valores para o teor de cinzas na madeira de eucalipto variando de 0,07% a 1% (SETTE et al., 2018; ELOY et al., 2016; SANTOS et al., 2016) e segundo Carroll e Finnan (2012) o valor médio do teor de cinzas encontrado na biomassa de *Pinus sp.* resultou em 0,7%. Valores aproximados também foram encontrados em estudos com a espécie *T. vulgaris*, realizados por Vale et al. (2002), que observaram uma média no teor de cinzas de 0,39% para a espécie.

Os valores de carbono fixo na biomassa variaram de 15,51% (*Pinus sp.*) a 19,51 (*P. lecointei*) nas quatro espécies analisadas. Dionizio et. al, (2015) e Eloy et al. (2016)

encontraram valores semelhantes para o carbono fixo na biomassa de *T. vulgaris* (18,50%) e *E. grandis* (17,99%).

O teor de carbono fixo é uma propriedade importante, pois revela a quantidade de carbono que ficou retido na forma sólida após o processo de pirólise, estando este relacionado com o valor energético e a estabilidade térmica do material combustível. Maiores percentuais de carbono fixo proporcionam uma maior liberação de energia e um maior tempo de queima, resultando na necessidade de menos combustível ou menores intervenções para abastecimento do equipamento de conversão energética (Costa et al., 2017). Além disso, é sabido que o teor de carbono fixo tem relação positiva com o poder calorífico do material (Soares et al., 2014).

Ao contrário da biomassa *in natura* a queima do carvão vegetal ocorre na forma sólida, principalmente com a combustão do carbono fixo. Os dados da Tabela 3 comprovam a maior quantidade de carbono fixo e a baixa quantidade de material volátil.

**Tabela 3.** Valores médios para os teores de carbono fixo, materiais voláteis, cinzas e rendimento gravimétrico do carvão vegetal por espécie.

| Espécie             | Carbono fixo (%) | Teor de voláteis (%) | Teor de cinzas (%) | Rendimento gravimétrico (%) |
|---------------------|------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|
| <i>E. grandis</i>   | 66,85            | 33,12                | 0,03               | 40,32                       |
| <i>T. vulgaris</i>  | 66,96            | 31,98                | 1,06               | 39,38                       |
| <i>Pinus</i> sp.    | 61,30            | 38,31                | 0,39               | 39,46                       |
| <i>P. lecointei</i> | 63,88            | 35,75                | 0,36               | 50,08                       |

A utilização de uma determinada madeira para fins energéticos deve basear-se no conhecimento de suas características químicas e físicas, sendo que, quanto maior sua densidade e seu teor de lignina, maior será o rendimento em carvão vegetal na carbonização, bem como, maior será a quantidade de energia liberada em sua combustão (NETO et. al, 2015).

Trugilho et al. (2005), trabalhando com seis clones de híbridos de *Eucalyptus* sp., obtiveram uma variação de 35,95% a 40,24% no rendimento gravimétrico do carvão vegetal, utilizando-se temperatura máxima de 450°C, mesma condição utilizada e valores de rendimento semelhantes aos encontrados neste trabalho. Das quatro espécies avaliadas, *P. lecointei* apresentou o maior rendimento em produção de carvão (50,08%), fato que pode ser justificado principalmente pela alta densidade básica da espécie, a maior entre as quatro.

A presença de materiais voláteis no carvão facilita sua ignição, devido à mistura com oxigênio do ar proporcionando combustão mais eficiente e homogênea (Protásio et al., 2017). De modo geral, as quatro espécies apresentaram baixo teor de carbono fixo e alto teor de voláteis quando comparados àqueles mencionados na literatura para carvão do gênero *Eucalyptus* (DOS SANTOS et al., 2012).

Após a carbonização, o incremento em carbono fixo da biomassa para o carvão das quatro espécies foi em média de 295,34%. Isso ocorre devido às transformações que a

madeira sofre através da eliminação de materiais voláteis durante a carbonização, com consequente concentração de carbono fixo no carvão vegetal produzido.

O poder calorífico representa a quantidade de calor liberada, por unidade de massa do combustível, quando a combustão se dá de forma completa (ÇENGEL & BOLES, 2006). A quantidade de energia liberada por um combustível é um dos principais indicativos de qualidade para uso energético, contudo, vale ressaltar que o poder calorífico superior é um resultado teórico, e o que importa do ponto de comercialização, é a quantidade de energia útil a ser liberada pela combustão (Oliveira et al., 2019). Os valores de poder calorífico útil (PCU) podem ser obtidos a partir do poder calorífico superior (PCS) corrigido de acordo com o teor de umidade da madeira.

A principal utilização do carvão vegetal é na siderurgia, onde necessita-se de carbono para as reações de termo redução, neste sentido, a principal motivação para a realização da carbonização está na concentração de carbono. Por outro lado, quando o uso do carvão se faz na combustão, esta motivação reside no fato de o carvão vegetal liberar, em sua queima, uma quantidade de energia maior que a lenha de partida. Enquanto que na madeira o poder calorífico gira em torno de 4500 kcal/kg na base seca, no carvão vegetal pode chegar a 8000 kcal/kg (BRITO; CINTRA, 2004).

Analisando os dados da Tabela 4 e comparando o poder calorífico superior (PCS) da biomassa com o carvão vegetal das quatro espécies foi observado um incremento médio de 47,91% nos carvões avaliados, sendo o incremento porcentual de 44,71% em *E. grandis*; 41,21% em *T. vulgaris*; 49,39% em *Pinus sp.* e 54,22% em *P. lecointei*.

**Tabela 4.** Valores médios de poder calorífico (kcal.kg<sup>-1</sup>) em função da espécie e da condição do combustível.

| Espécie             | Biomassa                  |                           |                       | Carvão                    |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
|                     | Poder calorífico superior | Poder calorífico inferior | Poder calorífico útil | Poder calorífico superior |
| <i>E. grandis</i>   | 4.807                     | 4.805                     | 3.960                 | 6.957                     |
| <i>T. vulgaris</i>  | 4.753                     | 4.750                     | 3.998                 | 6.711                     |
| <i>Pinus sp.</i>    | 4.889                     | 4.884                     | 4.143                 | 7.303                     |
| <i>P. lecointei</i> | 4.972                     | 4.967                     | 4.079                 | 7.461                     |

Para os valores encontrados de poder calorífico superior da biomassa, Quirino et al. (2005) em seu levantamento bibliográfico sobre os valores de poder calorífico superior da biomassa de espécies florestais encontrou valores aproximados aos obtidos neste estudo, sendo no *E. grandis* (4.682kcal.kg<sup>-1</sup>) e *Pinus sp.* (4.786kcal.kg<sup>-1</sup>).

A densidade energética é obtida pelo produto entre o poder calorífico e a densidade aparente da madeira. É uma propriedade importante, que, por ter a densidade e o poder calorífico na sua determinação, acaba por englobar as características químicas e físicas da madeira para a produção de energia na forma de calor.

A baixa densidade energética inviabiliza o transporte a maiores distâncias por ocupar grandes volumes, além do baixo conteúdo energético contido por unidade volumétrica, características presentes na maioria das biomassas de origem vegetal (NHUCHHEN et al., 2014). Na Tabela 5 estão os valores médios para a densidade energética da biomassa *in natura* e do carvão vegetal.

**Tabela 5.** Comparação entre as médias da densidade energética (kcal/m<sup>3</sup>) em função da espécie a 0% de umidade.

| Espécie             | <i>In natura</i> | Carvão     |
|---------------------|------------------|------------|
| <i>E. grandis</i>   | 3598,76 b        | 2650,83 b  |
| <i>T. vulgaris</i>  | 2936,89 c        | 2322,20 cd |
| <i>Pinus sp.</i>    | 2280,80 d        | 2125,43 d  |
| <i>P. lecointei</i> | 4770,37 a        | 4365,00 a  |

Médias seguidas das mesmas letras minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05\%$ ).

Observa-se que o comportamento entre espécies para a densidade energética acompanha a variação da densidade (Tabela 1), com diferença significativa entre elas e destaque para *P. lecointei* apresentando o maior valor de densidade energética tanto para a condição *in natura* quanto carvão vegetal.

A redução acentuada na densidade aparente do carvão de 97,37% em *E. grandis*, 77,14% em *T. vulgaris*, 62,07% em *Pinus sp.* e 62,71% em *P. lecointei*, comparadas com a densidade aparente da biomassa, reduziram o valor da densidade energética do carvão, apesar do aumento do poder calorífico superior no material pirolisado. Principalmente nos carvões de *E. grandis* e *T. vulgaris* houve uma redução expressiva no valor da densidade aparente.

Os resultados encontrados são superiores àqueles citados por Neves et al. (2013) para os clones de eucalipto, e por Silva et al. (2015) para *Eucalyptus benthamii*. Esta diferença de resultados pode ser explicada pela ampla variabilidade do gênero *Eucalyptus* em relação à massa específica, propriedade esta que possui influência direta sobre a densidade energética.

## CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos valores observados, constatou-se que os resíduos madeireiros das quatro espécies apresentam elevado potencial para uso energético, tanto a biomassa “*in natura*” como o carvão vegetal, que apresentou alto rendimento gravimétrico (acima de 38% para todas as espécies), variável extremamente importante quando se trata da produção de carvão vegetal.

O carvão apresentou maior poder calorífico superior que a madeira, conforme esperado, o incremento médio de 47,91% no poder calorífico superior justifica a carbonização, além disso, os elevados valores de densidade energética e baixo teor de cinzas no carvão

e biomassa demonstram a possibilidade de utilização das quatro espécies para uso doméstico e siderúrgico.

## ■ REFERÊNCIAS

1. AMORIM, F.S., RIBEIRO, M., PROTÁSIO, T., BORGES, C., COSTA, R. Produção de briquetes a partir de espécies florestais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, p. 2015.
2. BRAND, M.A. **Energia da biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
3. BRITO, J.O., CINTRA, T.C. Madeira para energia no Brasil: realidade, visão estratégica e demandas de ações. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 157-163, 2004.
4. BEN 2018. **Balanço energético Nacional 2018. Relatório síntese, ano base 2017**. Brasília: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018.
5. CARNEIRO, A.C.O., SANTOS, F., COLODETTE, J., QUEIROZ, J.H. Pirólise lenta da madeira para produção de carvão vegetal. **Bioenergia e biorrefinaria - Cana-de-açúcar e Espécies Florestais**. v.1, p. 429-455, 2013.
6. CARROLL, J.P., FINNAN, J. Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws. **Biosystems Engineering**, v. 112, n. 2, p. 151-159, 2012.
7. ÇENGEL, Y.A., BOLES, M.A. **Thermodynamics - An engineering approach**. Ed.5. New York: McGraw-Hill, 2006.
8. COSTA, A.C.S., OLIVEIRA, A.C., FREITAS, A., LEAL, C.S., PEREIRA, B.L.C. Qualidade do carvão vegetal para cocção de alimentos comercializado em Cuiabá-MT. **Nativa, Sinop**, v. 5, n. 6, p. 456-461, 2017.
9. DE LIMA, E.A., DA SILVA, H.D., LAVORANTI, O.J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 65, p. 09, 2011.
10. DIONIZIO, A.F., SETTE JR, C.R., SILVA, M.F., FARIA, M.C.G. **Atlas de Madeiras - Identificação e Qualidade da Madeira de Espécies do Cerrado e Transição com a Amazônia**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2015.
11. DOS SANTOS, R.C., CARNEIRO, A.D.C.O., TRUGILHO, P.F., MENDES, L.M., CARVALHO, A.M.M.L. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 143-151, 2012.
12. ELOY, E., SILVA, D.A.D., SCHMIDT, D., TREVISAN, R., CARON, B.O., ELLI, E.F. Effect of planting age and spacing on energy properties of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p. 749-758, 2016.
13. FURTADO, T.S., FERREIRA, J.C., BRAND, M.A., NEVES, M.D. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. **Revista Árvore**, v. 36, n. 3, p. 577-582, 2012.
14. HASSUANI, S.J., LEAL, M.R.L.V., MACEDO, I.C. **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash**. Ed.1. Piracicaba: PNUD-CTC, 2005.

15. IBA. Relatório anual. , 2016. Acesso em: 01 de novembro de 2019.
16. LIU, Z.J, FEI, B.H., JIANG, Z.H, CAI, Z.Y., LIU, X.E. Important properties of bamboo pellets to be used as commercial solid fuel in China. **Wood Science Technology**, v. 48, p. 903-917, 2014.
17. MELO, J.E.,CAMARGOS, J.A.A. **A madeira e seus usos**. Brasília: SFB/LPF/MMA, 2016. 228p.
18. NBR-7190. **Projeto de estruturas de madeira**. São Paulo: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997.
19. NBR-8112. **Carvão vegetal - Análise imediata**. São Paulo: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983.
20. NBR-8633. **Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico**. São Paulo: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984.
21. NBR-11941. **Determinação de densidade básica** São Paulo: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2003.
22. NETO, A.D.P.M.,LINS, C.F.,BRANDÃO, S.,DUARTE, B.,ALMIR, J.,MARANGON, L.C.,FELICIANO, A.L.P. Densidade e poder calorífico como base para prevenção de incêndios florestais sob linhas de transmissão. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 10-15, 2015.
23. NEVES, T.A.,DE PAULA PROTÁSIO, T.,COUTO, A.M.,TRUGILHO, P.F.,SILVA, V.O.,VIEIRA, C.M.M. Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 319, 2011.
24. NEVES, T.A.,DE PAULA PROTÍ, T.,TRUGILHO, P.F.,VALLE, M.L.A.,DE SOUSA, L.C.,VIEIRA, C.M.M. Qualidade da madeira de clones de Eucalyptus em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.
25. NHUCHHEN, D.R.,BASU, P.,ACHARYA, B. A comprehensive review on biomass torrefaction. **International Journal of Renewable Energy & Biofuels**, v. 2014, p. 1-56, 2014.
26. NOGUEIRA, L.A.H.,LORA, E.E.S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Ed.2. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
27. OLIVEIRA, R.S.,DA SILVA, L.F.F.,ANDRADE, F.W.C.,TRUGILHO, P.F.,DE PAULA PROTÁSIO, T.,GOULART, S.L. Qualidade do carvão vegetal comercializado no Sudeste Paraense para cocção de alimentos. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, p. 2019.
28. PROTÁSIO, T.D.P.,GUIMARÃES JUNIOR, M.,MIRMEHDI, S.,TRUGILHO, P.F.,NAPOLI, A.,KNOVACK, K.M. Combustion of biomass and charcoal made from babassu nutshell. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 1-10, 2017.
29. QUIRINO, W.F.,VALE, A.T.,ANDRADE, A.P.,ABREU, V.L.S.,AZEVEDO, A.D.S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, v. 89, n. 100, p. 100-106, 2005.
30. RODRIGUES, P.M.D.M.,CONEGLIAN, A.,SILVA, M.F.D.,MORAES, M.D.A.D.,SETTE JUNIOR, C.R. Caracterização da madeira juvenil de Schizolobium parahyba (Vell.) SF Blake e Eucalyptus urophylla ST Blake em solo de Cerrado Brasileiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 271-280, 2018.

31. SANTOS, D. Potencial de espécies de bambu como fonte energética. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 751-758, 2016.
32. SETTE JR, C.R., HANSTED, A.L.S., NOVAES, E., LIMA, P.A.F., RODRIGUES, A.C., DE SOUZA SANTOS, D.R., YAMAJI, F.M. Energy enhancement of the eucalyptus bark by briquette production. **Industrial crops and products**, v. 122, p. 209-213, 2018.
33. SILVA, D.A., MULLER, B.V., KUIASKI, E.C., ELOY, E., BEHLING, A., COLAÇO, C.M. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 481-485, 2015.
34. SIMIONI, F.J., MOREIRA, J.M.M.Á.P., FACHINELLO, A.L., DE ALMEIDA BUSCHINELLI, C.C., MATSUURA, M.I.D.S.F. Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal da silvicultura no Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 731-741, 2017.
35. SOARES, V.C., BIANCHI, M.L., TRUGILHO, P.F., PEREIRA, A.J., HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 38, n. 3, p. 543-549, 2014.
36. TAVARES, S., SANTOS, T. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **Holos**, v. 5, p. 19-27, 2013.
37. TRUGILHO, P.F., DA SILVA, J.R.M., MORI, F.A., LIMA, J.T., MENDES, L.M., DE BARROS MENDES, L.F. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.
38. VALE, A.T., BRASIL, M.A.M., LEO, A.L. Quantificação energética e caracterização de madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, n.1, p. 71-80, 2002.
39. VAMVUKA, D., TRIKOUVERTIS, M., PENTARI, D., ALEVIZOS, G. Evaluation of ashes produced from fluidized bed combustion of residues from oranges' plantations and processing. **Renewable energy**, v. 72, p. 336-343, 2014.

“

# Confecção de placa polimérica a partir da tecnologia *Wood-plastic composites*, *Wpc*, e sua eficiência térmica

- I Alexandre Rodriguez **Murari**  
IAU/USP
- I Victor José dos Santos **Baldan**  
IAU/USP
- I Gabriel de Castro **Dottori**  
IAU/USP
- I Javier Mazariegos **Pablos**  
IAU/USP
- I Eduvaldo Paulo **Sichieri**  
IAU/USP

# RESUMO

Atualmente, a incorporação de substâncias orgânicas em polímeros para substituir à matéria prima derivada do petróleo para confecção de elementos construtivos, tem se tornado objeto de estudo muito relevante no ramo da construção civil. A tecnologia de nome *wood- plastic composites (WPC)*, ou polímero-madeira, por exemplo, é um compósito, apresentado por meio deste artigo, que agrega a serragem da madeira ao termoplástico polipropileno, e os submete à moldagem a compressão térmica para a confecção de uma placa polimérica a fim de confeccionar um material voltado para atender a demanda da construção civil. Além de sua confecção, é analisado suas propriedades térmicas através do ensaio de condutividade térmica.

**Palavras-chave:** Madeira, Polipropileno, Compressão Térmica, *Wood-Plastic*, Propriedades Térmicas.

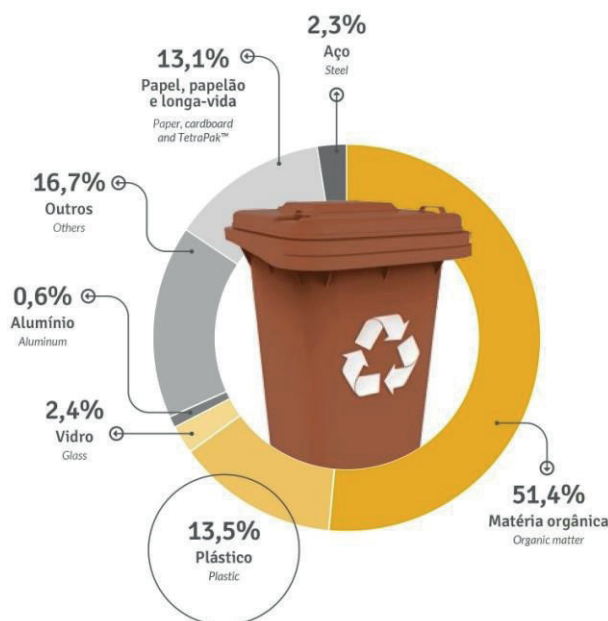
## INTRODUÇÃO

Há algumas décadas, a sociedade tem se conscientizado do uso e consumo exacerbado de produtos descartáveis e da forma indevida com o qual eles são lançados no meio ambiente. Tal preocupação tornou-se, tão relevante, a ponto de pesquisas científicas e inovações tecnológicas serem desenvolvidas neste âmbito, trazendo soluções que possam minimizar os efeitos colaterais de degradação ambiental, que são gerados pelo descarte indevido na natureza (SILVA, 2003).

A respeito dessas pesquisas e ações, a reciclagem e a reutilização de resíduos sólidos possibilitam e proporcionam um futuro ambiental menos agredido fisicamente, onde cidadãos podem tocar e desfrutar de uma qualidade de vida melhor no presente e, principalmente, nas gerações seguintes (RODRIGUES, 2008).

Um material de grande descarte no meio urbano, por exemplo, é o plástico (gráfico 01), que também é considerado um dos objetos mais reciclados, sendo que muito de seu reuso está associado na junção de outros componentes, provenientes também da coleta seletiva, que por sua vez, acabam formando um material heterogêneo, os compósitos.

**Gráfico 01.** Principais Materiais Descartados no Brasil



Fonte: Abiplast (2015).

Exemplo destes compósitos são os termoplásticos ou termorrígidos que ao incorporarem materiais e cargas orgânicas (fibra de coco, bagaço da laranja, serragem da madeira e outros) formam um novo produto com diversas aplicações no ramo da construção civil (SILVA, 2003; BALDAN, 2015).

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

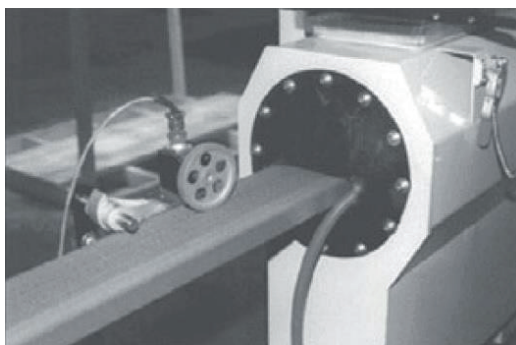
- Compósitos

Segundo Mano (1991), os compósitos correspondem a materiais heterogêneos com uma fase denominada reforço, que possui a função de resistir aos esforços recebidos e outra fase chamada matriz, por onde esse esforço é transmitido. Deste modo, a combinação entre reforço e matriz tem a função de promover uma característica específica do material gerando excelentes combinações, como resistência ao impacto, tenacidade, densidade, dureza, resistência a altas temperaturas, condutividade elétrica e corrosão.

- Aplicação de Compósitos

Segundo Correa, C. A. et al (2003), a utilização de compósitos já é antiga, pois desde a década de 70 já se utilizava a farinha ou fibra de madeira como carga em termoplásticos na indústria automobilística para a fabricação de painéis de carros. Porém, hoje em dia, sua aplicação estendeu-se também para atender as demandas de materiais do ramo da construção civil. O compósito polímero-madeira, também denominado, *wood-plastic composites (WPC)*, consiste na reutilização do pó de serra da madeira (imbuia, cerejeira, marfim e outros), componentes facilmente encontrados em madeiras e marcenarias, somado a cargas termoplásticas de polipropileno. Em função de suas propriedades favoráveis ao ramo da construção civil, tais como: resistência a umidade, insetos e pragas, melhor estabilidade dimensional, são recicláveis, não é necessário a aplicação de vernizes e menor custo de manutenção, sua aplicação varia desde dormentes, pisos e assoalhos, batentes de portas e janelas a revestimentos. A fabricação do compósito *wood-plastic composites*, é realizada através de uma máquina extrusora, onde esta recebe a serragem e o polipropileno para que no processo de extrusão seja confeccionada uma régua de madeira (figura 01), pronta para ser comercializada. Pode-se também triturar o produto final (régua) para adquirir o formato de grânulos (figura 02), já na proporção aproximada de 70% serragem e 30% polipropileno (PP), para que o mesmo possa ser injetado ou soprado, tal como, os termoplásticos polipropileno e polietileno (PP e PE), sendo assim, matéria-prima, para a indústria do plástico.

**Figura 01.** Cabeçote de uma máquina extrusora. Material pronto para ser triturado e ser transformado em grânulos ou ser comercializado da forma ilustrativa como deck, mourão, batente e outros.



**Fonte:** Correa et al.

Segundo Baldan (2015), a utilização dos compósitos deu-se ao confeccionar placas poliméricas desenvolvidas a partir da reciclagem do resíduo industrial de poliuretana termofixa utilizando a resina vegetal do óleo da mamona (*Ricinus Communis*) e duas mantas de fibra de vidro. Em sua metodologia, este resíduo fora moído em agregado reciclado, adicionado a resina vegetal *Ricinus Communis*, onde, confeccionou-se as placas poliméricas através da moldagem a compressão térmica e as caracterizou em relação as suas propriedades mecânicas, físicas, térmica, acústica e durabilidade, onde obteve resultados satisfatórios para a utilização destas placas no setor da construção civil.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O resíduo que fora utilizado para a confecção das placas, apresentado por meio deste artigo, são grânulos provenientes da tecnologia *wood-plastic composites*, WPC, (figura 02), já com as devidas proporções de 70% de madeira e 30% de polipropileno.

**Figura 02.** *wood-plastic composites*. Material em formato de grânulos.



**Fonte:** Os autores (2017).

A confecção da placa polimérica deu-se através da metodologia desenvolvida por Baldan (2015). Portanto, após a coleta do material, este, fora triturado por meio do moinho

(figura 03), para que tivesse granulometria e espessura ideal na confecção das placas sendo posteriormente separado e classificado, passando por análise mediante ao ensaio referente a norma NM 248 (ABNT, 2003) (determinação da composição granulométrica), para a caracterização de suas propriedades físicas.

**Figura 03.** Moinho



Fonte: Os autores (2017).

A etapa subsequente fora feita pela verificação do traço e dosagem do resíduo, visando obter dimensões e proporções ideais para que o composto fosse homogeneizado (figura 04) e solidificado com adição da resina vegetal derivada do óleo da mamona, *Ricinus Communis* (figura 05), estando pronto para confeccionar as placas poliméricas (BALDAN, 2015).

**Figura 04.** Processo de Homogeneização



Fonte: Os autores (2017).

**Figura 05.** Resina Vegetal (*Ricinus Communis*)



Fonte: Os autores (2017).

A confecção ocorreu mediante a moldagem do material na fôrma metálica (figura 06), que possui dimensões de 250mm x 300mm podendo variar sua espessura de 5mm até 25mm. Logo após, passou pela compressão térmica (figura 07), onde a mesma, tem capacidade para prensar até 5 toneladas a uma temperatura de 50°C, e no caso das placas, este processo de prensagem se estendeu por 15 minutos. Logo após a desforma, obteve-se a placa *wood-plastic composites* (figura 08).

**Figura 06.** Forma metálica



**Fonte:** Os autores (2017)

**Figura 07.** Prensa Térmica



**Fonte:** Os autores (2017).

**Figura 08.** Placa WPC



**Fonte:** Os autores (2017).

- Teste de Condutividade Térmica

No dia 22 de junho de 2017, foi realizado o teste de condutividade térmica com a placa polimérica *wood-plastic composites* confeccionada a partir da incorporação do resíduo industrial polipropileno reciclado (30%) somado à serragem (70%) e a resina poliuretana vegetal da mamona - "*Ricinus Communis*" (figura 09).

**Figura 09.** Instalação da placa no condutímetro



**Fonte:** Os autores (2017).

**Tabela 1. Resultados Finais**

|     | A          | B     | C        | D        | E        | F        | K        | I |
|-----|------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
| 324 | 23/06/2017 | 03:07 | 7,31E+02 | 4,84E+01 | 4,09E+01 | 3,63E+01 | 1,19E+00 |   |
| 325 | 23/06/2017 | 03:08 | 7,32E+02 | 4,83E+01 | 4,09E+01 | 3,62E+01 | 1,15E+00 |   |
| 326 | 23/06/2017 | 03:09 | 7,33E+02 | 4,83E+01 | 4,09E+01 | 3,63E+01 | 1,17E+00 |   |
| 327 | 23/06/2017 | 03:10 | 7,34E+02 | 4,84E+01 | 4,09E+01 | 3,63E+01 | 1,17E+00 |   |
| 328 | 23/06/2017 | 03:11 | 7,35E+02 | 4,84E+01 | 4,10E+01 | 3,63E+01 | 1,17E+00 |   |
| 329 | 23/06/2017 | 03:12 | 7,36E+02 | 4,84E+01 | 4,09E+01 | 3,63E+01 | 1,18E+00 |   |
| 330 | 23/06/2017 | 03:13 | 7,37E+02 | 4,84E+01 | 4,09E+01 | 3,63E+01 | 1,19E+00 |   |
| 331 | 23/06/2017 | 03:14 | 7,38E+02 | 4,84E+01 | 4,09E+01 | 3,63E+01 | 1,17E+00 |   |
| 332 | 23/06/2017 | 03:15 | 7,39E+02 | 4,83E+01 | 4,09E+01 | 3,63E+01 | 1,18E+00 |   |
| 333 | 23/06/2017 | 03:16 | 7,40E+02 | 4,83E+01 | 4,09E+01 | 3,62E+01 | 1,17E+00 |   |
| 334 | 23/06/2017 | 03:17 | 7,41E+02 | 4,83E+01 | 4,09E+01 | 3,62E+01 | 1,16E+00 |   |
| 335 | 23/06/2017 | 03:18 | 7,42E+02 | 4,83E+01 | 4,09E+01 | 3,62E+01 | 1,17E+00 |   |
| 336 | 23/06/2017 | 03:19 | 7,43E+02 | 4,83E+01 | 4,08E+01 | 3,62E+01 | 1,19E+00 |   |
| 337 | 23/06/2017 | 03:20 | 7,44E+02 | 4,83E+01 | 4,09E+01 | 3,63E+01 | 1,18E+00 |   |
| 338 | 23/06/2017 | 03:21 | 7,45E+02 | 4,83E+01 | 4,09E+01 | 3,62E+01 | 1,15E+00 |   |
| 339 | 23/06/2017 | 03:22 | 7,46E+02 | 4,83E+01 | 4,08E+01 | 3,63E+01 | 1,20E+00 |   |
| 340 | 23/06/2017 | 03:23 | 7,47E+02 | 4,83E+01 | 4,09E+01 | 3,63E+01 | 1,17E+00 |   |
| 341 | 23/06/2017 | 03:24 | 7,48E+02 | 4,83E+01 | 4,09E+01 | 3,62E+01 | 1,16E+00 |   |
| 342 | 23/06/2017 | 03:25 | 7,49E+02 | 4,82E+01 | 4,08E+01 | 3,62E+01 | 1,16E+00 |   |
| 343 | 23/06/2017 | 03:26 | 7,50E+02 | 4,83E+01 | 4,09E+01 | 3,62E+01 | 1,18E+00 |   |
| 344 |            |       |          |          |          |          | 1,10E-01 |   |
| 345 |            |       |          |          |          |          |          |   |

Fonte: Os autores (2017).

Através da tabela, nota-se o número de termopares 01 (temperatura da resistência), 02 (face inferior da amostra) e 03 (face superior da amostra). E por fim, ao lado direito, o resultado da condutividade térmica, até chegar ao final de 480 marcações e ser feito uma média aritmética entre eles (tabela 01), sendo o número 1,10W/mK, neste caso, correspondente ao resultado da condutividade térmica da placa analisada.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES FINAIS

Após a confecção das placas, notou-se que ao triturar a matéria-prima, que já possuía formato cilíndrico (figura 02), sua granulometria também ficou levemente arredonda, consequentemente, mesmo depois de prensar o material, a placa ficou com alguns pequenos vazios internos, pois os grãos não se travaram. Esses vazios, por sua vez, não exercem função estrutural nenhuma, diminuindo então a resistência mecânica e física das placas poliméricas *wood-plastic composites*.

### • Comparação da Condutividade Térmica Obtida

Por meio da tabela caracterizada por Roriz (2008), nota-se que a grande maioria dos materiais aplicados na construção civil possuem valor de condutividade térmica em até 2 W/mK, exceto a família dos metais (tabela 02).

**Tabela 02.** Tabela de caracterização da condutividade térmica de elementos com aplicação na construção civil

| MATERIAL / ELEMENTO                        | $\lambda$<br>W/m °C |
|--------------------------------------------|---------------------|
| Água                                       | 0,62                |
| Ar seco                                    | 0,024               |
| Areia seca                                 | 0,49                |
| Areia úmida                                | 2,35                |
| Argamassa de cal e cimento (ou de cimento) | 0,65<br>0,85        |
| Concreto armado                            | 1,75                |
| Feltro asfáltico                           | 0,14                |
| Fibra de vidro                             | 0,03                |
| Fibrocimento (placas ou telhas)            | 0,65<br>0,95        |
| Gesso (placa)                              | 0,35<br>0,53        |
| Lã de rocha                                | 0,03<br>0,04        |

Onde:  $\lambda$  = condutividade térmica. **Fonte:** Roriz Bioclimática. Disponível em: [http://www.roriz.eng.br/download\\_6.html](http://www.roriz.eng.br/download_6.html). Acesso em: 16 de novembro de 2017.

Com isso, o resultado obtido de condutividade térmica da placa polimérica *wood-plastic composites* de 1,10 W/mK mostra que o material possui capacidade térmica para a substituição de outros materiais como pedras, madeiras, gesso e areia, do ramo da construção civil.

## CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu apresentar etapas de confecção da placa polimérica com o material *wood-plastic composites*, (WPC) e, posteriormente, sua realização de ensaio térmico de condutividade térmica assim como sua comparação com o resultado obtido com outros materiais aplicados à construção civil. A princípio, através da tecnologia WPC, nota-se que, o material principal da placa, é a serragem de madeira que é coletada facilmente em madeiras e marcenarias. Deste modo, 70% de sua composição é reciclável. Já o termoplástico polipropileno, os outros 30%, pode ser ou não de reuso dependendo muito da maneira na qual foi produzido. A placa solidificou-se com sucesso podendo ainda ser aplicado testes físicos (absorção de água, inchamento, dureza e impacto); mecânicos (tração, flexão e punção); acústico (tubo de pedância); segurança contra incêndio (flamabilidade) e durabilidade (condutividade elétrica, resistência aos raios ultravioletas e às intempéries, abrasão superficial e ataque químico) para analisá-la quanto a sua utilização no ramo da construção civil e ser produzida em larga escala. Além disso, foi concluído que a placa polimérica *wood-plastic composites*, possui condutividade térmica muito similar a materiais como: pedras, madeiras, gesso, areia, concreto armado, argamassa e outros que possuem até 2W/mK, podendo, portanto, ter aplicação na construção civil, em quesitos térmicos.

## ■ REFERÊNCIAS

1. “Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT; NBR NM 248: Agregados – Determinação da Composição granulométrica”. 2003.
2. ABIPLAST, 2015. **Associação Brasileira da Indústria do Plástico - Perfil 2015**. Disponível em: <[http://file.abiplast.org.br/download/2016/perfil\\_2015.pdf](http://file.abiplast.org.br/download/2016/perfil_2015.pdf)> Acesso em: 16 de novembro de 2017.
3. BALDAN, V.J.S. (2015). **Desenvolvimento e caracterização de placas poliméricas produzidas a partir da reciclagem do resíduo industrial de poliuretano termofixa**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
4. CORREA, C. A. Et al: **Compósitos termoplásticos com madeira - Wood Plastic Composites-2003**. Polímeros vol.13 no.3 São Carlos July/Sept. 2003, pp. 154-165.
5. MANO, E.B. “**Polímeros como materiais de engenharia**”, Ed. Edgard Blucher, Ltda, São Paulo, SP (1991).
6. RODRIGUES, M.R.P (2008). **Caracterização e utilização do resíduo da borracha de pneus inservíveis em compósitos aplicáveis na construção civil**. Tese (Doutorado) – Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
7. RORIZ BIOCLIMÁTICA. **Conforto Térmico e Eficiência Energética**. Disponível em: <[http://www.roriz.eng.br/download\\_6.html](http://www.roriz.eng.br/download_6.html)>. Acesso em: 16 de novembro de 2017.
8. SANTOS, R. P. O. (2012). **Compósitos baseados em PET reciclado, fibras de sisal e plasticizantes oriundos de fontes renováveis: estudo do processamento e propriedades destes materiais**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
9. SILVA, R.V. (2003). **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. Tese (Doutorado) – Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

“

# Efeito do substrato e luminosidade na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*

- I Luiz Carlos da Silva **Boaventura**
- I Lorena dos Santos Almeida **Silva**
- I Neivesson Brito **Santos**

# RESUMO

O Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) é uma espécie nativa da região nordeste brasileira sendo bastante resistente a seca, altas temperaturas e intensas radiações solar. O estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes níveis de sombreamentos e tipos de substratos na altura inicial das mudas da *Mimosa caesalpiniaefolia*, visto que são fatores que atuam diretamente em seu desenvolvimento. O trabalho foi conduzido na fazenda experimental vegetal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), o experimento foi inteiramente casualizado com 10 repetições, sendo compostos por três níveis de luminosidade (30%, 50% e luminosidade total) e subparcela de quatro tipos de substratos (100% solo, 70% solo + 30% esterco curtido, 70% solo + 30% húmus e 70% solo + 30% composto orgânico). Para medição da mediana das variáveis altura, diâmetro, número de folhas, massa seca aérea e massa seca da raiz utilizou-se o programa estatístico Sisvar. Conclui-se que as mudas de *M. caesalpiniaefolia* apresentaram o melhor desenvolvimento ao final da avaliação quando produzidas ao nível de luminosidade de 30% nos tratamentos S2 e (70% terra e 30% esterco) e S3 (70% terra e 30% húmus).

**Palavras-chave:** Luminosidade, Mimosa Caesalpiniaefolia, Substrato.

## INTRODUÇÃO

A espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth, conhecida popularmente como Sabiá, Sansão-do-Campo e/ou Angiquinho-Sabiá tem ocorrência natural no nordeste brasileiro. É caracterizada como uma planta heliófita, e seu nome popular remete à semelhança da coloração das cascas da árvore com a plumagem do pássaro de nome Sabiá (MAIA, 2004). A importância da *M. caesalpiniaefolia* na Região Nordeste caracteriza-se pela resistência à seca, crescimento rápido (RIBASKI et al., 1983).

As folhas do sabiá são de alto valor forrageiro (VASCONCELOS, 1989). Apresentando assim uma excelente forragem para o gado, especialmente na época seca. As folhas e frutos maduros ou secos são forragens para bovinos, caprinos e ovinos, com teor de proteína bruta de 13,48 % a 17,06 % (LIMA, 1996). BARROS (1960), afirma que o sabiá é uma planta apícola de natureza, capaz de produzir grande quantidade de pólen e néctar, atraindo assim bastante abelhas. A madeira não é indicada para a produção de polpa celulósica, pelo baixo teor de alfacelulose (28,40 %), alto teor de lignina (32,40 %) e elevada densidade básica (GONÇALVES et al., 1999). O mesmo autor reitera que tais particularidades em sua madeira, tornam a mesma, viável para a produção de carvão vegetal. É também recomendada para uso direto como fonte primária de energia, produzindo ótima lenha (PAULA, 1980).

Em contra partida sua madeira é adequada para usos externos, apresentando excelente potencial em estacas, mourões e varas. LÊDO (1980) complementa reforçando que a espécie é capaz de produzir até quatro caibros aproveitáveis, tornando assim um lucro bastante rentável. O Ceará é considerado o maior produtor e exportador de estacas de sabiá no Nordeste, concentrando a maior parte de sua produção na região norte do estado (LEAL JÚNIOR et al., 1999).

## OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de substratos e luminosidade sobre o vigor e desenvolvimento de mudas de Sabiá. Frequentemente, a análise de crescimento é utilizada para prever o grau de tolerância das diferentes espécies às mudanças na quantidade de radiação recebida, valendo-se de vários parâmetros para avaliação das respostas das plântulas em relação à intensidade luminosa (BENICASA, 2003).

## MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área da Fazenda Experimental Vegetal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) no campus de Cruz das Almas-BA, durante os

meses de novembro e dezembro de 2018. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com 10 repetições, sendo os tratamentos arranjos em esquema de parcela subdividida. A parcela foi composta por três níveis de luminosidade (30%, 50% e luminosidade total) e a subparcela de quatro tipos de substratos (100% solo, 70% solo + 30% esterco curtido, 70% solo + 30% húmus e 70% solo + 30% composto orgânico), totalizando 120 plantas.

O solo utilizado no substrato foi um Latossolo Amarelo distrófico, textura média coletado na profundidade de 0 a 40 cm, no Campus da UFRB. O composto orgânico foi produzido na Fazenda Experimental Vegetal da UFRB tendo na sua constituição o esterco, restos de roçagem, em sua maioria composto pelo capim brachiaria, e resíduos da alimentação dos bovinos. O esterco foi o bovino curtido e o húmus proveniente da reciclagem do esterco bovino a partir de minhocas da espécie *Eusenia foetida*.

As sementes utilizadas foram da espécie *Mimosa caesalpiniaefolia Benth* coletadas de diversas matrizes situadas pelo campus. As sementes foram postas para germinar no dia 16 de novembro de 2018, através de semeadura direta em sacos pretos de polietileno. Ao decorrer do experimento foram realizadas a remoção de plantas espontâneas, a irrigação era manualmente através de regadores diariamente, além da mensuração da altura e diâmetro semanalmente e observação de seus aspectos fenológicos.

A altura da parte aérea (H) foi determinada utilizando uma trena, sendo medido do colo da muda até a ponta da última folha; o diâmetro do coleto (DC) foi medido com o auxílio de um paquímetro, ao nível do substrato; o número de folhas (NF) foi contado todas as folhas desenvolvidas. Os dados foram submetidos às análises de variância e posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O programa estatístico utilizado foi o Sisvar

## RESULTADOS

A tabela abaixo exhibe os valores obtidos pelo programa estatístico Sisvar. Expondo assim, as variáveis Altura e Diâmetro.

**TABELA 1.** Altura e diâmetro de *Mimosa caesalpiniaefolia* sob diferentes níveis de luminosidade.

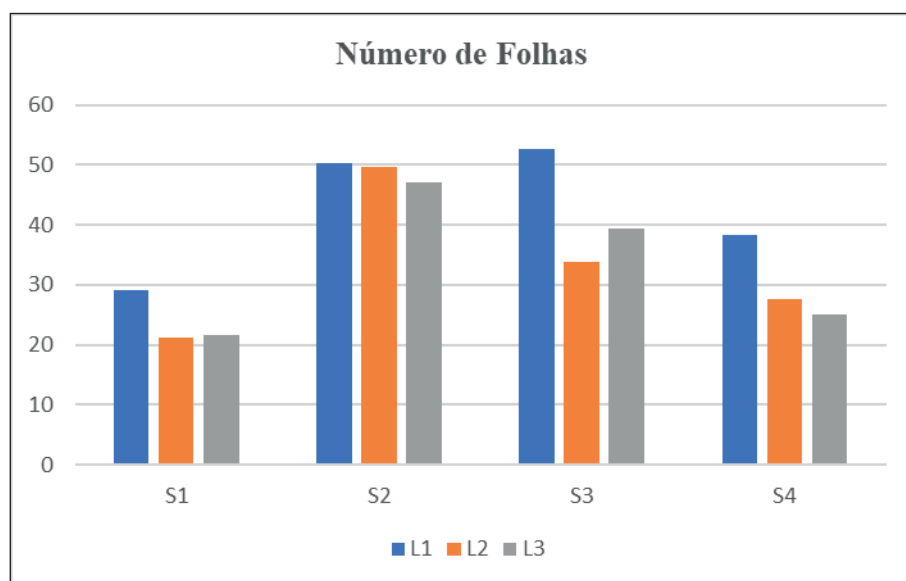
| Luminosidade | Variáveis analisadas |              |            |               |
|--------------|----------------------|--------------|------------|---------------|
|              | S1                   | Esterco (S2) | Húmus (S3) | Composto (s4) |
| Altura       |                      |              |            |               |
| 30% (L1)     | 18.13 a1             | 14.84 a1     | 12.04 a1   | 17.14 a1      |
| 50% (L2)     | 11.48 a1             | 17.9 a1      | 11.64 a1   | 14.21 a1 a2   |
| 100% (L3)    | 7.32 a1              | 8.21 a1      | 6.68 a1    | 7.44 a1       |
| Diâmetro     |                      |              |            |               |
| 30% (L1)     | 0.64 a1              | 0.60 a1      | 0.62 a1    | 0.56 a1       |
| 50% (L2)     | 0.6 a1               | 0.71 a2      | 0.70 a2    | 0.62 a1       |
| 100% (L3)    | 0.57 a1              | 0.63 a1      | 0.63 a1    | 0.50 a1       |

L1- 30% L2- 50% L3- 100% S1- (100% Terra) S2- (70% Terra; 30% Esterco) S3- (70% Terra; 30% húmus) S4- (70% Terra; 30% Composto orgânico)

Os números acima, representam estatisticamente a mediana da altura e diâmetro das mudas em cada tratamento testado. Contudo observou-se, que as mudas expostas a menores teores de luz, consequentemente maior nível de sombreamento fornecido pelo telado obteve um melhor desenvolvimento. Desse modo, as mudas produzidas há 30% de luz, obteve padrões quantitativos de altura maiores quando comparado aos demais tratamentos. Evidenciando que a espécie requer maior sombreamento para ter um melhor desenvolvimento inicial. Em contrapartida as mudas cultivadas a 50% de luminosidade apresentaram uma diferença significativa em sua altura para cada substrato testado. As mudas que não tiveram nenhum tipo de sombreamento (L3), produziram as menores mudas do experimento, vale reforçar, que não houve uma variação considerável do diâmetro em todos os tratamentos.

Ao final do experimento, foi realizada a contagem do número de folhas das mudas, onde é representada graficamente pela figura abaixo (FIGURA 1). Evidenciando um maior número de folhas nas mudas submetidas a menor intensidade de luminosidade independentemente o substrato testado.

**FIGURA 1.** Número de folhas de *Mimosa caesalpiniaefolia* sob diferentes níveis de luminosidade



L1- 30% L2- 50% L3- 100% S1-(100% Terra) S2- (70% Terra; 30% Esterco) S3- (70% Terra; 30% húmus) S4- (70% Terra; 30% Composto orgânico)

## DISCUSSÃO

É perceptível através de suas características fenotípicas e aspectos visuais o quanto a luminosidade tem influência direta no desenvolvimento da planta, diferindo parâmetros simples como a altura (cm) e diâmetro (cm) por exemplo, quando são postas aos mesmos tratamentos (substratos), porém em diferentes condições de sombreamento. Dessa forma, a eficiência do crescimento pode estar relacionada à habilidade de adaptação das plantas às condições luminosas do ambiente, sendo o crescimento satisfatório de algumas espécies em ambientes com baixa ou alta luminosidade atribuído à capacidade da espécie ajustar rapidamente seu modelo de alocação de biomassa e comportamento fisiológico (Dias-Filho 1997, 1999).

Diferentes níveis de luminosidade em uma espécie, pode promover diferentes respostas em suas características anatômicas, fisiológicas, crescimento entre outras. Todas as plantas têm habilidade para modificar o seu modelo de desenvolvimento em resposta ao ambiente luminoso (Holt 1995). As mudas testadas sob luminosidade total, 0% de sombreamento sua altura não diferiu estatisticamente nos diferentes substratos testados, apresentando baixo crescimento quando comparado aos demais tratamentos. Todavia seu diâmetro, o comportamento dos dados foi similar aos demais tratamento. Vale salientar que apenas as mudas expostas totalmente a luz apresentaram melhor rustificação, aparentando ser mudas mais resistentes as adversidades do campo.

Com isto percebe-se que os tratamentos que receberam sombreamento tiveram mudas mais altas de acordo o programa estatístico. os melhores resultados em relação a suas variáveis. A capacidade de rápido crescimento em ambiente sombreado é um mecanismo

importante de adaptação da espécie, o que constitui uma valiosa estratégia para escapar às condições de baixa disponibilidade de luz (MORAES-NETO et al., 2000). Assim, a eficiência do crescimento pode estar relacionada à habilidade de adaptação das plantas às condições de intensidade luminosa do ambiente (FERREIRA et al., 1977; ENGEL, 1989; KOZLOWSKI et al., 1991; ATROCH et al., 2001).

Durante o estudo do experimento, observou-se que as mudas testadas nos substratos na quais continham húmus e esterco curtido obtiveram os melhores dados estatisticamente independentemente a luminosidade. SMIDERLE (2000), afirma que substrato de qualidade viabiliza a retenção de água, tornando o mesmo com umidade suficiente para germinação e posteriormente preservando as plântulas de organismos saprófitos. O húmus por sua vez, detém de tais características citadas acima pelo autor, sua utilização melhora as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo além de fornecer nutrientes essenciais para as plantas justificando assim, o melhor desenvolvimento das mudas, não obstante, BERTON (1999) reitera, a maior produtora biológica de húmus é a minhoca, tornando o adubo orgânico mais rico em nutrientes.

O uso de adubos orgânicos, como o esterco bovino, possibilita o fornecimento equilibrado dos nutrientes às plantas e reduz significativamente as perdas por lixiviação (POGGIANI et al., 2000), principalmente em solos tropicais onde a matéria orgânica é decomposta de forma rápida, auxiliando assim na melhora dos atributos, fisiológicos e biológicos do solo. Sob essa forma, os nutrientes são liberados lentamente. Assim, os componentes do esterco, convertidos em húmus, exercerão influência nos solos de maneira persistente e duradoura (BRADY, 1989). A matéria orgânica no solo é considerada uma das principais fontes de energia e nutrientes ao sistema, capaz de manter excelente produtividade as mudas favorecendo assim as mudas testadas nesses substratos.

Ainda assim, as mudas testadas com Esterco em seu substrato alcançaram o melhor resultado pois a variação foliar foi quase nula. Segundo Nodari et al. (1999), a quantidade de folhas não é um aspecto a ser utilizado no crescimento de mudas submetidas a diferentes níveis de luz, em razão de diminuir continuamente, a emissão de novas folhas. No entanto, a menor luminosidade testada favoreceu a espécie em número de folhas.

## CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS

O nível de luminosidade que proporcionou o melhor desenvolvimento as mudas de *M. caesalpiniaefolia* foi a de 30%, acredita-se que o fato ocorreu pois nas condições de maior sombreamento as plantas apresentam maior habilidade de se adaptar a condição do ambiente, a fim de encontrar luz para realizar fotossíntese, salientando que a baixa temperatura nas folhas estimula na abertura dos estômatos e fixação de carbono contribuindo em

seu crescimento, além de deter de uma melhor condição de umidade em seu sistema radicular que estimula seu crescimento. Conclui-se que, as mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, atingiram melhor ascensão quando foram produzidas há 30% de luminosidade nos substratos S2 (70% Terra + 30% Esterco) e S3 (70% Terra +30% Húmus), apresentando mudas mais folhosas e altas, entretanto seu diâmetro e número de folhas não houve variação que pudesse diferenciar a superioridade ou inferioridade nos substratos S2 e S3.

## ■ REFERÊNCIAS

1. BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. **Rio de Janeiro**: Freitas Bastos, 1989. 878 p.
2. COSTA, F. G., VALERI S. V., CRUZ, M. C. P., GONZALES J. L. S. Esterco bovino para o desenvolvimento inicial de plantas provenientes de quatro matrizes de *Corymbia citriodora*. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 161-169, jun. 2011.
3. COSTA, M.B.B. DA; MILANEZ, A.I.; CHABARIBERI, D.; et al. **Adubação orgânica**: nova síntese e novo caminho para a agricultura. São Paulo: Ícone, 1986. 102p.
4. COSTA, M. G. da. **O sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth)**. Areia: Universidade Federal da Paraíba, 1983. 16 p. (Boletim técnico, 4)
5. DIAS-FILHO, M.B. 1997. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 32 (8): 789-796.
6. DIAS-FILHO, M.B. 1999. Physiological responses of two tropical weeds to shade. I. Growth and biomass allocation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 34 (6): 945-952.
7. DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Viveiros florestais. In: DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. (ed.). Produção de sementes e mudas de espécies florestais. Lavras: Ufla, 2008. p. 83-124.
8. GONÇALVES, C. de A.; FERNANDES, M. M.; ANDRADE, A. M. de. Celulose e carvão vegetal de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth (sabiá). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 6, n. 1, p. 51-58, jan./dez. 1999.
9. GONÇALVES, C. de A.; FERNANDES, M. M.; ANDRADE, A. M. de. Celulose e carvão vegetal de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth (sabiá). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 6, n. 1, p. 51-58, jan./dez. 1999.
10. KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo : Pioneira, 1985. 492p.
11. LEAL JÚNIOR, G.; SILVA, J. A. da; CAMPELLO, R. C. B. **Proposta de manejo florestal sustentado do sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.)**. Crato: IBAMA, 1999. 15 p. (Boletim técnico, 3).
12. LEDO, A. A. M. Observações ecológicas na Estação Experimental Florestal de Saltinho, Pernambuco, visando reflorestamento no nordeste. **Cadernos Ômega**, Recife, v. 4, n. 2, p. 197-206, 1980.

13. MORAES NETO, S. P. et al. Crescimento de mudas de algumas espécies arbóreas que ocorrem na mata atlântica, em função do nível de luminosidade. **Revista Árvore**, v. 24, n. 1, p.35-45, 2000.
14. NODARI, R. O. et al. Crescimento de mudas de palmitreiro (*Euterpe edulis* Mart.) em diferentes condições de sombreamento e densidade. **Revista Árvore**, v. 23, n. 3, p. 285-292, 1999.
15. PASCHOAL, A.D. **Produção orgânica de alimentos - agricultura sustentável para os séculos XX e XXI. Guia técnico e normativo para o produtor, o comerciante e o industrial de alimentos orgânicos e insumos naturais**. 1994. 191 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade São Paulo, Piracicaba, 1994.
16. PAULA, J. E. de. Exploração dos recursos naturais renováveis, conservação e preservação dos respectivos ecossistemas. **Brasil Florestal**, Brasília, DF, n. 56, p. 5-29, 1983.
17. RAJJ, B, V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343p.
18. RIBASKI, J.; LIMA, P. C. L.; OLIVEIRA, V. R. de; DRUMOND, M. A. **Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) árvore de múltiplo uso no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 104).

“

# Efeito do tempo na biomassa de plantas de *Luehea divaricata* Mart. & Zucc. (Malvaceae), submetidas a diferentes níveis de sombreamentos

- I Aldeize Santos de **Sá**  
INPA
- I César Augusto Guimarães **Finger**  
UFSM
- I Luciane Almeri **Tabaldi**  
UFSM

# RESUMO

Conhecida como Açoita-cavalo, *Luehea divaricata* Mart. e Zucc., é pertencente à família Malvaceae, possuindo relevante importância econômica. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito dos níveis de sombreamentos e do tempo no crescimento e incremento na espécie. As plantas foram submetidas a quatro níveis de sombreamentos: 0% (pleno sol), 30%, 50% e 70%. Para produzir o efeito de sombreamento, utilizou-se sombrites. Os dados foram coletados mensalmente por seis meses, considerando cada mês como um bloco. As características estudadas foram, altura da planta; diâmetro do caule; número de folhas e brotos; massas fresca e seca de folhas; massas fresca e seca de caule; massas fresca e seca de raiz; e volume de raiz. O delineamento foi em bloco inteiramente casualizado ao nível de 95% de confiança. Havendo diferença, aplicou-se o teste de Tukey. Houve efeito do tempo no crescimento e incremento em altura, diâmetro, número de folhas e broto, com maiores médias nos blocos de setembro e outubro. Nas massas secas e fresca de folha e caule, houve diferença entre os tratamentos, com maior média a 70% e menor no 50%. As menores médias em massa e volume de raiz estiveram no 50%, e as maiores no pleno sol.

**Palavras-chave:** Aclimação, Crescimento, Biomassa, Microclima.

## INTRODUÇÃO

Conhecer a dinâmica de crescimento de espécies florestais e suas interações com os fatores ambientais é importante para a elaboração de técnicas de manejo, produção de plantas, florestamento e reflorestamentos. Pois de acordo com Almeida (2005), as variáveis climáticas e microclimáticas, influem diretamente na vida dos vegetais governando o condicionamento do seu desenvolvimento.

O crescimento e o desenvolvimento das plantas levam em conta o fato de que em média 90% da matéria seca acumulada durante seu crescimento, é oriundo da atividade fotossintética, a qual é influenciada diretamente pela disponibilidade da irradiação solar, sendo que as demais atividades estão relacionadas com absorção de nutrientes do solo (ANDRADE et al., 2010). Nesse sentido, o estudo da luminosidade ou do grau de tolerância de espécies florestais ao sombreamento é fundamental para a avaliação do potencial de uso dessas espécies em programas de revegetação e de conservação.

Comumente, para inferir o grau de tolerância ou intolerância das espécies florestais à baixa disponibilidade de luminosidade, são utilizadas características como altura, e diâmetro do caule (SCALON et al., 2002), no entanto, existem ainda outros parâmetros que podem ser utilizados para prever a tolerância ou intolerância das plantas ou as respostas das mesmas a diferentes níveis de luminosidade, bem como, o acúmulo de biomassa nos diferentes órgãos da planta (DIAS-FILHO, 1997).

A eficiência produtiva de um dado cultivo de espécies depende das interações entre condições edafo-climática com os processos fisiológicos, que determinam o crescimento e a produtividade dos indivíduos. Regimes de radiação solar, temperatura e disponibilidade de água são os principais fatores que caracterizam a sazonalidade climática de regiões produtoras. Estes fatores associados à fertilidade do solo podem, juntos condicionar o crescimento e o desenvolvimento das plantas (SYVERTSEN e LLOYD, 1994).

Dentre as espécies de interesse florestal está a *Luehea divaricata* Martius et Zuccarini, vulgarmente conhecida como açoita-cavalo, pertence à família Malvaceae. Árvore caducifolia de aparência rústica, apresentando folhas simples alternas. Podendo atingir trinta metros de altura, apresentando copa densa de galhos e folhas rígidos. Inflorescências em panículas terminais, flores hermafroditas, pentâmeras; seus frutos são do tipo cápsula, oblongo, castanho, ferrugíneo, abrindo-se em cinco fendas, (BACKER e IRGAN, 2002).

A *L. divaricata* é uma planta pioneira de rápido crescimento que não pode faltar nos reflorestamentos mistos de áreas degradadas de preservação permanente e ao enriquecimento de áreas devastadas, encostas abruptas e margens de rios (LONGHI, 1995). Em estudos como de Reitz et al. (1988), foi comprovado que seu habitat natural e sua vitalidade como espécie pioneira é heliófila, sendo possível seu reflorestamento em campos abertos e em

populações puras. Contudo é possível que exposta à luz direta, sua ramificação se verifique de modo precoce prejudicando desenvolvimento do tronco e fuste. Por ser considerada uma madeira de boa trabalhabilidade é considerada uma das melhores para a fabricação de coronhas de armas de fogo e outras peças torneadas. Seus galhos, muito flexíveis eram usados como chicotes.

As folhas de *Luehea* são comercializadas como fitoterápicos contra disenteria, leucorréia, reumatismo, blenorragia e tumores; a infusão das flores é usada contra bronquite e a raiz depurativa (TANAKA et al., 2005).

Além dos benefícios ambientais, *L. divaricata* Martius et Zuccarini, é bastante relevante para o setor da economia, medicinal, e madeireiro para recuperação, restauração e reposição florestal de áreas degradadas. Sendo assim, conhecer o comportamento desta espécie em resposta ao fator luz e às interações com as variações de climatologia ao longo de um dado tempo, é importante para a produção da espécie em casa de sombra, afim de que e tenha mudas mais vigorosas, e que a serem transplantadas para o campo, estas tenham maiores chances de sobrevivência.

## OBJETIVO

Verificar qual o efeito dos níveis de sombreamentos e do tempo no crescimento e incremento da espécie *Luehea divaricata* Martius et Zuccarini, que propicie melhores condições de crescimento e desenvolvimento da espécie, afim de se obter mudas mais vigorosas.

## MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma área experimental do Laboratório de Manejo Florestal, que consiste em uma casa de vegetação com níveis de sombreamentos localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), situado na região central do estado do Rio Grande do Sul (RS), a uma latitude de 29° 41' 2" (Sul) e longitude de 53° 48' 25" (Oeste), com altitude média de 113 metros a cima do nível do mar.

De acordo com a classificação Köppen (1931), o clima da região é do tipo Cfa, subtropical de clima temperado chuvoso, cuja temperatura média do mês mais quente é 24,8°C em Janeiro e a temperatura média do mês mais frio, em Julho, é 14,1°C. A precipitação média anual é de 1.769 mm.ano<sup>-1</sup> (MORENO, 1961).

Dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2015), da estação meteorológica situada no município de Santa Maria/RS, entre os meses de junho a novembro, mostraram que as maiores médias de temperaturas máximas estiveram nos meses de outubro e novembro e as menores nos meses de junho, julho e agosto, ocorrendo o mesmo para as

médias em temperaturas mínimas, sendo que de junho a agosto houve baixa oscilação na temperatura mínima, com variação da média mensal de apenas 1°C, e de agosto a setembro, ocorreu a maior variação de temperatura mínima, dentro do período estudado. Na precipitação de junho a novembro, as menores médias foram registradas nos meses de agosto e novembro e as maiores nos meses de junho, julho setembro e outubro. A umidade relativa do ar foi maior em junho e menor em novembro. A menor insolação ocorreu em junho e a maior em novembro.

A espécie estudada, açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), foi obtida do viveiro florestal da Universidade de Ijuí no Rio Grande do Sul. Foram selecionadas mudas com as características: dois anos e dois meses de idades e com alturas homogêneas, as quais tiveram sementes coletadas da mesma árvore-matriz, e postas para germinar no mesmo período, sob mesmas condições de substrato e microclima. Ao chegarem à casa de vegetação, estas foram regadas e posteriormente transplantadas para os recipientes de 20 L em cada tratamento.

O solo utilizado foi do tipo argissolo amarelo distrófico, horizonte A. As regas ocorreram duas vezes ao dia ou conforme a necessidade das plantas. Cada tratamento contou com sistema de irrigação, através de aspersores aéreos, a fim de completar o regime hídrico.

As plantas foram submetidas a quatro tratamentos, com diferentes níveis de sombreamentos: 0% (pleno sol), 30%, 50% e 70%. Para produzir o efeito de sombreamento, foi utilizado telas de polietileno de cor preta, conhecidas como sombrites. Distribuiu-se de forma aleatória quinze plantas por tratamento. Após a distribuição das plantas nos tratamentos, considerou-se o primeiro mês como de adaptação, onde nenhuma medida foi tomada durante esse período. Os dados foram tomados de junho a novembro de 2014, durante as estações de inverno e primavera. Foram avaliadas e quantificadas características como: altura da planta; diâmetro do caule; número de folhas e brotos; massas fresca e seca de folhas (MFF e MSF); massas fresca e seca de caule (MFC e MSC); massas fresca e seca de raiz (MFR e MSR); e volume de raiz (VolR).

As alturas das plantas foram determinadas com auxílio de uma trena métrica graduada em centímetros e os diâmetros dos caules, determinados com o auxílio de um paquímetro digital graduado em milímetros, com medidas realizadas mensalmente. Foram demarcados, a partir de dois centímetros do solo, os caules de cada planta, como referência para tomadas de medidas de altura e diâmetro. A contagem do número de folhas deu-se mensalmente em todas as plantas de cada tratamento. As medições de altura, diâmetro, e número de folhas, estenderam-se por seis meses a partir da medida inicial, que ocorreu após o período de adaptação, isto é, segundo mês após a indução do experimento.

No sexto mês, a partir da medida inicial, foram coletadas cinco plantas de cada tratamento com alturas médias a fim de se obter os parâmetros de biomassa tais como MFF, MSF,

MFC, MSC, MFR, MSR e VolR. As plantas foram levadas ao laboratório, para separação de folhas, caule e raiz, por planta, para a pesagem. Para determinação do VolR, as raízes foram lavadas em água corrente, com auxílio de uma peneira. a fim de que, nenhuma parte da raiz fosse perdida, em seguida colocadas em um proveta com volume de água predeterminado, e pelo Princípio de Arquimedes (princípio do líquido deslocado) foi possível verificar o volume da raiz – VolR, por meio da diferença entre o volume final (Vf) e o volume inicial (Vi) , de água no recipiente (VolR= Vf – Vi). Em seguida, foram postas para secagem em estufa a 65 °C para serem pesadas posteriormente a fim de obter a biomassa.

Os dados, organizados em uma planilha de Excel e submetidos ao programa estatístico Bio Estat 5.0 (AYRES et al., 2007), foram analisados pela análise de variância. O delineamento foi em bloco inteiramente casualizado ao nível de 95% de confiança. Quando verificada a diferença estatística entre os tratamentos e o efeito do tempo, aplicou-se o teste de Tukey.

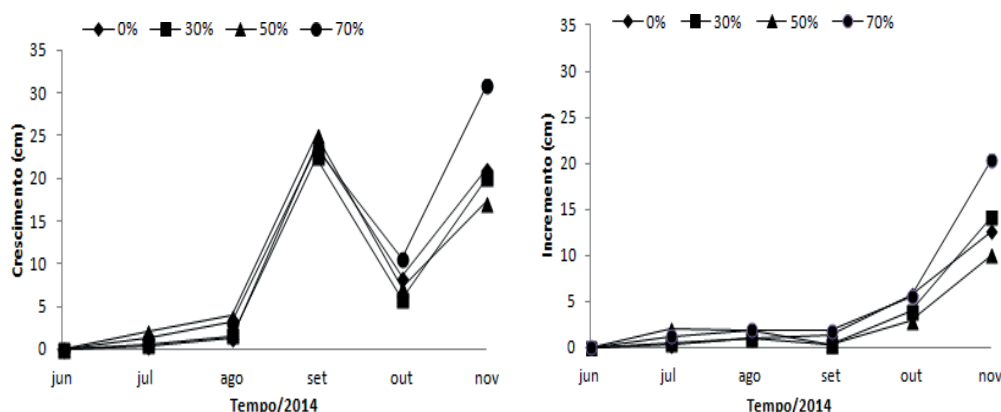
Dentro do período de coleta de dados, consideramos cada mês, sendo um bloco, sendo eles: junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro a fim de verificar o efeito do tempo na altura, diâmetro e número de folhas de cada planta nos seus respectivos tratamentos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No crescimento em altura, assim como no incremento mensal (figura 1-A, B), não houve diferença entre os tratamentos, com valores de  $p = 0.1934$  e  $f = 1.7801$ , para o crescimento e  $p = 0.198$  e  $f = 1.7557$ , para o incremento de plantas de *Luehea divaricata*. Contudo houve efeito do tempo no crescimento e no incremento ( $p < 0.0001$ ). No crescimento (Figura 1 - A) os meses de junho e julho foram iguais entre si e diferentes dos meses de setembro, outubro e novembro;

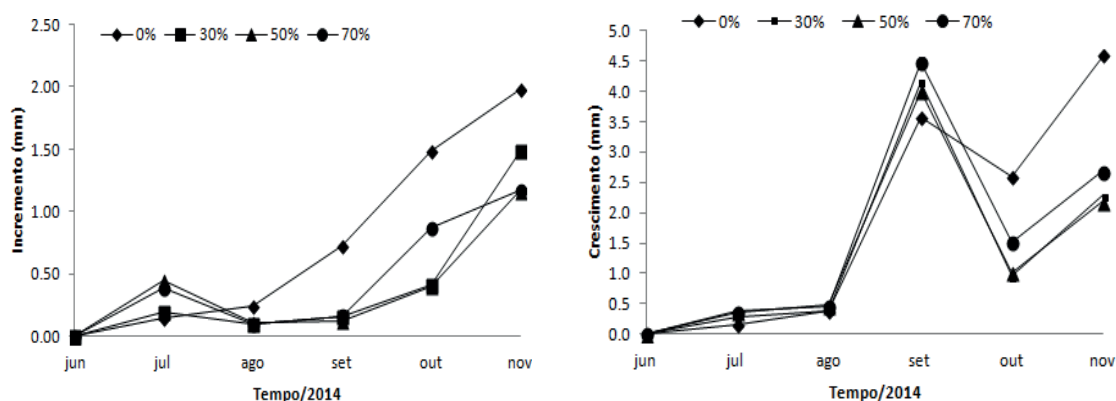
agosto foi diferente dos meses de setembro e novembro; setembro diferenciou-se dos meses de junho, julho, agosto e outubro; outubro apresentou diferença com os meses de junho, julho, setembro e novembro. Para o incremento (Figura 1 - B), o mês de outubro foi diferente apenas de junho; novembro foi diferente dos meses de junho, julho, agosto e setembro.

**Figura 1.** Crescimento (A) e incremento (B) em altura, em cada nível de sombreamento subdivididos no tempo.



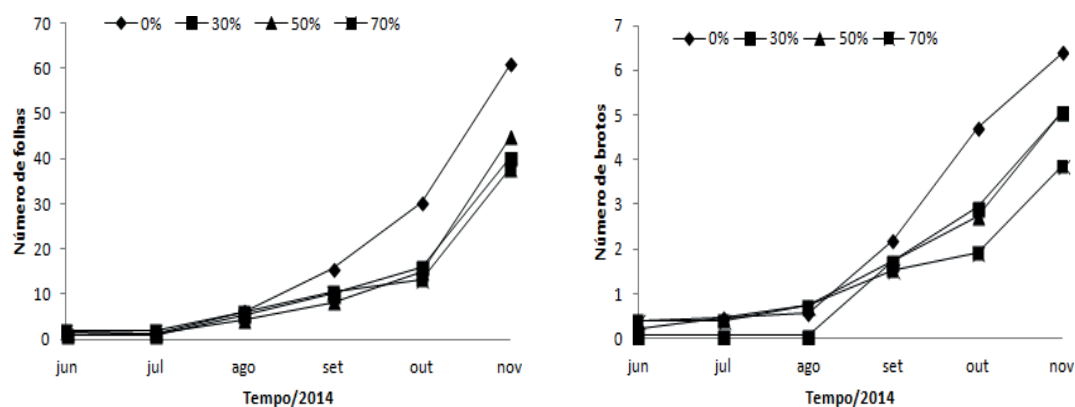
No crescimento e incremento diamétrico, não houve diferença entre os tratamentos com  $f = 3.0895$  e  $p = 0.0584$ , para o incremento  $f = 1.2502$  e  $p = 0.3268$ , para o crescimento. Contudo, foi detectada diferença entre os blocos no crescimento ( $p < 0.0001$  e  $f = 33.4747$ ), entre os meses de junho com setembro outubro e novembro; julho, com setembro e novembro; junho, agosto e outubro foram iguais entre si, porém diferentes dos meses de setembro e novembro; e no incremento ( $p < 0.0001$  e  $f = 18.4842$ ), novembro foi diferente dos meses de junho, julho, agosto, setembro e outubro; e o mês de outubro diferente de junho e agosto (Figura 2, A - B).

**Figura 2.** Crescimento (A) e incremento (B) em diâmetro, em cada nível de sombreamento subdivididos no tempo.



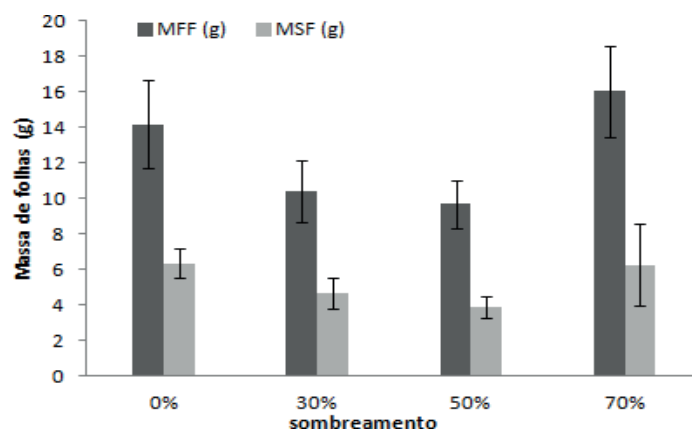
Em número de folhas e brotos, não foi detectada diferença entre os tratamentos. A diferença estava entre os blocos em número de folhas ( $f = 55.7147$  e  $p < 0.0001$ ) e número de brotos ( $f = 44.0474$  e  $p < 0.0001$ ). Para o número de folhas a diferença estava entre os meses de junho, julho e agosto com outubro e novembro; e os meses de setembro e outubro com novembro (Figura 3 - A). Já no número de brotos a diferença ocorreu entre os meses de junho, julho e agosto com os meses de setembro, outubro e novembro; setembro e outubro foram diferentes de novembro (Figura 3 - B).

**Figura 3.** Número de folhas (A) e número de brotos (B), em cada nível de sombreamento subdividido no tempo.



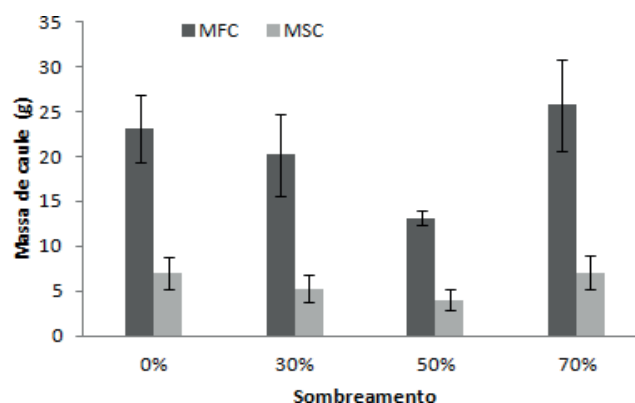
Houve diferença entre os tratamentos na MFF ( $p = 0.0007$ ) e MSF ( $p = 0.0229$ ). Para MFF, 70% foi igual ao 0% de sombreamento e diferente de 30% e 50% ( $p < 0.01$ ). Na MSF, o tratamento a pleno sol foi diferente de 50%, porém igual a 70%. A menor média em massa fresca e seca de folha esteve no tratamento a 50% de sombreamento e a maior nos tratamentos a pleno sol e o 70% de sombreamento, conforme figura 4 a baixo.

**Figura 4.** Massas fresca e seca de folhas em cada nível de sombreamento.



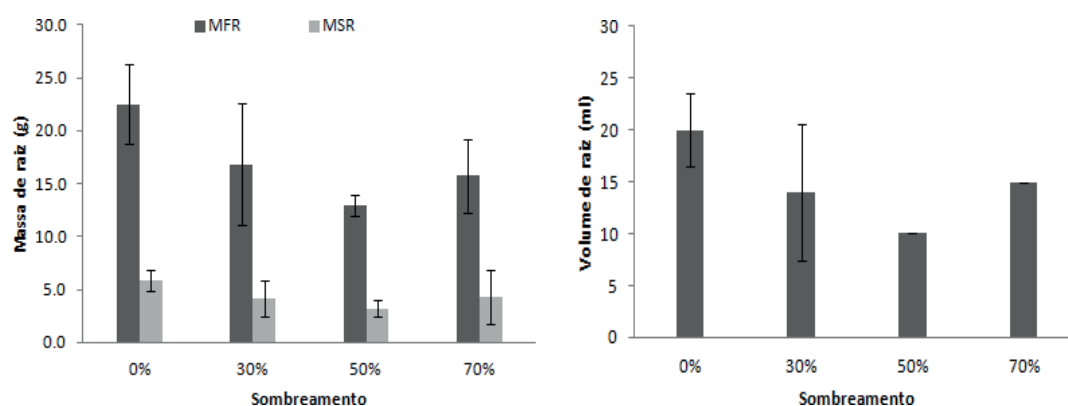
Nas massas secas e fresca de caule, detectou-se diferença entre os tratamentos. Na MFC, a diferença estava entre 50% com os tratamentos de pleno sol e 70% de sombreamento com valores de  $p < 0.01$ , e a maior média a 70%, e a menor no 50% de sombreamento. Para MSC, a diferença entre os níveis de sombreamento foi detectada a 50%, apresentando menor média com o de 70%, que apresentou o maior valor médio em massa seca (Figura 5).

**Figura 5.** Massas fresca e seca de folhas em cada nível de sombreamento.



Houve diferença entre os tratamentos nas massas e volume de raiz. Nas MFR, MFR e volR a diferença estava entre os tratamentos de pleno sol com o 50% de sombreamento. As maiores médias em massa e volume de raiz estiveram no pleno sol, e as menores a 50% de sombreamento (Figura 6, A – B).

**Figura 6.** Massas seca e fresca (A) e volume (B) de raiz em quatro níveis de sombreamento.



O mês de setembro é o ponto onde começa haver um aumento das temperaturas máximas e mínimas, tendo maiores taxas de crescimento em altura, no diâmetro do caule, número de folhas e brotos. Foi ainda, a partir do mês de setembro que as plantas começaram a obter maiores números de folhas nos tratamentos e a diferenciar-se nos blocos. Durante o inverno os blocos de junho, julho e agosto nos parâmetros de crescimento e incremento em altura e diâmetro, número de folhas e brotos foram iguais, apresentando as menores taxas. Isso pode ser uma estratégia da planta em adaptar-se às condições de clima e garantir sua sobrevivência.

As diferenças encontradas nas massas frescas e secas da raiz e volume de raiz, com maiores valores médios no tratamento a pleno sol, pode indicar que as plantas em ambiente com alta luminosidade, translocam sua biomassa pra diferentes órgãos da planta, bem como para a raiz, aumento o crescimento da mesma e sua eficiência na absorção de nutrientes e água, garantindo sua sobrevivência.

Nos resultados de pesquisa realizadas por Viella e Raveta (2000) e Campos e Uchida (2002), verificou-se que o sucesso na adaptação de uma espécie em diferentes condições de luminosidade, está relacionado com a eficiência com que os padrões de alocação de biomassa e comportamento fisiológico são ajustados. A plasticidade adaptativa das espécies às diferentes condições de radiação solar fotossinteticamente ativa depende do ajustamento de seu aparelho fotossintético, de modo a garantir maior eficiência na conversão da energia radiante em carboidrato, para sua sobrevivência e conseqüentemente para seu crescimento.

Castro e Alvarenga (2002) constataram que as espécies vegetais tendem a adaptar-se às condições do ambiente. Essa adaptação depende do ajuste de seu aparelho fotossintético, de tal forma que haja eficiência na utilização e conversão da energia luminosa pelo vegetal; onde as respostas dessa adaptação serão refletidas no crescimento, de maneira geral, da planta.

## CONCLUSÃO

Durante o inverno o crescimento de *Luehea divaricata* é reduzida para garantir a sobrevivência da espécie.

Para a produção de *L. divaricata*, recomenda-se os tratamentos com 0% e 70% de sombreamento, pois nestes níveis apresentaram maiores valores médios em biomassa da parte aérea durante o período de estudo.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, S.M.Z. et al. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. **Ciência Rural**, v.35, n.1, p.62-68, 2005. ISSN 1678-4596. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000100010>.
2. ANDRADE, R. et al. Caracterização da radiação solar acumulada no crescimento vegetativo do algodoeiro colorido BRS Rubi submetidas a diferentes lâminas de irrigação. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA E I SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS. 2010, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Embrapa Algodão, 2010, 1197 p. v. 1
3. AYRES, M. et al. **Bio Estat 5.0: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências Bio-médicas**. Belém: Sociedade Civil do Mamirauá, 2007.
4. BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul: Guia de Identificação & Interesse Ecológico**. p.326. Rio de Janeiro: Instituto Souza Cruz, 2002.
5. CAMPOS, M.A.A.; UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 281- 288, Mar. 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000300008>.

6. CASTRO, A.H.F.; ALVARENGA, A.A. Influência do fotoperíodo no crescimento inicial de plantas de confrei (*Symphytum officinale* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 1, p. 77-86, 2002.
7. DIAS-FILHO, M.B. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.8, p.789-796, 1997.
8. INMET.: **Instituto Nacional de Meteorologia** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acessado em 15/03/2015. KÖPPEN, W.: **Climatologia**. México, Fundo de Cultura Econômica. 1931.
9. LONGHI, R.A. Livro das árvores; árvores e arvoretas do Sul. 2.ed., Porto Alegre: L&PM, 1995.
10. MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.
11. REITZ, R.; KLEIN, R.N.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SU-DESUL, Governo do Rio grande do Sul, Herbário Barbosa Rodrigues, 525 p.1988.
12. SCALON, S. et al. Crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v.26, p.1-5, 2002.
13. SYVERTSEN, J.P.; LLOYD, J.J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P.C. **Handbook of environmental physiology of fruit crops** – subtropical and tropical crops. Boca Raton: CRC Press,. cap.4, p.65-100. 1994.
14. TANAKA, J. C. A. et al . Constituintes químicos de *Luehea divaricata* Mart. (Tiliaceae). **Quím. Nova**, São Paulo , v. 28, n. 5, p. 834-837, Oct. 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000500020>.
15. UCHIDA, T.; CAMPOS, M. A. A.. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. - Fabaceae), cultivadas em viveiro. **Acta Amaz.**, Manaus , v. 30, n. 1, p. 107, Mar. 2000. <https://doi.org/10.1590/1809-43922000301114>.
16. VILELA, A.E.; RAVETTA, D.A.: The effect of radiation on seedling growth and physiology in four species of *Proposis* L. Mimosaceae). **Journal of Arid Environmental**, London, v.44, n.4, p.415-423. 2000.

“

# Efeito do transporte na resistência mecânica do carvão de galhos de maçaranduba sob diferentes temperaturas

I Cezar Dias **Cardoso Júnior**  
UFRRJ

I Fernando Wallase Carvalho **Andrade**  
UFOPA

I Aécio Dantas de **Sousa Júnior**  
UFRRJ

I Victor Hugo Pereira **Moutinho**  
UFOPA

# RESUMO

As siderúrgicas são os principais destinos do carvão vegetal no país, devido suas características termorreduzidoras de ferro e sustentação de leitos em alto-fornos, sendo importante produzir carvões com alta resistência à compressão. Entretanto, durante o transporte das unidades de produção até o alto-forno este carvão pode sofrer impacto e perder resistência mecânica. O objetivo é avaliar se a movimentação do carvão afeta a resistência mecânica do carvão vegetal de galhos de maçaranduba produzidos em diferentes temperaturas máximas de carbonização. Os galhos coletados na FLONA Tapajós foram desdobrados para corpos-de-prova ( $20 \times 20 \times 40 \text{ mm}^3$ ) e aclimatados (65% UR e  $21^\circ\text{C}$ ) até massa constante. A carbonização ocorreu em mufla, conectada em frasco coletor, com taxa de aquecimento de  $1.7^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , tempo de residência de 30 minutos, temperaturas máximas de carbonização:  $300^\circ\text{C}$ ,  $400^\circ\text{C}$  e  $500^\circ\text{C}$ . Os ensaios de resistência a compressão paralela às fibras realizou-se com amostras antes e depois dos ensaios de friabilidade, simulando o transporte do material. As análises estatísticas ocorreram a 5% de significância no *software* R. O resultado médio (%) do *RCV* [45.63 ( $300^\circ\text{C}$ ), 37.85 ( $400^\circ\text{C}$ ), 33.08 ( $500^\circ\text{C}$ )], *RLP* [16.52 ( $300^\circ\text{C}$ ), 34.12 ( $400^\circ\text{C}$ ), 39.57 ( $500^\circ\text{C}$ )] e *RNC* [37.85 ( $300^\circ\text{C}$ ), 28.03 ( $400^\circ\text{C}$ ), 27.35 ( $500^\circ\text{C}$ )]. A resistência à compressão paralela para as amostras que não passaram pelo ensaio de friabilidade foram maiores [7.46 ( $300^\circ\text{C}$ ), 4.95 ( $400^\circ\text{C}$ ) e 4.93MPa ( $500^\circ\text{C}$ )] em comparação as quais passaram pelo ensaio [6.23 ( $300^\circ\text{C}$ ), 4.14 ( $400^\circ\text{C}$ ) e 2.87MPa ( $500^\circ\text{C}$ )], porém, sem diferenças significativas. Nas condições utilizadas, conclui-se que o transporte ou movimentação do carvão não afeta significativamente a sua resistência final.

**Palavras-chave:** Amazônia, Carbonização, Compressão, Friabilidade, Resíduos.

## INTRODUÇÃO

Os recursos florestais, especificamente a biomassa, traz consigo uma infinidade de possibilidade de usos, seja em sua forma natural como lenha ou carvão vegetal. No processo de uso das florestas naturais, a madeira é o produto mais comercializado, gerando um grande volume de resíduos a partir das atividades de colheita, onde resíduos como galhos, tocos, sapopemas e cascas, em grande parte dos casos não são aproveitados, assim ocasionando um desperdício de material lenhoso de grande potencial de utilização (SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2018; DIAS JÚNIOR et al., 2020).

Uma das possibilidades de uso da biomassa residual oriunda da colheita de florestas nativas seria a sua utilização energética, na forma de carvão vegetal. A produção de energia a partir de fontes renováveis e sustentáveis é uma necessidade global, e nesse caso a utilização dos resíduos florestais se mostra uma alternativa ecologicamente correta e economicamente viável. O carvão vegetal obtido através da carbonização da madeira ou material lignocelulósico, é um produto rico em carbono, de natureza friável e que apresenta características físicas, químicas e mecânicas fortemente influenciadas pela temperatura final de carbonização, além da matéria-prima utilizada (SIMIONI et al., 2018; PROTÁSIO et al., 2014; BARBIERE et al., 2016).

O Brasil, simultaneamente, é o maior consumidor e maior produtor mundial de carvão vegetal, utilizado principalmente no setor industrial como nas siderúrgicas para produção de ferro-gusa, metalurgia, indústrias de aço, fabricação de vidros e cimentos, e uso alimentício (NISGOSKI et al., 2014; ZANUNCIO et al., 2014; DIAS JÚNIOR et al., 2015). Segundo Santos et al. (2012), para a siderurgia nacional, o carvão vegetal é ótima matéria-prima em decorrência das suas características como alto grau de pureza, custo de produção considerado baixo, e devido sua funcionalidade como um combustível termorreduzidor.

O carvão vegetal deve ter suas propriedades estabelecidas de acordo com a origem e qualidade da matéria prima e a influência da temperatura final de carbonização. A temperatura e a velocidade de aquecimento na pirólise podem influenciar a qualidade e o rendimento do carvão vegetal (SILVA et al., 2018). A pirólise consiste em um procedimento físico e químico no qual os componentes da madeira (celulose, hemicelulose e lignina) são submetidos ao aquecimento à determinada temperatura, o produto oriundo desse procedimento é o carvão vegetal, além das produções dos gases condensáveis (líquido pirolenhoso) e gases não condensáveis (PEREIRA et al., 2013; SOARES et al., 2014).

Segundo Martins et al. (2016), no carvão vegetal surgem problemas associados as suas propriedades mecânicas como a friabilidade, caracterizada pela capacidade de dividir-se em diversos pequenos pedaços, os finos, onde esses podem ser produzidos durante o transporte do carvão vegetal desde a área de fabricação até suas localidades destinadas,

por exemplo. O teor de finos é uma característica importante na avaliação da qualidade de carvões vegetais, cerca de 20 a 30% de finos de carvão é obtido ao longo do processo de produção (ASSIS et al., 2016). Em geral, um carvão vegetal com maiores temperaturas de carbonização, será também de maior friabilidade. Do mesmo modo, um carvão com maior resistência, irá gerar um menor teor de finos ao longo da cadeia, demonstrando integridade, favorecendo no transporte, manuseio e reduzindo a perda de material (MACHADO et al., 2014; COSTA et al., 2017).

## OBJETIVO

Assim, tendo em vista a potencialidade do uso dos resíduos florestais para a produção de carvão vegetal e conhecendo suas propriedades mecânicas, o objetivo deste estudo consiste em avaliar se resistência mecânica do carvão vegetal de resíduos (galhos) de maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) A.Chev.) obtidos a partir de diferentes temperaturas é afetada em decorrência da movimentação e manuseio durante o transporte.

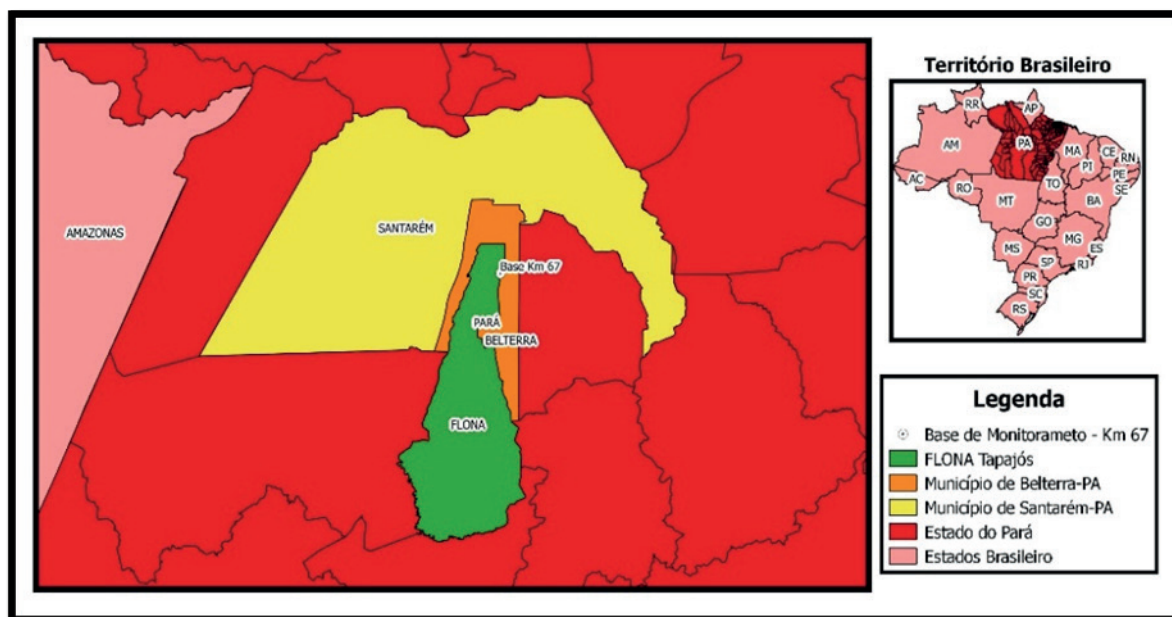
## MÉTODOS

A utilização do carvão vegetal possui diversas destinações, seja para uso industrial, bem como o uso doméstico, por exemplo. Com isso, necessita-se do transporte para realização do trajeto do ponto de fabricação desse produto até o seu destino. Dessa forma, a locomoção do carvão vegetal promove determinada agitação no qual estabelece duas hipóteses:

- h0: Hipótese Nula, ou seja, não existem diferenças mecânicas entre o carvão vegetal oriundo de transporte e carvão vegetal sem locomoção, a partir da utilização de diferentes temperaturas máximas de carbonização.
- h1: Essa hipótese estabelece que existe diferenças mecânicas entre o carvão vegetal originado de transporte e carvão vegetal no qual não foi transportado, considerando o uso de diferentes temperaturas máximas de carbonização.

O material foi coletado em área de manejo florestal comunitário localizado na Floresta Nacional do Tapajós – FLONA TAPAJÓS, km 67 da Rodovia Federal BR-163, sob as coordenadas geográficas 03°53'08" S e 54°55'16,7" W, situado no município de Belterra, estado do Pará (Figura 1), sendo selecionada a espécie Maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) A.Chev) pelos critérios de densidade, abundância, interesse comercial e alta densidade da madeira.

**Figura 1. LOCALIZAÇÃO DA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS – FLONA TAPAJÓS**

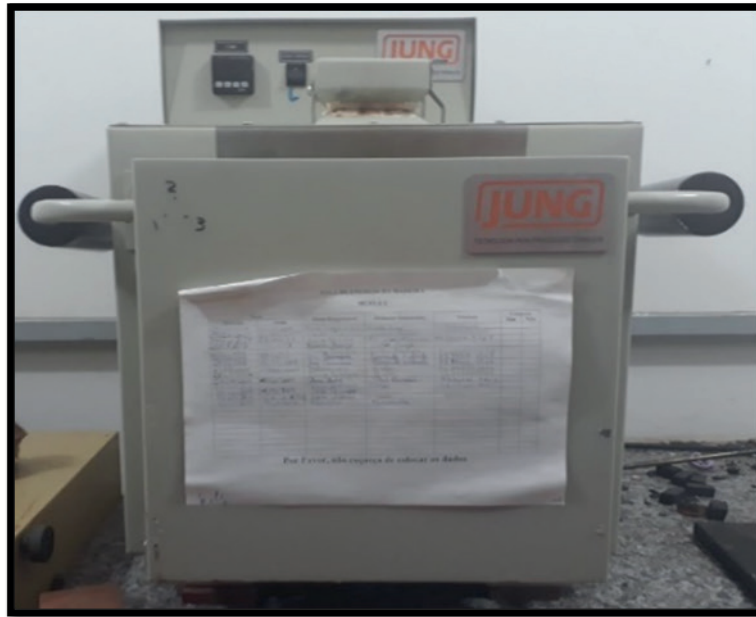


Para identificação do material foi coletado material botânico da espécie, em seguida encaminhado para o herbário da Embrapa Amazônia Oriental. E a partir da utilização dos galhos de *Manilkara huberi* (Ducke) A.Chev. foram retirados pranchões centrais de duas árvores, posteriormente, desdobrados em sarrafos de 15 x 15 cm e direcionados para o Laboratório de Tecnologia da Madeira – LTM, localizada na Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós.

Após acondicionamento e pré-secagem, o material foi novamente desdobrado para a obtenção de corpos de prova nas dimensões de 20 x 20 x 40mm<sup>3</sup> (tangencial x radial x axial) para posterior aclimatação (20 °C ± 2 °C; 60% ± 5% de umidade relativa) até massa constante.

O procedimento das carbonizações foi realizado em fornos de resistência elétrica, tipo mufla (Figura 2), onde se apresentava taxa de aquecimento de 1,7°C.min<sup>-1</sup>, tempo de residência na temperatura máxima de 30 minutos e os tratamentos consistindo em temperaturas máximas de carbonização: 300 °C, 400 °C e 500 °C.

**Figura 2.** FORNO ELÉTRICO (MUFLA)



Em relação as análises, o rendimento gravimétrico do carvão vegetal foi obtido através da razão entre massa do carvão produzido e a massa da madeira seca obtida em estufa (0% de Umidade), por sua vez, a determinação do líquido pirolenhoso ocorreu entre a razão da massa captada e massa da madeira seca. Os gases não-condensáveis foram calculados utilizando os resultados percentuais obtidos no Rendimento Gravimétrico em Carvão Vegetal (RCV) e Rendimento em Líquido Pirolenhoso (RLP).

Os cálculos dos rendimentos (RCV, RLP e RNC) foram realizados de acordo com as seguintes equações (I, II e III), de acordo com Vieira et al. (2013):

$$RCV (\%) = \frac{\text{massa seca do carvão vegetal}}{\text{massa seca da madeira}} \times 100 \quad (\text{I})$$

$$RLP (\%) = \frac{\text{massa do líquido condensado}}{\text{massa seca da madeira}} \times 100 \quad (\text{II})$$

$$RNC(\%) = 100 - (RCV + RLP) \quad (\text{III})$$

Considerando:

RCV: Rendimento Gravimétrico em Carvão Vegetal (%);

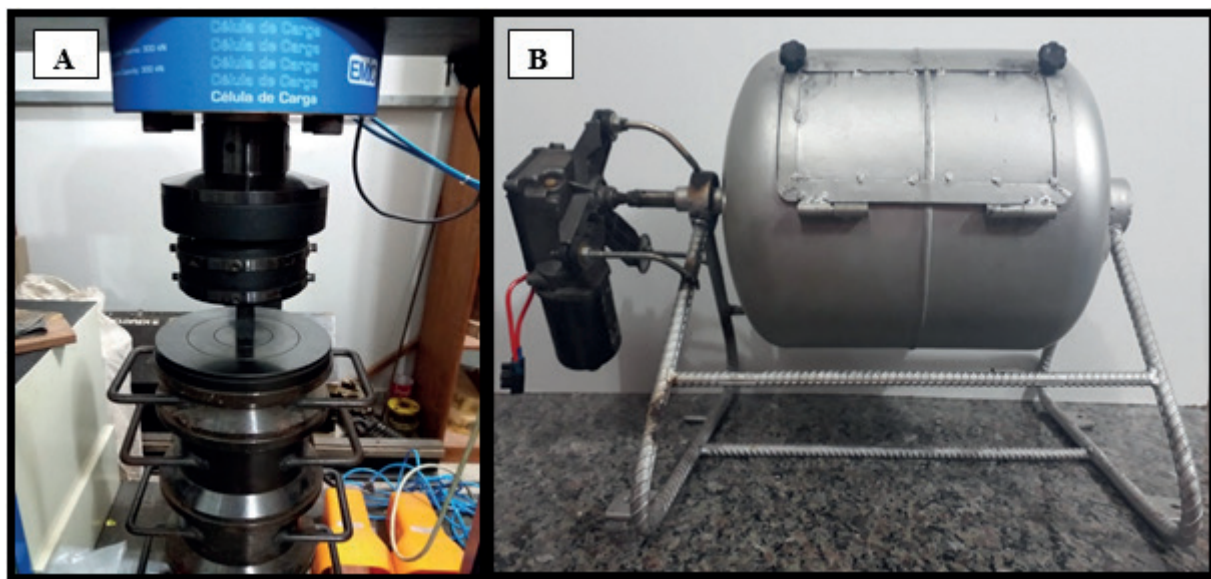
RLP: Rendimento em Líquido Pirolenhoso (%);

RNC: Rendimento em Gases Não-Condensáveis (%).

As análises das amostras quanto a sua resistência mecânica na compressão paralela às fibras, foram realizadas no aparelho EMIC DL-30000 (Figura 3a). Considerando a

carência de uma normativa específica para carvão vegetal, o ensaio mecânico aconteceu com velocidade de carga em  $0,2 \text{ mm.min}^{-1}$ , encerrando o ensaio quando ocorre a perda brusca de 20% de resistência do carvão vegetal, informação a ruptura da amostra, como descrito por Moutinho et al. (2017). Por sua vez, a resistência mecânica ao impacto do carvão vegetal (friabilidade), realizada em tambor rotativo (Figura 3b), por meio das diretrizes da Norma MB 1375-80 (ABNT, 1997; ABNT 1983), considerando também a presença de adaptações como a forma do equipamento.

**Figura 3.** (A) APARELHO EMIC DL-30000; (B) EQUIPAMENTO TAMBOR ROTATIVO



Os corpos-de-prova submetidos em cada temperatura utilizada foram divididos em dois procedimentos para análises mecânicas: o primeiro, consiste na inserção dos corpos-de-prova direto na compressão paralela às fibras, realizada pela EMIC DL-30000; o segundo, por sua vez, inicia com a inserção dos corpos-de-prova no tambor rotativo, posteriormente, esses mesmos corpos-de-prova eram direcionados para a compressão paralela às fibras.

O processo de análise estatística compreendeu em experimento realizado em delineamento inteiramente casualizado, com amostras de galhos de duas árvores, três diferentes temperaturas máximas de carbonização. Ademais, foram realizados os testes de heterogeneidade e normalidade, posteriormente, os dados paramétricos foram direcionados para a Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Comparação de Médias (Teste de Tukey), a 5% de significância, realizados no *software* “R”, versão 3.3.3 (R CORE TEAM, 2015).

## RESULTADOS

A partir dos diferentes tratamentos térmicos, foram produzidos os valores médios percentuais (Tabela 1) referentes ao carvão vegetal de galhos de maçaranduba como o

Rendimento Gravimétrico em Carvão Vegetal (*RCV*), Rendimento em Líquido Pirolenhoso (*RLP*), Rendimento em Gases Não-Condensáveis (*RNC*):

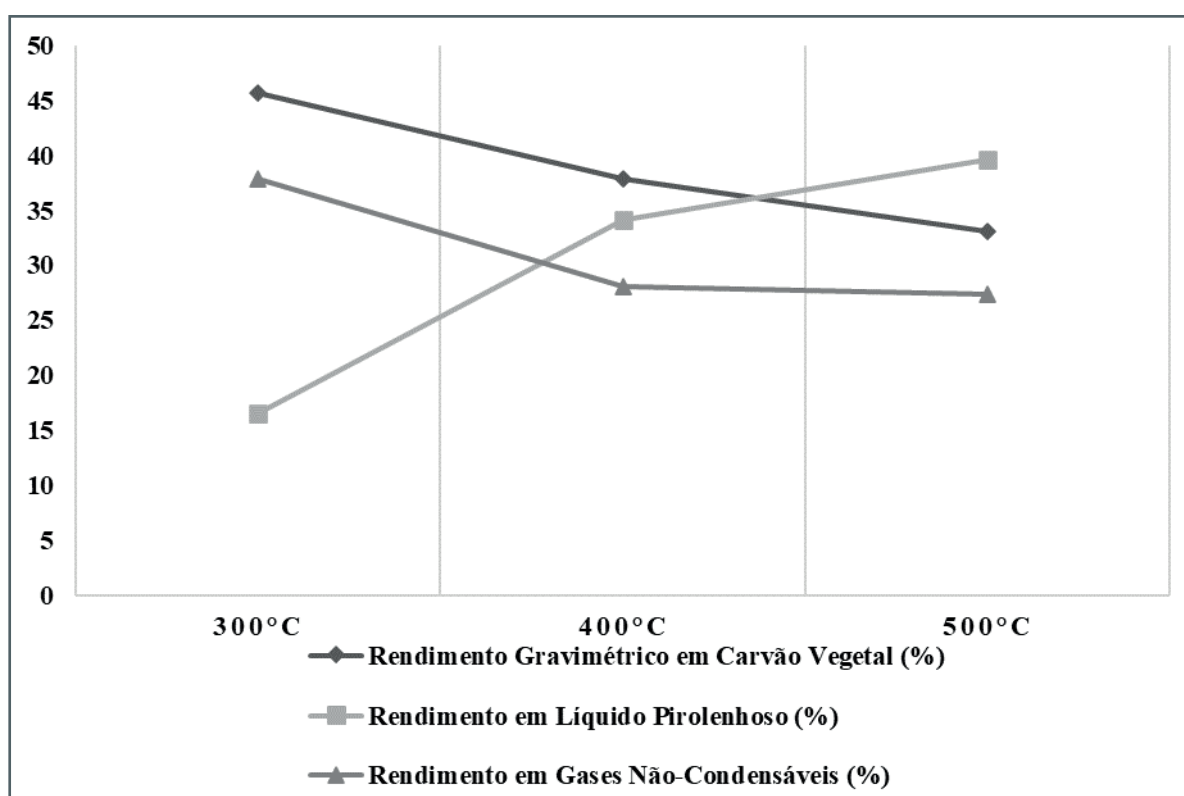
**TABELA 1.** Valores médios dos rendimentos em relação às temperaturas máximas de carbonização com seu respectivo desvio padrão entre parênteses.

| Temperatura de Carbonização (°C) | Rendimento Gravimétrico em Carvão Vegetal (%) | Rendimento em Líquido Pirolenhoso (%) | Rendimento em Gases Não-Condensáveis (%) |
|----------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|
| 300                              | 45,63 a <sup>(0,96)</sup>                     | 16,52 c                               | 37,85 a <sup>(0,96)</sup>                |
| 400                              | 37,85 b <sup>(0,95)</sup>                     | 34,12 b                               | 28,03 b <sup>(0,95)</sup>                |
| 500                              | 33,08 c <sup>(0,79)</sup>                     | 39,57 a                               | 27,35 b <sup>(0,79)</sup>                |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente a 5% de significância.

Diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para os *RCV* e em *RLP* foram observadas entre todas as temperaturas de carbonização. Nota-se a ocorrência de uma relação inversamente proporcional entre *RCV* e *RLP*, enquanto ocorre o aumento em *RCV*, há a diminuição no *RLP*, e vice-versa. Em relação aos *RNC*, houve diferenças significativas apenas na temperatura de carbonização de 300°C, as temperaturas de 400 e 500°C se mostram iguais estatisticamente. Podemos observar também a relação proporcional entre o *RCV* e *RNC*, nos quais, diminuem conforme a elevação de temperatura de carbonização, por outro lado, o *RLP*, aumenta. Além disso, através desses tratamentos térmicos, observaram-se o comportamento dos Rendimentos (Figura 4) em cada temperatura máxima de carbonização:

**Figura 4.** Rendimentos (gravimétrico em carvão vegetal, líquido pirolenhoso e gases não-condensáveis) em porcentagem em relação às temperaturas máximas de carbonização



Podemos observar o comportamento dos rendimentos à medida que a temperatura de máxima de carbonização aumenta, onde ocorre uma distribuição mais dispersa entre os rendimentos na temperatura de 300°C, sendo *RCV* maior e *RLP*, o menor. Por sua vez, as temperaturas de 400 e 500°C possuem menor dispersão entre os rendimentos e semelhantes entre si, considerando que em 400°C, o *RCV* é superior ainda, porém o *RLP* já se tornar maior em relação ao *RNC*. Por fim, em 500°C, O *RLP* se encontra superior em relação ao *RCV*, bem como em comparação ao *RNC*.

Nas análises mecânicas, existiram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), entre os valores de resistência máxima a compressão quando se avalia o efeito da temperatura, tanto no ensaio antes, quanto no ensaio após o teste de tamboramento, onde ocorre a simulação o efeito do transporte (Tabela 2).

**TABELA 2. Resumo da análise de variância**

| FV                               | GL | SQ    | MQ    | F    | p-valor |
|----------------------------------|----|-------|-------|------|---------|
| Temperatura                      | 2  | 55.14 | 27.57 | 9.08 | 0.001*  |
| Transporte                       | 1  | 18.24 | 18.24 | 4.02 | 0.05*   |
| Interação Temperatura*Transporte | 2  | 2.4   | 1.2   | 0.39 | 0.67    |
| Resíduos                         | 25 | 75.8  | 3.03  |      |         |

\*Significativo a 5% de probabilidade.

Em relação aos ensaios mecânicos, observa-se na tabela 3 que a compressão paralela, a temperatura de 300°C é a que resulta em carvão vegetal com maior resistência, enquanto as temperaturas de 400 e 500°C não diferem entre si. Por sua vez, o efeito do transporte, ou seja, a compressão paralela após ensaio de tamboramento, a única diferença significativa foi observada entre os valores de 300°C em relação a 400°C e 500°. Além disso, constatou-se que o efeito do transporte não influencia quando se avalia a mesma temperatura, entretanto, apresenta-se uma tendência na redução da resistência.

**TABELA 3. Valores médios dos ensaios mecânicos em relação às temperaturas máximas de carbonização com seu respectivo desvio padrão entre parênteses**

| Temperatura de Carbonização (°C) | Compressão Paralela às Fibras (MPa) | Compressão Paralela às Fibras Após Tamboramento (MPa) |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 300                              | 7,46 Aa <sup>(1,92)</sup>           | 6,23 Aa <sup>(2,02)</sup>                             |
| 400                              | 4,95 Ba <sup>(2,27)</sup>           | 4,14 Ba <sup>(1,17)</sup>                             |
| 500                              | 4,93 Ba <sup>(2,23)</sup>           | 2,87 Ba <sup>(0,53)</sup>                             |

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e da minúscula na linha não diferem estatisticamente a 5% de significância.

A compressão paralela às fibras após o tamboramento apresentou determinadas perdas (%) em relação ao ensaio de compressão paralela sem tamboramento, portanto, a

temperatura máxima de 300°C apresentou 16,49% em perda na resistência mecânica, por sua vez, em 400°C, obteve perda de 16,36%, e, por último, na temperatura máxima de 500°C observou-se perda na resistência mecânica de 41,79%.

## DISCUSSÃO

As produções de carvão vegetal a partir dos galhos de maçaranduba foram realizadas a partir de três temperaturas distintas, onde em cada um dos cenários observa-se o rendimento dos produtos oriundos do processo de pirólise. A degradação com componentes constituintes da madeira se dá de forma gradual e se intensifica à medida que se elevava a temperatura de carbonização. Esse fato se dá pela influência da temperatura em relação a degradação dos constituintes químicos da madeira como a celulose, hemicelulose e lignina, ocorrendo de maneira distintas entre as temperaturas finais de carbonização (PEREIRA et al., 2013; SILVA et al., 2018).

De acordo com Santos (2016), a holocelulose (celulose e hemicelulose) apresenta comportamento instável e menos resistente quando são submetidas a condições térmicas, sendo assim, degrada-se com maior facilidade, eliminando essa estrutura química através dos líquidos pirolenhoso (gases condensáveis) e os gases não condensáveis. No tratamento onde a temperatura final se concentrava nos 300°C, houve maior liberação dos gases não-condensáveis decorrentes da retirada da umidade do material lenhoso e início da degradação da hemicelulose. A partir dos 300°C há a intensificação na produção de gases condensáveis (Tabela 1/Figura 4). Na temperatura de 400°C, a celulose já foi liberada totalmente, restando no carvão vegetal apenas a estrutura química denominada de lignina.

Assim como a hemicelulose, a celulose é liberada através de gases, podendo ser condensáveis ou não condensáveis. Por fim, em 500°C, restando apenas a lignina, continua em processo de degradação, porém de forma mais lenta, justificando a menor diferença na degradação dos constituintes da madeira entre 400 e 500°C, em comparação a faixa entre 300 e 400°C. Segundo Pereira et al. (2013), analisando a degradação térmica de eucalipto, a celulose inicia sua degradação térmica em 315°C, alcançando 400°C, já para hemicelulose ocorre de 190 a 360°C, por fim, a faixa de degradação térmica da lignina compreende de 100 a 900°C.

Em relação às análises mecânicas, observa-se que o efeito isolado da temperatura e do teste de tamboramento foram significativos, enquanto que a interação entre os dois não foi significativo para a avaliação de compressão paralela às fibras. Moutinho et al. (2017), trabalhando com temperatura máxima de 400°C, tempo de residência de 60 minutos e taxa de aquecimento de 1°C.min<sup>-1</sup>, observaram na compressão paralela às fibras de carvão vegetal dos híbridos de *Eucalyptus camaldulensis* x *E.grandis* x (*E.urophylla*) e *E.urophylla* x

*E.pellita*, resultados médios de 7,32 e 8,28 MPa, respectivamente. Nesta presente pesquisa, a temperatura de 300°C, obtiveram resultados semelhantes ao encontrados pelo estudo anteriormente citado, demonstrando bom potencial para finalidades energéticas. Dados semelhantes também foram observados por Vieira (2009), onde, utilizando dois clones de *Eucalyptus* com tratamento baseado em temperaturas máximas de carbonização com taxa de aquecimento de 0.5°C.min<sup>-1</sup>, obteve-se resultados entre 7 e 8MPa para cada clone na temperatura de 350°C, semelhantes aos resultados encontrados nesta pesquisa.

A redução na resistência mecânica do carvão vegetal em temperaturas mais elevadas, principalmente as superiores a 400°C até temperaturas próximas a 500°C pode estar relacionada à perda de massa e a saída dos gases voláteis do interior da peça durante a carbonização (COSTA et al., 2017; MENDES et al., 1982). Blankenhorn et al. (1973), analisando a compressão paralela às fibras, observaram diminuição na resistência próxima a temperatura de 500°C, bem como aconteceu nessa presente pesquisa. Eles constataram também um decréscimo de próximo de 34% na resistência mecânica entre as temperaturas de 500°C e 300°C. Assim, a possível explicação foi relacionar-se com a instabilidade dos feixes de grafites nas temperaturas entre 300 a 500°C, bem como a redução do hidrogênio, redução do cruzamento dos feixes de grafites e perda de orientação das fibrilas nas temperaturas de 500 a 900°C (BLANKENHORN et al., 1972).

A degradação térmica dos constituintes químicos da madeira por meio da carbonização ocorre de forma proporcional à medida que se eleva a temperatura do meio. Com a liberação através de voláteis da estrutura química, a resistência do carvão vegetal apresenta tendência em diminuir. Por sua vez, as movimentações não influenciam na sua resistência mecânica do carvão vegetal durante o manuseio, possivelmente devido a sua alta densidade básica da espécie em estudo que possui uma relação proporcional a resistência do carvão.

Além disso, outra possível explicação para a redução na resistência mecânica seria devido à influência da própria estrutura anatômica da madeira de maçaranduba (*Manilkara huberi*), a qual apresenta menor permeabilidade, possivelmente devido a presença de extrativos. Com isso, quando expostos a degradação térmica, a liberação de gases com alta velocidade com temperaturas maiores, podem proporcionar a presença de fissuras na estrutura interna do carvão vegetal. Através dessa menor permeabilidade, a dificuldade na liberação dos gases torna-se maior, em consequência disso, reduz a resistência mecânica do carvão vegetal.

Os estudos das propriedades mecânicas do carvão vegetal ainda não possuem uma norma técnica específica que oriente a condução dos ensaios (COSTA et al., 2017). Neste cenário os ensaios de compressão paralela às fibras são complexos devidos as suas ausências de padrões nas dimensões dos corpos-de-prova e as condições do próprio ensaio,

além da estrutura deste material ser diferente do material-madeira, sendo necessários estudos específicos para determinação das melhores condições de ensaio, principalmente para madeiras amazônicas que são pouco conhecidas.

## CONCLUSÃO

A movimentação do carvão vegetal durante o seu transporte não afeta significativamente a sua resistência mecânica mesmo utilizando-se diferentes temperaturas máximas de carbonização, porém, é importante enfatizar a observação de uma tendência na redução da resistência mecânica.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ASSIS, M. R.; BRANCHIAU, L. A.; NAPOLI, A.; TRUGILHO, P. F. Factors affecting the mechanics of carbonized wood: literature review. **Wood Science and Technology**, New York, v.1, n.3, p.1-18, 2016. Disponível em: <DOI: dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n116.04>.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Anexo B – Determinação das propriedades das madeiras para projeto de estruturas. Rio de Janeiro: ABNT; 1997. 107 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Normas técnicas NBR 1375-80**. Brasília: ABNT; 1983.
4. BARBIERE, C.C.T.; OSÓRIO, E.; VILELA, A.C.F. Combustibility and reactivity of coal blends and charcoal fines aiming use ironmaking. **Materials Research**, v.19, n.3, p.594-601, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0705>.
5. BLANKENHORN, P.R.; JENKINS, G.M.; KLINE, D.E. Dynamic mechanical properties and microstructure of some carbonized hardwoods. **Wood and fiber**, v.4, n.3, p.212-224, 1972.
6. BLANKENHORN, P.R.; KLINE, D.E.; BEALL, F.C. Dynamic mechanical behavior Black Cherry (*Prunus seronita* Ehrh). **Carbon**, v.11, n.4, p.603-611, 1973.
7. COSTA, L. J.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; SIMETTI, R.; BASTOS, T. A. Caracterização mecânica do carvão vegetal de clones *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, v.45, n.116, p.629-639, 2017. Disponível em: <DOI: dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n116.04>.
8. DIAS JÚNIOR, A.F.; BRITO, J.O.; ANDRADE, C.R. Granulometric influence on the combustion of charcoal for barbecue. **Revista Árvore**, v.39, n.6, p.1127-1133, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000600016>.
9. DIAS JÚNIOR, A.F.; ANDRADE, C. R.; MILAN, M.; BRITO, J. O.; ANDRADE, A. M. D.; SOUZA, N. D. D. Quality function deployment (QFD) reveals appropriate quality of charcoal used in barbecues. **Scientia Agricola**, v.77, n.6, p.1-11, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0021>.

10. MACHADO, G. O.; VOGEL, F.; SILVA, M. M. Influence of temperature carbonization in physical, chemical and energy of charcoal from cinamomo (*Melia azedarach* L.). **Ambiência**, v.10, n.1, p.83-96, 2014. Disponível em: <DOI:10.5935/ambiencia.2014.01.07>.
11. MARTINS, M.P. et al. Produção e avaliação de briquetes de finos de carvão vegetal compactados com resíduos celulósico proveniente da indústria de papel e celulose. **Revista Árvore**, v.40, n.1, p.173-180, 2016. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000100019 >.
12. MENDES, M.G.; GOMES, P.A.; OLIVEIRA, J.B. Propriedades e controle da qualidade do carvão vegetal. In: CETEC. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p.77-89.
13. MOUTINHO, V.H.P. et al. Characterization and statistical correlation between charcoal's physical and mechanical properties of *Eucalyptus* and *Corymbia* clones. **Ciência Florestal**, v.27, n.3, p.1095-1103, 2017. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.5902/1980509828684>.
14. NISGOSKI, S. et al. Anatomical and energy characteristics of charcoal made from five species. **Acta Amazonica**, v.44, n.3, p.367-372, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br /pdf/aa/v44n3/a09v44n3.pdf>.
15. PEREIRA, B.L.C.; CARNEIRO, A.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 Árvore**, v.37, n.3, p.567-576, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000300020>.
16. PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L.; NEVES, T. A.; TRUGILHO, P. F.; RAMALHO, F. M. G.; QUEIROZ, L. R. S. B. Qualidade da madeira e do carvão vegetal oriundos de floresta plantada em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.34, n.78, p.111-123, 2014.
17. R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015.
18. SANTOS, L.C.; CARVALHO, A.M.M.L.; PEREIRA, B.L.C.; OLIVEIRA, A.C.; CARNEIRO, A.C.O.; TRUGILHO, P.F. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, v.36, n.5, p.971-980, 2012. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/S0100- 67622012000500019 >.
19. SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; CASTRO, R.V.O.; VIDAURRE, G.B.; TRUGILHO, P.F.; CASTRO, A.F.N.M. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v.26, n.2, p.67-669, 2016.
20. SILVA, L.; OLIVEIRA, L.; SILVA, H.; SOUSA, P.; BARROS, D. Aproveitamento energético de resíduos movelaria. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v.5, n.2, p.36-42, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/ RBES/index>.
21. SILVA, M.G. et al. Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. **Acta Amazonica**, v.37, n.1, p.61-70, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672007000100007>.
22. SILVA, R. C.; MARCHESAN, R.; FONSECA, M. R.; DIAS, A. C. C.; VIANA, L. C. Influência da temperatura final de carbonização nas características do carvão vegetal de espécies tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018. Disponível em: <DOI: https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201801573>.

23. SIMIONI, F.J.; BUSCHINELLI, C.C.A.; DEBONI, T.L.; PASSOS, B.M. Cadeira produtiva de energia de biomassa florestal: O caso da lenha de eucalipto no solo produtivo de Itapeva – SP. **Ciência Florestal**, v.28, n.1, p.310-323, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/1980509831602>>.
24. SOARES, V.C.; BIANCHI, M.L.; TRUGILHO, P.F.; PEREIRA, A.J.; HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, v.38, n.3, p.543-549, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000300017>>.
25. VIEIRA, R.S. **Propriedades mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus* e do carvão produzido entre 350°C e 900°C**. 2009. 80f. Tese (Doutorado) – Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.
26. VIEIRA, R.S.; LIMA, J.T.; MONTEIRO, T.C.; SELVATTI, T.S.; BARAÚNA, E.E.; NAPOLI, A. Influência da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de *Eucalyptus microcorys*. **Cerne**, Lavras, v.19, n.1, p.59-64, jan./mar. 2013.
27. ZANUNCIO, A.J.V. et al. Extractives and energetic properties of wood and charcoal. **Revista Árvore**, v.38, n.2, p.369-374, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v38n2/18.pdf>>.

“

# Efeito dos manejos convencional e agroflorestal sob a biometria de cultivares de abóbora

Francisca Aline da Silva **Andrade**  
UNILAB

José Abel Aguiar da Silva **Paz**  
UNILAB

Rafael Santiago da **Costa**  
UFC

Beatriz de Abreu **Araújo**  
UFC

Letícia Kenia Bessa de **Oliveira**  
UFC

Francisca Edineide Lima **Barbosa**  
UVA

Raimundo Gleidison Lima **Rocha**  
UNILAB

Aiala Vieira **Amorim**  
UNILAB

# RESUMO

Objetivou-se com o presente estudo, avaliar os aspectos biométricos de cultivares de abóbora submetidas a diferentes manejos agroecológicos. O estudo foi realizado em uma propriedade localizada no município de Acarape, Ceará. O delineamento utilizado foi em parcelas subdivididas, sendo as parcelas referentes aos dois sistemas de cultivo (convencional e em aleias) e as subparcelas as três cultivares de abóbora (Jacarezinho, Moranga e Sergipana), com quatro repetições. Foram avaliadas variáveis de altura, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar. Os resultados indicaram que ao comparar a altura de plantas da cultivar Sergipana no cultivo convencional, nota-se um incremento de 56,36% e 53,81% em relação a cultivar Jacarezinho e Moranga, respectivamente. Avaliando o sistema de cultivo, verifica-se que as cultivares Jacarezinho e Moranga apresentaram maior altura de plantas quando foram cultivadas no sistema em aleias. Em relação ao diâmetro do caule, verificou-se que a cultivar Moranga apresentou média absoluta superior as demais cultivares, no entanto, não diferiu estatisticamente da cultivar Sergipana, que por sua vez não diferiu estatisticamente da cultivar Jacarezinho. Conclui-se que o sistema em aleias permitiu maior crescimento das cultivares Jacarezinho e Moranga, mostrando grande potencial para ser utilizado como alternativa eficaz na busca por redução do uso de insumos sintéticos, bem como na preservação dos recursos naturais da Caatinga.

**Palavras-chave:** Crescimento de Plantas, Sustentabilidade Agrícola, Cultivo em Aleias.

## INTRODUÇÃO

A abóbora (*Curcubita moschata*), uma das espécies cultivadas da família Cucurbitaceae, tem como centro de origem as Américas e possui significativa participação na alimentação de muitos países, podendo ser utilizada na fabricação de doces em calda ou em pasta e no preparo de pratos salgados, ensopados ou cozidos (RESENDE *et al.*, 2013). Seus frutos são conhecidos por uma diversidade de nomenclaturas, tais como abóbora, abóbora-crioula, abóbora gigante, lagarteira, abóbora de vaca, abóbora menina, moranga, jerimum, abóbora de leite, maranhão, abóbora comum, entre outros (BARBIERI *et al.*, 2006; HEIDEN *et al.*, 2007).

No Brasil, a abóbora configura-se como sendo uma das hortaliças mais consumidas, ocupando posição de destaque no agronegócio. Além do valor econômico e nutricional, o seu cultivo tem grande importância social na geração de empregos diretos e indiretos, pois demanda grande quantidade de mão-de-obra em seu processo produtivo, desde o cultivo até a comercialização (ARAÚJO *et al.*, 2012). É uma planta que é cultivada nas mais diversas regiões brasileiras, evidenciando que as características edafoclimáticas são bastante variáveis, mas não são fisiologicamente restritivas, tendo em vista que se trata de uma espécie tropical (GRECCO *et al.*, 2011).

Diante de toda essa importância e também com o aumento da degradação ambiental, decorrente, especialmente, de manejos inadequados do solo e da água em áreas agrícolas, muitos estudos vêm sendo realizados com a finalidade de impulsionar o cultivo de hortaliças, como a abóbora, em sistemas que ofereçam uma maior sustentabilidade e que também garantam rentabilidade ao produtor (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Em face a isso, uma das alternativas que vem sendo utilizada é a inserção desse tipo de hortaliça em sistemas agroflorestais, que são os chamados SAFs (TEBAR, 2020).

De acordo com Camargo *et al.* (2019), os SAFs são sistemas onde plantas lenhosas perenes são cultivadas com culturas agrícolas e/ou animais, em uma forma de arranjo espacial ou sequência temporal. Essa forma de cultivo promove planejamento de uso mais sustentável dos recursos naturais, dada a diversificação da exploração agrícola e florestal existente (BALBINO *et al.*, 2011). As agroflorestas são caracterizadas por serem ecologicamente mais estáveis e biologicamente mais diversas, sendo baseadas na observação da natureza, na compreensão dos mecanismos ecológicos fundamentais das florestas e na aplicação destes mecanismos em ambientes degradados, onde a diversidade tende a aumentar com a progressão das fases da sucessão natural (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Essa forma de cultivo se faz viável e vantajosa social e economicamente para os pequenos produtores, pois, segundo Camargo *et al.* (2019), os componentes do sistema de cultivo agroflorestal são definidos de acordo com as particularidades da propriedade e a finalidade da produção agrícola. Nesse sentido, estes sistemas refletem os conhecimentos

diferenciados de cada produtor, a necessidade de segurança alimentar, além de atender as demandas das mudanças do mercado consumidor vigente, exigentes em alimentos produzidos de forma segura e saudável (SILVA *et al.*, 2014; TEBAR, 2020).

Recentemente, trabalhos relacionados ao crescimento e à produção de plantas em função de mudanças no manejo produtivo têm se destacado. Oliveira *et al.* (2018), por exemplo, trabalhando com cultivo de hortaliças em sistemas agroflorestais sucessionais, constataram que a cultura da abóbora, dentre tantas outras como quiabo, inhame, mandioca e abacaxi, foi uma das que apresentou a produção mais satisfatória em todos os arranjos agroflorestais avaliados com vinte espécies de diferentes ciclos. Isso mostra que o conhecimento dessas interações pode possibilitar o entendimento de como a cultura vai reagir quando cultivada em ambientes com floras distintas.

Esses tipos de pesquisas são imprescindíveis em sistemas agrícolas e cultivos florestais, pois podem colaborar, por exemplo, para a seleção de genótipos e cultivares, assim como também pode auxiliar na definição de práticas de manejos de áreas cultivadas que forneçam maiores ganhos ao produtor (OTTO *et al.*, 2013). Diante desse contexto, acredita-se que uma forma de buscar a sustentabilidade agrícola é a realização do cultivo de hortaliças associado à mata nativa, podendo as espécies da família das cucurbitáceas, como as abóboras, serem utilizadas nesta prática.

## OBJETIVO

Avaliar as respostas biométricas de três cultivares de abóbora submetidas a diferentes manejos agroecológicos, visando à obtenção de subsídios para estabelecimento de um manejo promissor dessa hortaliça em condições de campo.

## MÉTODOS

### Localização do experimento

O experimento foi conduzido em uma área localizada no município de Acarape, Maciço de Baturité – CE, a uma latitude de 04°13'16.2"S, longitude de 38°41'55,6"W e altitude média variando de 70 a 100 m. De acordo com Koppen, o clima do local é classificado como Bsh, ou seja, semiárido quente, caracterizado por escassez de chuvas e grande irregularidade em sua distribuição.

## **Delineamento experimental e tratamentos**

O delineamento utilizado foi em parcelas subdivididas, sendo as parcelas referentes aos dois sistemas de cultivo (convencional e em aleias) e as subparcelas as três cultivares de abóbora (Jacarezinho, Moranga e Sergipana), com quatro repetições.

Cada sistema de cultivo foi implantado em uma área de 50 x 24 m, e foi definido o espaçamento entre as linhas de árvores de 10 m, ficando 5 linhas de árvores por sistema. O espaço entre duas linhas de árvores foi considerado um bloco. As cultivares de abóbora foram semeadas em espaçamento de 2,5 x 0,5 m, com quatro linhas de plantio com 8 metros de comprimento cada uma. Cada tratamento foi composto de quatro repetições e foram considerados nas avaliações os quatro metros centrais das duas linhas do meio de cada subparcela.

## **Escolha da área, montagem e condução do experimento**

Inicialmente foram separadas na área vegetada da propriedade duas áreas próximas com medidas de 50 x 24 m cada, tomando-se o cuidado de nas duas áreas existirem as mesmas características de solo e vegetação.

## **Sistema de irrigação**

Para irrigação das áreas 1 e 2 foi utilizada água proveniente de um açude localizado na propriedade onde foi realizado o experimento e utilizou-se um sistema de irrigação por gotejamento. A água é conduzida da fonte até as plantas, por meio de tubos, eliminando as perdas por condução e minimizando as perdas por percolação, uma vez que se aplica a água somente em parte da área e sob a copa das plantas, em micro bacias. Outra redução das perdas d'água ocorre em função da não existência de dispositivo na extremidade dos microtubos para dissipação da água e pressão, o que contribuiria para o processo de evaporação (SOUZA *et al.*, 2005).

## **Produção de mudas e plantio**

As mudas das três cultivares de abóbora foram produzidas em bandejas de poliestireno tendo como substrato uma mistura de areia e esterco bovino na proporção (2:1). As mudas dispostas nas bandejas foram armazenadas em uma estufa, feita de uma armação de madeira e coberta com plástico a fim de criar um microclima agradável para propiciar um melhor enraizamento. Aos 20 dias após a semeadura, quando as mudas apresentaram uma folha definitiva, foi realizado o transplante para o campo.

## Tratos culturais

Os tratos culturais realizados durante a execução do projeto foram aqueles indicados para o cultivo da abóbora na região Nordeste de acordo com Ramos *et al.* (2010).

## Variáveis biométricas

Aos 41 dias após o transplântio (DAT) foram realizadas medições da altura da planta e do diâmetro do caule, utilizando-se uma régua graduada e um paquímetro digital, respectivamente, além da contagem do número de folhas. Com os dados de altura e diâmetro do caule foi calculada a área foliar, multiplicando-se o comprimento e a largura da folha pelo fator de correção.

## Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade através do software “ASSISTAT 7.5 BETA” e através dos mesmos foram confeccionados os gráficos com auxílio do Excel.

## RESULTADOS

Através dos resultados da análise de variância apresentados na Tabela 1, pode-se observar que as variáveis altura (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) não apresentaram respostas significativas no que diz respeito ao fator ambiente (A). Em relação às cultivares (C), nota-se que apenas as variáveis ALT e DC apresentaram respostas significativas ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. No que diz respeito a interação entre ambiente e cultivares (A x C), somente a variável ALT apresentou resposta significativa a 5% de probabilidade.

**Tabela 1.** Análise de variância para altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) de três cultivares de abóbora, cultivadas em sistema convencional e em aleias, aos 41 dias após o transplântio.

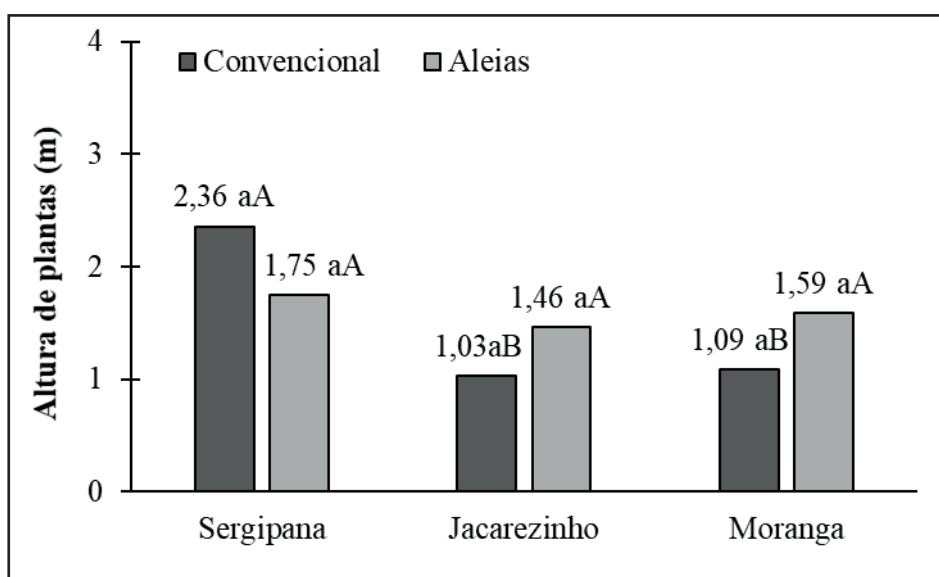
| Fontes de Variação | GL | Quadrado Médio        |                       |                         |                        |
|--------------------|----|-----------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|
|                    |    | ALT (m)               | DC (mm)               | NF                      | AF (cm <sup>2</sup> )  |
| Blocos             | 3  | 0,23138               | 3,39458               | 17,22222 <sup>ns</sup>  | 3204762                |
| Ambiente (A)       | 1  | 0,07763 <sup>ns</sup> | 0,10667 <sup>ns</sup> | 433,50000 <sup>ns</sup> | 22516613 <sup>ns</sup> |
| Resíduo (a)        | 3  | 0,84631               | 7,67583               | 245,16667               | 1327280                |
| Parcelas           | 7  | -                     | -                     | -                       | -                      |
| Cultivares (C)     | 2  | 1,57094**             | 10,09969*             | 345,04167 <sup>ns</sup> | 4026974 <sup>ns</sup>  |
| Int. A x C         | 2  | 0,77800*              | 0,10135 <sup>ns</sup> | 962,37500 <sup>ns</sup> | 523412 <sup>ns</sup>   |
| Resíduo (b)        | 12 | 0,1273                | 2,4926                | 249,48611               | 1801580                |

| Fontes de Variação | GL | Quadrado Médio |         |       |                       |
|--------------------|----|----------------|---------|-------|-----------------------|
|                    |    | ALT (m)        | DC (mm) | NF    | AF (cm <sup>2</sup> ) |
| Total              | 23 | -              | -       | -     | -                     |
| CV% (A)            | -  | 59,54          | 26,23   | 51,06 | 30,39                 |
| CV% (C)            | -  | 23,09          | 14,95   | 51,51 | 35,41                 |

GL = Grau de liberdade; CV = Coeficiente de variação; \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); ns não significativo ( $p \geq 0,05$ ).

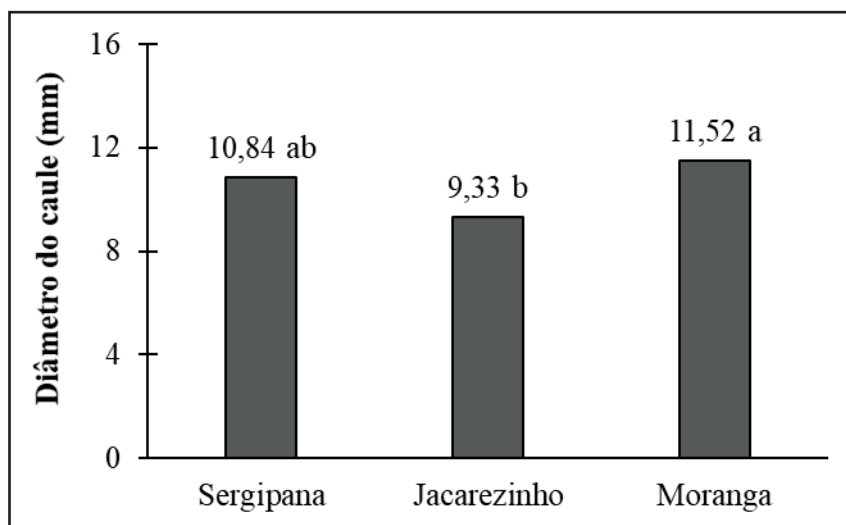
No que diz respeito à altura de plantas (Gráfico 1), como houve interação significativa do Ambiente x Cultivares, é possível observar que a cultivar Sergipana mostrou-se superior no sistema convencional em relação às demais cultivares testadas, no entanto, foi estatisticamente igual no cultivo em aleias. Ao comparar a altura de plantas da cultivar Sergipana no cultivo convencional, nota-se um incremento de 56,36% e 53,81% em relação a cultivar Jacarezinho e Moranga, respectivamente. Avaliando o sistema de cultivo, verifica-se que as cultivares Jacarezinho e Moranga apresentaram maior altura de plantas quando foram cultivadas no sistema em aleias.

**Gráfico 1.** Altura de três cultivares de abóbora, cultivadas em sistema convencional e em aleias, aos 41 dias após o transplântio. Letras minúsculas representam o ambiente e maiúsculas cultivar.



Em relação ao diâmetro do caule, pode-se observar no gráfico 2, que a cultivar Moranga apresentou média absoluta superior as demais cultivares, no entanto, não diferiu estatisticamente da cultivar Sergipana, que por sua vez não diferiu estatisticamente da cultivar Jacarezinho. Ao comparar a cultivar Sergipana, que apresentou média superior, com a cultivar Jacarezinho, que apresentou os piores resultados para DC, verifica-se uma diferença de 19,01%.

**Gráfico 2.** Diâmetro do caule de três cultivares de abóbora aos 41 dias após o transplante. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.



## DISCUSSÃO

A análise de crescimento permite avaliar como as plantas estão se adaptando às condições de manejo estabelecidas e dentre as principais atribuições desta análise, esta, permite inferir a contribuição dos processos fisiológicos no crescimento e na produtividade vegetal. Nesse sentido, Oliveira *et al.* (2014) avaliando o crescimento de plantas de espécies hortícolas e arbóreas cultivadas em sistema agroflorestal, verificaram que plantas de eucalipto apresentaram maior crescimento de acordo com a localização dos canteiros e atribuíram isso a maior incidência de luz, o que favoreceu a maior taxa fotossintética e propiciou maior crescimento das plantas.

De posse dos resultados de altura e diâmetro do caule é possível chegar à conclusão de que a análise destas variáveis proporciona conhecimentos de valor prático e informações precisas relacionadas ao crescimento e desempenho das cultivares de abóbora nos diferentes ambientes de cultivo. Tais informações, podem ser eficazes aos produtores rurais que podem utilizá-las de modo a averiguar qual cultivar que melhor se adapta ao ambiente de cultivo ou até mesmo à região.

Ressalta-se que frente às diversas problemáticas ambientais que tem se vivenciado, o conhecimento a respeito da adaptação das plantas e de novas tecnologias é fundamental para que se conserve o meio ambiente e se garanta a produção agrícola. Acredita-se que dentre as diversas alternativas existentes, a opção apresentada nesta pesquisa, sistema de cultivo em aleias, seguramente, é a mais indicada.

Embora exista uma alta complexidade no processo de crescimento de plantas, a análise de crescimento é uma técnica bastante precisa e importante para que se possa avaliar o desenvolvimento vegetal e a capacidade competitiva entre as plantas, além de ser uma

importante ferramenta utilizada para a interpretação do potencial produtivo das espécies e identificação de cultivares mais tolerantes e produtivas em determinados sistemas de cultivo (AUMONDE *et al.*, 2013).

Jones e Mcleod, (1990) afirmam que o aumento da área foliar é um dos mecanismos utilizados pela planta para aumentar a superfície fotossintética, proporcionando desta forma, um rendimento fotossintético mais eficiente em um ambiente com menor intensidade de luz. Deste modo, a baixa taxa fotossintética é compensada por unidade de área foliar, sendo esta uma característica de folhas sombreadas. Destaca-se que na maioria das vezes, a área foliar aumenta até um máximo, em seguida vai gradualmente reduzindo, sobretudo, em função da senescência das folhas mais velhas.

A partir da avaliação das características de crescimento, pode-se afirmar que os dois tipos de manejos utilizados não afetaram significativamente o crescimento das plantas de abóbora. Sendo assim, acredita-se que o cultivo de curcubitáceas associado as espécies de mata nativa, é uma importante alternativa para que se busque a sustentabilidade agrícola, especialmente nos tempos atuais, em que a sociedade adota um estilo de vida com um consumo exacerbado. E este, por sua vez, implica na busca de novos territórios para plantações agrícolas, o que tende a ocasionar sérios prejuízos aos ecossistemas, já que frequentemente, se faz a retirada da vegetação natural.

Sampaio *et al.* (2015) relatam que a utilização de sistemas de cultivos de aleias, nas regiões tropicais, ganha a cada dia mais notoriedade, podendo esta prática ser considerada uma excelente alternativa de manejo para áreas modificadas, especialmente, pelo pequeno agricultor. Nessa perspectiva, Pereira e Sousa (2015), argumentam que dentre as diversas vantagens que o cultivo em aleias pode proporcionar, pode-se destacar o aumento da biodiversidade; a proteção dos habitats naturais para predadores, propiciando assim, equilíbrio ecológico; fixação biológica de C e N para o sistema, função de quebra-vento, com melhoria no microclima, entre outras.

## CONCLUSÕES

O sistema em aleias permitiu maior crescimento das cultivares Jacarezinho e Moranga, mostrando grande potencial para ser utilizado como alternativa eficaz na busca por redução do uso de insumos sintéticos, bem como na preservação dos recursos naturais da Caatinga.

Acredita-se que o plantio em aleias é um manejo agroecológico promissor para produção de abóbora em condições de campo, pois permite uma produção de qualidade e ecologicamente correta.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que através do Edital Universal, financiou esta pesquisa.

## FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## ■ REFERÊNCIAS

1. ARAÚJO, H. S.; QUADROS, B. R.; CARDOSO, A. I. I.; CORRÊA, C. V. Doses de potássio em cobertura na cultura da abóbora. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 469-475, 2012.
2. AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; MORAES, D.M.; VILLELA, F.A.; LOPES, N. F. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 99-108, 2013.
3. BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DASILVA, V.; MORAES, A.; MARTINEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária Floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1-12, 2011.
4. BARBIERI R. L.; HEIDEN G.; NEITZKE R. S.; GARRASTAZÚ M. C.; SCHWENGBER J. E. **Banco Ativo de Germoplasma de Cucurbitáceas da Embrapa Clima Temperado - período de 2002 a 2006**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 30p. (Documento, 176), 2006.
5. CAMARGO, G. M.; SCHLINDWEIN, M., M.; PADOVAN, M. P.; SILVA, L. F. Sistemas Agroflorestais Biodiversos: Uma alternativa para pequenas propriedades rurais. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 15, n. 1, p. 34-46, 2019.
6. GRECCO, E. D.; SILVEIRA, L. F. V.; LIMA, V. L. S.; PEZZOPANE, J. E. M. Estimativa do índice de área foliar e determinação do coeficiente de extinção luminosa da abóbora *Cucurbita moschata* var. japonesa. **Idesia (Arica)**, v. 29, n. 1, p. 37-41, 2011.
7. HEIDEN G; BARBIERI R. L.; NEITZKE R. S. **Chaves para a identificação das espécies de abóbora (Cucurbita, Cucurbitaceae) cultivadas no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 31p. (Documentos, 197), 2007.
8. JONES, R. H.; MCLEOD, K. W. Growth and photosynthetic responses to a range of light environments in Chinese tallow tree and Carolina ash seedlings. **Forest Science**, v. 36, n. 4, p. 851-862, 1990.
9. OLIVEIRA, M. N. **Cultivos consorciados de espécies hortícolas e arbóreas em agroflorestas sucessionais biodiversas**. Dissertação (mestrado em agronomia) - Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. 2014, 95p.

10. OLIVEIRA, M. N.; JUNQUEIRA, A. M. R.; MACHADO, M. S. Cultivo de hortaliças em sistemas agroflorestais sucessionais. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, p. 1-5, 2018.
11. OTTO, M. S. G; VERGANI, A, R; GONÇALVES, A. N; VERCHI, A; SILVA, S. R; STAPE, J. L. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 431-439, 2013.
12. PEREIRA V. A; SOUZA J. L. Efeitos da biomassa verde de leucena, associada a doses de composto, sobre as características do solo em cultivo orgânico em alamedas. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 4982- 4989, 2015.
13. RAMOS, S. R. R; LIMA, N. R. S; ANJOS, J. L; CARVALHO, H. W. L; OLIVEIRA, R; SOBRAL, L. F; CURADO, F. F. **Aspectos técnicos do cultivo da abóbora na região Nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 154).
14. RESENDE, G. M.; BORGES, R. M. E.; GONÇALVES, N. P. S. Produtividade da cultura da abóbora em diferentes densidades de plantio no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 3, p. 504-508, 2013.
15. SAMPAIO, L. R; ARAÚJO, J. R.G; SOUSA, E. H. S; FERRAZ JÚNIOR, A. S. L; ARAUJO, A. M. S. Cultivo de abóbora, suplementada com biofertilizante, em aléias de leguminosas arbóreas. **Horticultura brasileira**, v. 33, n. 1, p. 40-44, 2015.
16. SOUZA, I. H; ANDRADE, E. M; SILVA, E. L. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software “*bubbler*”. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, 2005.
17. TEBAR, M. M. Sistema Agroflorestal Semente Viva: iniciativa estudantil na construção de um sistema de cultivo agroecológico. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 4, p. 1-8, 2020.

“

# Germinação e crescimento inicial de sementes de *Adenanthera pavonina* L. em diferentes tipos de substratos

- I Edja Santos de **Araújo**  
UFAL
- I Lucas Teles **Bezerra**  
UFAL
- I Déborah Monteiro **Barbosa**  
UFAL
- I Gustavo Belchior de **Barros**  
UFAL
- I Allaiane Fiama Vieira da **Silva**  
UFAL
- I Aldo Luiz Maximino **Romeiro**  
UFAL
- I Mikael Oliveira da **Silva**  
UFAL

# RESUMO

*Adenanthera pavonina* L. é uma espécie florestal bastante utilizada na recuperação de áreas degradadas. Diante disso, o estudo objetivou analisar o efeito de diferentes substratos na emergência e crescimento inicial de plântulas de *A. pavonina* em diferentes tipos substratos. O experimento foi conduzido no Centro de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas. Os frutos de *A. pavonina* foram coletados de árvores matrizes localizadas no CECA e levados a laboratório onde foram beneficiados manualmente para a obtenção das sementes. Os diferentes substratos utilizados para avaliar o comportamento germinativo das sementes de *A. pavonina* foram areia lavada, terra vegetal e vermiculita. Foram utilizadas cinco repetições por tratamento, sendo 10 sementes para cada repetição, totalizando 150 sementes. Foram avaliadas as seguintes variáveis: Porcentagem de emergência e Índice de velocidade de emergência. O delineamento experimental foi inteiramente casualizados e os tratamentos foram compostos por 3 substratos: areia; terra vegetal; vermiculita. Os substratos que demonstraram maiores valores de IVG foram vermiculita e terra vegetal, sendo que a terra vegetal foi o substrato que propiciou para as plântulas maior resistência a patógenos, indicando que esse substrato é o mais adequado para testes de germinação de sementes de *A. pavonina*. Verificou-se que os diferentes tipos de substratos influenciaram significativamente a porcentagem de emergência das plântulas de *A. pavonina*. Contudo o substrato de terra vegetal se mostrou mais adequado pela sua resistência a patógeno e seus resultados em emergência de germinação.

**Palavras-chave:** Crescimento, Dormência, Índice de Velocidade.

## INTRODUÇÃO

*Adenanthera pavonina* L. é uma árvore semidecídua da família Fabaceae, subfamília Mimosoideae, de qualidades ornamentais, madeireiras, ecológicas e medicinais. Originária da África e Ásia. Possui vários nomes populares, entre eles; olho de dragão, falso pau-brasil, carolina- tento e segawê. A *A. pavonina* foi introduzida no Brasil e atualmente é encontrada nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, cidades do interior de São Paulo, Minas Gerais, Região Nordeste, entre outras partes do país (COSTA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2009).

Seu porte pode atingir até 15 metros, possuindo como características, folhas compostas bipinadas e alternas, flores de cor amarela, frutos em vagens estreitas, marrons e espiraladas quando se abrem. Sua floração ocorre de março a abril, com frutificação de junho a agosto. As sementes são globosas, duras e de um vermelho brilhante, tendo um largo emprego no artesanato. (RODRIGUES et al., 2009). Quanto as características do lenho desta espécie, ocorre a formação de uma madeira marrom-avermelhada e compacta, útil na construção civil e na marcenaria (LORENZI, 2003).

De fato, a utilização de espécies florestais se mostra importante para vários aspectos, como reflorestamento, projetos ornamentais e até mesmo para fins de alimentação animal em épocas de estiagem (PELAZZA et al., 2011). Tendo grande rusticidade a *A. pavonina* se constitui ainda uma boa indicação para processos de reflorestamento, já que o sombreamento por ela produzido contribui para o crescimento e desenvolvimento de outras plantas (FREIRE et al., 2019).

Para tal, faz-se necessário o desenvolvimento de mudas e neste aspecto, é fundamental o conhecimento sobre o processo germinativo da semente. A semente é a parte do fruto que contém o embrião, em estado de vida latente e que em condições favoráveis dará origem à outra planta e, por isso, é necessário conhecer o seu desenvolvimento (SAMPAIO et al., 2015). Contudo, uma das grandes dificuldades para a produção de mudas de espécies florestais, é que as suas sementes apresentam algum tipo de dormência (SILVA et al., 2020). Além disso, é de grande importância conhecer as condições que proporcionam uma boa germinação, assim como os substratos ideais para o estabelecimento e desenvolvimento das plântulas, uma vez que as sementes constituem uma das vias de propagação mais empregada na implantação de plantios (BARBOSA, 2017).

Neste aspecto, de acordo com Bezerra et al. (2017), uma vez que *Adenanthera pavonina* se propagada via sementes, é indispensável o conhecimento a respeito das necessidades ecofisiológicas de sua germinação. Pois, o sucesso no estabelecimento de uma espécie depende da tolerância das plântulas as condições adversas do meio ambiente. E, muitas vezes, pela falta de informações quanto às necessidades ecofisiológicas das espécies, as

mesmas são empregadas em condições inadequadas, resultando em insucessos, a exemplo, operações de recuperação e restauração florestal ou mesmo produção de mudas em viveiros florestais.

Logo, pesquisas que abordam acerca do desenvolvimento e do potencial germinativo e fisiológico de mudas são de fundamental importância, uma vez que fornecem informações indispensáveis para o planejamento e desenvolvimento direcionados aos plantios comerciais, revegetação de áreas de extrativismo e preservação ambiental (GUEDES et al., 2011). Sendo desta forma, o substrato a ser utilizado de fundamental importância, pois atua como suporte onde as sementes são colocadas para germinar, fornecendo condições apropriadas para o desenvolvimento da plântula (FERREIRA et al., 2008).

A escolha do tipo de substrato, deve ser feita levando em consideração as exigências das sementes em relação à quantidade de água, ao tamanho e a sensibilidade à luz além da facilidade de contagem e avaliação das plântulas (BRASIL, 2009). Substrato é todo material sólido, podendo ser, natural, sintético ou residual, mineral ou orgânico distinto do solo, que permita a fixação e desenvolvimento do sistema radicular, permitindo a estabilidade da planta (OLIVEIRA et al., 2016). Atualmente na propagação de espécies vegetais, são utilizados inúmeros substratos, que podem estar em sua constituição original ou combinados. As propriedades dos substratos podem sofrer variação dependendo do local de obtenção, mesmo quando constituídos do mesmo material (OLIVEIRA et al., 2020).

Para Kratz et al. (2013), as propriedades do substrato variam em função de diversos fatores, como a origem, método de obtenção e produção, proporções entre componentes. Dessa forma, para que se embase melhor a formulação de misturas e adubação é importante que se analise as propriedades de todos os substratos utilizados. Para conferir o potencial de uma determinada espécie, a exemplo *A. pavonina*, testes ligados a germinação conferem, numa amostra, a proporção de sementes vivas e capazes de produzir plantas normais sob condições favoráveis (NASSIF et al., 2004; MARCOS FILHO, 2015).

Na literatura, podem ser encontradas diversas pesquisas com espécies florestais cujo os autores reportaram bons resultados ao analisar a influência do substrato sobre a germinação de sementes, como Araújo et al. (2020), com *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan., Jesus, (2019) e Montenegro, (2019) com *Adenanthera pavonina* L., Balieiro, (2018), com *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam) Urban., Honório et al. (2017), com *Euterpe oleraceae* (Mart.), Bezerra et al. (2017), com *Parkia platycephala* Benth., Pacheco et al. (2014) com *Combretum leprosum* Mart., Oliveira et al. (2013), com *Diptychandra aurantiaca* (Mart.) Tul., Alves et al. (2011), com *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert., Lima et al. (2011), com *Caesalpinia pyramidalis* Tul., e Guedes et al. (2011), com *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All.

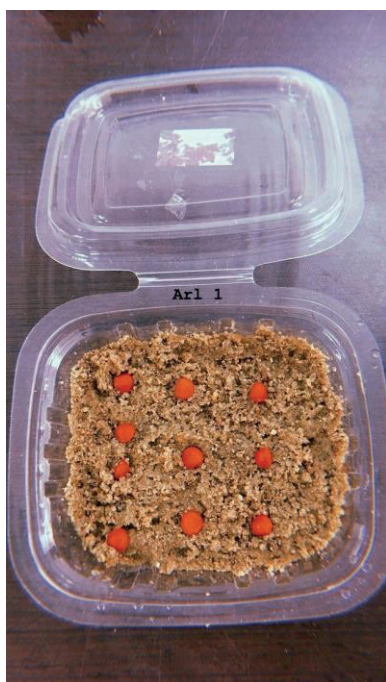
Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa determinar o efeito de diferentes substratos na emergência sementes e crescimento inicial de plântulas de *Adenanthera pavonina* L.

## METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Centro de Engenharias Ciências Agrárias – CECA, da Universidade Federal de Alagoas - UFAL. Com coordenadas geográficas 09° 29' 41" de latitude Sul e 35° 51' 12" de longitude Oeste de Greenwich, temperatura média anual é 24.1 °C, pluviosidade é 1630 mm e altitude de 44 m. Os frutos de *A. pavonina* foram coletados diretamente de árvores matrizes localizadas no CECA e levados ao Laboratório de Tecnologia da Produção – LATEP, onde foram beneficiados manualmente para a obtenção das sementes. As sementes foram submetidas ao tratamento com ácido sulfúrico por oito minutos para superar a dormência seguindo a metodologia de Ribeiro et al. (2009).

Após esse procedimento as mesmas foram lavadas por 20 minutos em água corrente de torneira por aproximadamente um minuto para retirada do resíduo do ácido. Transcorrida esta etapa, procedeu-se a assepsia das sementes com imersão destas em uma solução com hipoclorito de sódio (NaClO) diluído a 1%, por um período de 5 minutos, posteriormente, foram lavadas por quatro minutos em água corrente e durante um minuto em água destilada. Os diferentes substratos utilizados para avaliar o comportamento germinativo das sementes de *A. pavonina* foram areia lavada (fig1), terra vegetal (fig2) e vermiculita (fig3). Foram utilizadas cinco repetições por tratamento, sendo 10 sementes para cada repetição, totalizando 150 sementes (8,92g) (fig4).

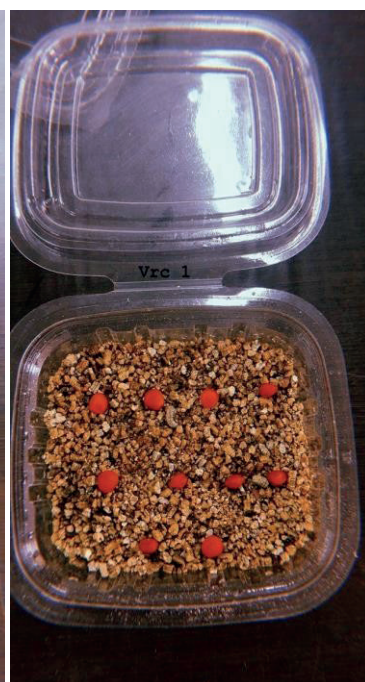
**Figura 1.** Areia Lavada



**Figura 2.** Terra vegetal



**Figura 3.** Vermiculita



A semeadura foi realizada em caixas acrílicas transparentes de 11 x 11 x 3 cm, com tampa. As sementes foram semeadas entre (camada de substrato com aproximadamente 1,0 cm de espessura acima da semente) e sobre os substratos, areia lavada e vermiculita, previamente autoclavados a 120°C, durante 2h, e umedecidos com solução de Nistatina 0,2%. Os substratos foram umedecidos com o auxílio de uma pisseta de acordo com suas necessidades hídricas, a cada 500ml de água, utilizou-se 0,2% de nistatina. O delineamento experimental foi inteiramente casualizados (DIC) e os tratamentos foram compostos por 3 substratos: areia; terra vegetal; vermiculita.

**Figura 4.** cinco repetições por tratamento, totalizando 150 sementes



Para verificar o efeito dos tratamentos foram avaliadas as seguintes variáveis: porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência. Para a porcentagem de emergência, o número de sementes emergidas foi avaliado diariamente, adotando-se como critério de germinação a protrusão inicial da raiz primária com aproximadamente 2 mm de comprimento, até o 14º dia (período em que se verificou a estabilização) após a semeadura, utilizando-se o critério estabelecido nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) por meio da fórmula,  $PE\% = (SE/TS)100$ . A primeira contagem de emergência, foi realizado em conjunto com a porcentagem de emergência de plântulas observadas no 3º dia após a

semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem média de plântulas emergidas em cada tratamento (KRZYZANOWSKI et al., 1999).

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi realizado conjuntamente com o teste de germinação, em que se computou o número de sementes germinadas diariamente, do 3º até o 14º dia após a semeadura, e cujo índice foi calculado de acordo com a fórmula apresentada por Maguire (1962) obedecendo a seguinte fórmula,  $IVG = (E1/N1) + (E2/N2) + (E3/N3) + \dots + (EI/N1)$ . Os dados obtidos, foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, por meio do programa estatístico ASSISTAT versão 7.7 (SILVA & AZEVEDO, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se influência significativa dos diferentes tipos de substratos na porcentagem de emergência das plântulas de *A. pavonina* como pode ser verificado na figura abaixo (figura 1).em que a terra vegetal proporcionou maiores porcentagens de emergências, alcançando 90% de plântulas emergidas, diferindo estatisticamente dos demais substratos avaliados na pesquisa que não diferiram entre si. Sendo observados resultados de emergência de 78% e 77% para vermiculita e areia respectivamente.

A germinação é uma sequência de eventos fisiológicos influenciada por fatores externos (ambientais) e internos (dormência, inibidores e promotores da germinação) (GONÇALVES, 2012). O processo de germinação e emergência de sementes pode ser influenciado por diversos fatores (MARCOS FILHO, 2015), dentre estes, o substrato exerce uma influência marcante sobre a germinação de sementes atribuído principalmente à quantidade e tamanho das partículas que definem a aeração e a retenção de água necessária ao crescimento da plântula (FERRAZ et al., 2005). A emergência das plântulas pode acontecer em qualquer tipo de substrato que proporcione reserva de água suficiente para que ocorra o processo germinativo (LAVIOLA et al., 2006). Logo, como observado, a terra vegetal mostrou-se superior em resultados quando comparado aos demais substratos por proporcionar melhores condições para o desenvolvimento das sementes avaliadas.

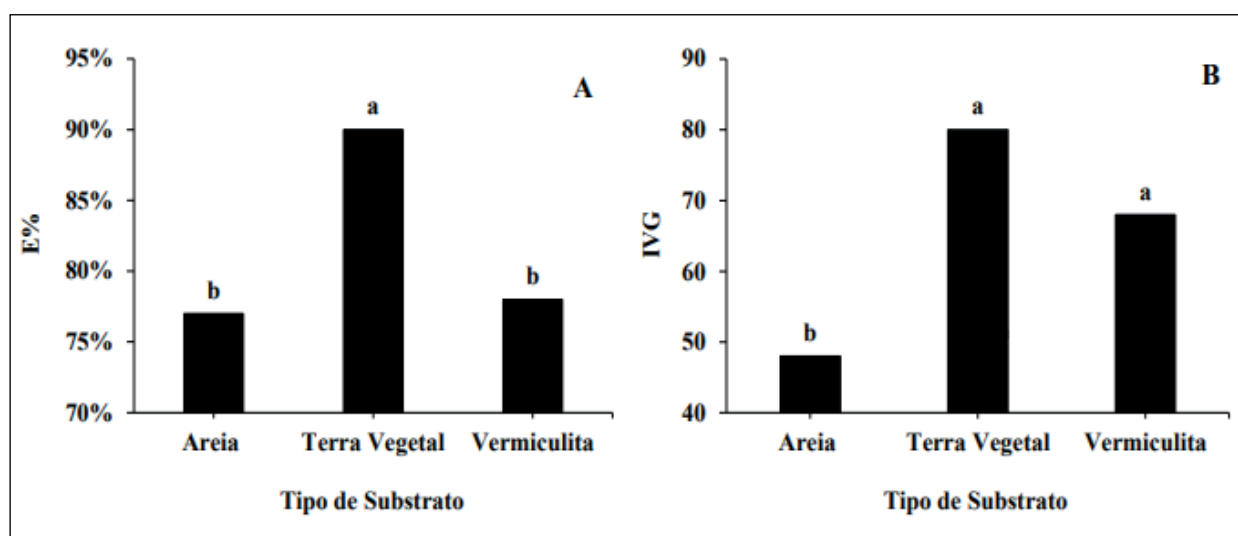
Resultados próximos aos encontrados neste experimento foram achados na literatura, nos quais, a terra vegetal proporcionou maiores porcentagens de emergência como dito por Alves et al. (2015) para plântulas de piriquiti (*Adenantha pavonina* L.), Alves et al. (2011), em sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* Spreng.) e Braga Júnior et al. (2010), em juazeiro (*Zizyphus joazeiro* Mart.).

No que se trata do Índice de velocidade de germinação (IVG) a terra vegetal e vermiculita foram os substratos que somaram maiores resultados não sendo observada diferença significativa entre estes. Contudo, a terra vegetal propiciou para as plântulas maior

resistência a patógenos, o que o sugere como mais adequado para testes de germinação de sementes de *A. pavonina*.

Semelhante ao que ocorreu nesta pesquisa, foi possível se verificar em trabalhos na literatura nos quais os resultados para índice de velocidade de germinação (IVG) foi alterado conforme o tipo de substrato usado, como mencionado por Padilha et al. (2020), com *Cassia leptophylla* Vogel., Gonçalves, (2018), com *Tabebuia serratifolia* (Vahl. Nicholson) e *Adenanthera pavonina* L. Dutra et al. (2016), com *Luehea divaricata* (Mart. & Zucc.) Oliveira et al. (2016), com *Ormosia arborea* (Vell.) Harms., Alves et al. (2015), com *Adenanthera pavonina* L. e GONDIN et al. (2015) com (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke.

**Figura 1.** Porcentagem de emergência (E%) de plântulas de *Adenanthera pavonina* L. (A) e Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *A. pavonina* em diferentes substratos (B).



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

## CONCLUSÃO

Os substratos areia, terra vegetal e vermiculita, foram eficientes para promover a emergência e o crescimento inicial de plântulas de *Adenanthera pavonina* L. Mas o substrato de terra vegetal se mostrou mais adequado pela sua resistência a patógenos e seus resultados superiores em emergência de plântulas.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ALVES, E. U.; GUEDES, R. S.; GONÇALVES, E. P.; VIANA, J. S.; SANTOS, S. S.; MOURA, M. F. Effect of temperature and substrate on germination of *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert seeds. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 33, n. 1, p. 113-118, 2011.
2. ALVES, E. U.; ANDRADE, L. A. D.; BRUNO, R. D. L. A.; VIEIRA, R. M.; CARDOSO, E. D. A. Emergência e crescimento inicial de plântulas de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert sob diferentes substratos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 439-447, 2011.
3. ALVES, M. M.; ALVES, E. U.; ARAÚJO, L. R. D.; ARAÚJO, P. C.; NETA, M. D. M. S. D S. Crescimento inicial de plântulas de *Adenanthera pavonina* L. em função de diferentes substratos1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 352-357, 2015.
4. ARAÚJO, M. F. P.; DE PINHO, E. F. M.; SILVA, C. A. P., RUAS, M. A. O. Substratos alternativos para a produção de mudas de Angico Branco (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan). **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-7, 2020.
5. BALIEIRO, C. F. Influência de diferentes substratos na germinação de sementes da espécie *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam) Urban. 2018.
6. BARBOSA, A. F. Germinação e crescimento inicial de *Adenanthera pavonina* L. adubada com composto orgânico. 2017.
7. BEZERRA, R.; MATOS, V. P.; FARIAS, S. G. G.; SENA, L. H. M.; SILVA, D. Y. B. O. Germinação e vigor de plântulas de *Parkia platycephala* Benth. em diferentes substratos e temperaturas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 142-150, 2017.
8. BRAGA JÚNIOR, J. M.; BRUNO, R. L. A.; ALVES, E. U. Emergência de plântulas de *Zizyphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae) em função de substratos **Revista Árvore**, v. 34, n. 4, p. 609-616, 2010.
9. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395 p.
10. COSTA, P. A.; LIMA, A. L. S.; ZANELLA, F.; FREITAS, H. Quebra de dormência em sementes de *Adenanthera pavovina* L. **Revista Pesquisa Agropecuária**, v. 40, n. 1, p. 83 - 88, 2010.
11. DUTRA, A. F.; ARAUJO, M. M.; RORATO, D. G.; MIETH, P. Germinação de sementes e emergência de plântulas de *Luehea divaricata* Mart. et. Zucc. em diferentes substratos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 411-418, 2016.
12. FERRAZ, M. V.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 2, p. 209-214, 2005.
13. FERREIRA, E. G. B. S.; MATOS, V. P.; SALES, A. G. D. F. A. Germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de crista-de-galo em diferentes substratos. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 2, p. 241-244, 2008.
14. FREIRE, F. C. J.; SANTOS, L. O.; SILVA, E. S.; OLIVEIRA, L. K. A.; JUNIOR, J. M. S. Estudo da germinação e de alguns fatores condicionantes de semente de *Adenanthera pavonina* L. e sua importância para a recuperação de áreas degradadas. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 25958-25971, 2019.

15. GONDIN, J. C.; SILVA, J. B. D.; ALVES, C. Z.; DUTRA, A. S.; ELIAS JUNIOR, L. Emergência de plântulas de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (CAESALPINACEAE) em diferentes substratos e sombreamento1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 329-338, 2015.
16. GONÇALVES, G. G. Propagação e desenvolvimento inicial *Deficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. (Moraceae) em diferentes temperaturas, intensidades luminosas e substratos. 2012.
17. GONÇALVES, Maria Auxiliador Brazão. Germinação e crescimento inicial de duas espécies florestais em diferentes substratos. 2018.
18. GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; GONÇALVES, E. P.; FRANÇA, P. R. C.; MOURA, M. F.; SILVA SANTOS, S. Germinação de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 33, n. 4, p. 445-450, 2011.
19. GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; OLIVEIRA, L. S. B.; ANDRADE, L. A.; GONÇALVES, E. P.; MELO, P. A. R. F. Envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de
20. *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 443-450, 2011. HONÓRIO, A. B. M.; SOUSA, R. D.; MARINHO, P.; LEAL, T. D. B.; SOUZA, P. D. Germinação de sementes de *Euterpe oleraceae* (Mart.) em diferentes substratos. **Agrarian Academy**, v. 4, p. 280-288, 2017.
21. JESUS, E. R. D. Crescimento inicial de mudas de carolina (*Adenanthera pavonina* L.) e moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em resposta a adubação com pó de rocha e biocalda. 2019.
22. KRATZ, D.; WENDLLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; ZOUZA, P. V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, v.37, n.6, p.1103-1113, 2013.
23. KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: **Abrates**, 1999.
24. LAVIOLA, B. G.; LIMA, P. A.; WAGNER JÚNIOR, A.; MAURI, A. L.; VIANA, R. S.; LOPES, J. C. Efeito de diferentes substratos na germinação e no desenvolvimento inicial de jiloeiro (*Solanum gilo* RADDI), cultivar verde claro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 3, p. 415-421, 2006.
25. LIMA, C. R. D.; PACHECO, M. V.; BRUNO, R. D. L. A.; FERRARI, C. D. S.; BRAGA JÚNIOR, J. M.; BEZERRA, A. K. D. Temperaturas e substratos na germinação de sementes de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 216-222, 2011.
26. LORENZI, H. Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa, SP: **Instituto Plantarum**, 2003. 368 p.
27. MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2ªed Piracicaba: Fealq, 2015, 659p.
28. MONTENEGRO, K. O. R. Desenvolvimento inicial de mudas de carolina (*Adenanthera pavonina* L.) e moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em resposta a adubação com pó de rocha e manipueira. 2019.
29. NASSIF, S. M. L.; VIEIRA, I. G.; FERNANDES, G. D. Fatores externos (ambientais) que influenciam na germinação de sementes, 2004.

30. OLIVEIRA, A. K. M. D.; RIBEIRO, J. W. F.; PEREIRA, K. C. L.; SILVA, C. A. A. Effects of temperature on the germination of *Diptychandra aurantiaca* (Fabaceae) seeds. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 2, p. 203-208, 2013.
31. OLIVEIRA, A.; SOUZA, J.; CARVALHO, J.; SOUZA, S.; BOCCHESI, R. Germinação de sementes e crescimento de *Ormosia arborea* em diferentes temperaturas e substratos. **Gaia Scientia**, v. 10, n. 4, p. 262-271, 2016.
32. OLIVEIRA, M. C.; OGATA, R. S.; ANDRADE, G. A.; SANTOS, D. S.; SOUZA, R. M.; GUIMARÃES, T. G.; MANOEL JÚNIOR, C. S.; PEREIRA, D. J. S.; RIBEIRO, J. F. Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado. Brasília: **Rede de Sementes do Cerrado**, 2016. 124p.
33. OLIVEIRA, M. F., DA SILVA, E. C., CATUNDA, P. H. A., DOS SANTOS SILVA, E., & LEITE, N. S. Emergência de plântulas e desenvolvimento inicial de mudas de aroeira sob diferentes substratos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 56093-56105, 2020.
34. PACHECO, M. V.; ARAÚJO, F. D. S.; FERRARI, C. D. S.; BRUNO, R. D. L. A. Germinação de sementes de *Combretum leprosum* Mart. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 154-162, 2014.
35. PADILHA, M. S.; SOBRAL, L. S.; OLIVEIRA, A. S. M.; PARCIANELLO, M. M. Temperaturas e substratos para o teste de germinação de sementes de *Cassia leptophylla* Vogel. **agri-environmental sciences**, v. 6, p. 9-9, 2020.
36. PELAZZA, B. B.; SEGATO, S. V.; ROMANATO, F. N. Quebra de dormência em sementes de *Adenanthera pavonina* L. **Nucleus**, v. 8, n. 1, p. 305 - 314, 2011. RODRIGUES, A. P. D. C.; OLIVEIRA, A. K. M.; LAURA, V. A.; YAMAMOTO, C. R.;
37. CHERMOUTH, K. S.; FREITAS, M. H. Tratamentos para superação da dormência de sementes de *Adenanthera pavonina* L.. **Revista Árvore**, 33:617-623, 2009.
38. SAMPAIO, M. F.; COUTO, S. R.; SILVA, C. A.; SILVA, A. C. A.; SILVA, A. A. S.; TEIXEIRA, A. L. Influência de diferentes substratos associados a métodos de superação de dormência na germinação e emergência de sementes de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Revista Faro-ciência**, v. 3, p. 11-27, 2015.
39. SILVA, F. A. S. & AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, 11 (39), 3733-3740. 2016.
40. SILVA, G. I. N.; ARAUJO, A. B. N.; FERRAZ, A. C. N.; SILVA, C. X.; SILVA, M. A. D. Utilização de diferentes tratamentos pré-germinativos para superação de dormência em sementes de *Adenanthera pavonina* L. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 2, p. 754-762, 2020.

“

# Gás Natural: Cenário da Produção e Processos de Tratamento

▮ Lucas Freitas de Lima e **Freitas**  
WSU

▮ Ronney José Oliveira **Santos**  
UNIT/ITP

▮ Marília Rafaele Oliveira **Santos**  
UNIT/ITP

▮ Fabiane Santos **Serpa**  
ITP

▮ Roberto Oliveira **Macêdo Júnior**  
UFS/PETROBRAS

# RESUMO

Misturas de hidrocarbonetos gasosos como metano, etano, hexano e alguns contaminantes que são encontradas nos reservatórios de petróleo são também conhecidas por gás natural, fonte de energia não renovável encontrada de forma abundante em rochas reservatórios. Esse fluido é considerado uma importante fonte de energia na economia mundial. No Brasil, atualmente, destaca-se a produção de gás natural na região do Pré-Sal. Aspectos econômicos e ambientais estimulam ao desenvolvimento de pesquisas e processos. O gás natural, ao fim das operações de exploração e produção, passa por processos de tratamentos para retirada de impurezas como água ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e gás sulfídrico ( $H_2S$ ), e separação das frações leves e pesadas. Um dos principais desafios da indústria é obter produtos finais enquadrados de acordo com especificações exigidas pelo mercado para uma futura comercialização. Os principais processos aplicados no tratamento do gás natural são a desidratação e a dessulfurização ou adoçamento, ambos destinados a retirada da água e remoção dos gases ácidos, respectivamente. Diante deste cenário, o presente capítulo propõe apresentar uma breve revisão da literatura acerca da cadeia de produção do gás natural, em particular dos processos de tratamentos. A relação entre produção e demanda estimula a diversificação desses processos apresentando um cenário promissor para este setor.

**Palavras-chave:** Desidratação, Dessulfurização, Processamento, Gás Natural.

## INTRODUÇÃO

Considerado uma energia não renovável, o gás natural (GN) é mais leve do que o ar, não tem cor e nem cheiro. É um combustível fóssil encontrado na natureza, normalmente no subsolo em grandes reservatórios, associado ou não ao petróleo. Assim como o petróleo, o gás natural resulta da degradação da matéria orgânica, fósseis de plantas e animais que estão acumulados em rochas a milhares de anos (FARAG et al., 2011; SALVINDER et al., 2018).

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos, sendo composto quase majoritariamente por metano. Apresenta, também, hexano, nitrogênio, vapor d'água e alguns contaminantes (gás sulfídrico e dióxido de carbono). É considerado rico quando a soma das percentagens de todos os componentes mais pesados que o propano ( $C_3$ ) é maior que 7% (GHALANDARI; HASHEMIPOUR; BAGHERI, 2020; GRANDE; ROCHA; ANDREASSEN, 2017). Entretanto, o gás natural que se encontra na boca do poço, embora ainda constituído por metano, não é puro. O gás natural bruto tem origem a partir de três tipos de poços: poços de petróleo, poços de gás e poços condensados.

Durante a produção do petróleo, o gás natural oriundo dos poços, é geralmente denominado “gás associado”. Este gás pode existir separadamente do óleo na formação (gás livre), ou dissolvido no óleo bruto (gás dissolvido). O gás natural produzido a partir de poços de gás e poços condensados, no qual existe pouco ou nenhum óleo bruto é denominado “gás não associado” (RIGOLIN, 2007; ROSA, 2010).

Inicialmente o gás natural foi usado como fonte de luz, porém com avanço da energia elétrica, foi substituído em 1890. No início do século XX, o gás natural ingressou como atividade econômica no cenário mundial, usado para aquecer as casas, cozinhar alimentos, gerar combustível para veículos e em células de energia (BRASIL; ARAÚJO; SOUSA, 2014; COELHO, 2007). Segundo Martins et al. (2017) a maior descoberta no Brasil e no Mundo, nos últimos anos, foi a reserva localizada na camada Pré-Sal. Esta região apresenta uma alta produção de GN. O setor de petróleo e GN no Brasil corresponde a 13% do PIB brasileiro, gerando em torno de R\$ 295 bilhões em participações governamentais, realçando o grande potencial desta indústria.

Considerando o cenário brasileiro de produção de GN, em especial em campos produtores do Pré-Sal, dados da literatura (MELO et al., 2011) apontam que o GN dissolvido no campo Lula apresenta concentrações de  $CO_2$  entre 8 e 12%. Como esses valores ultrapassam os previstos para comercialização do gás no Brasil (entre 0 e 2%), o excesso produzido deve então ser removido e descartado.

Deste modo, ainda existem desafios que necessitam ser superados para que este gás seja comercializado (PEDROSA JR.; CORRÊA, 2016). Uma das maiores desvantagens dos campos produtores do Pré-Sal, são a alta concentração de contaminantes, principalmente

de  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{CO}_2$ , que juntos podem formar gases ácidos, levando à corrosão de tubulações e equipamentos; entupimento das linhas de produção, devido a tendência à formação de hidratos; redução da eficiência de combustão; diminuição da capacidade de transmissão do oleoduto. Em razão disso, o processo de purificação do GN torna-o oneroso, devido aos altos investimentos.

Assim, o GN necessita de alguns processos de tratamento ou condicionamento para que as especificações da indústria, segurança e transporte sejam atendidos. Considerando a importância deste tema mediante a produção em campos de petróleo, este capítulo de livro propõe abordar aspectos gerais do GN, descrevendo as especificações de acordo com Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e expondo as etapas do processamento primário.

## DESENVOLVIMENTO

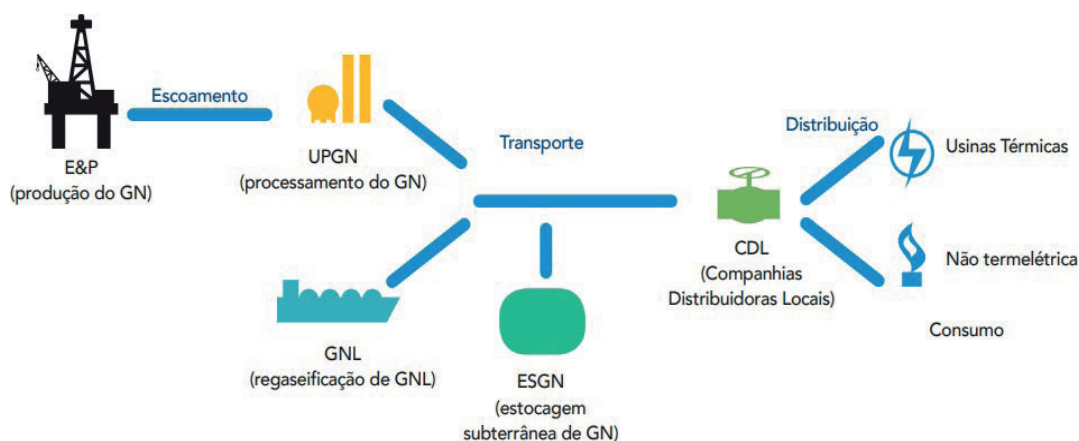
### Demanda atual do gás natural

Uma das principais vantagens da aplicação do GN é a sua versatilidade. A sua utilização o faz um competidor potencial quando comparado aos demais combustíveis alternativos (SANTOS et al., 2002). No Brasil e no mundo ocorre uma aceleração do aumento da demanda do GN, devido à preocupação ambiental, já que comparado a outros combustíveis fósseis, é considerado uma energia limpa (SANTOS et al., 2017). Na demanda atual, o gás natural enfrenta o carvão, a hidroeletricidade e o óleo combustível. Na geração de energia e na área de transporte, surge como forte concorrente à gasolina, diesel e outros. De forma indispensável ao desenvolvimento de tecnologias de produção e transporte deste gás, campos marginais vêm sendo desenvolvidos de forma segura e econômica para que esta demanda seja correspondida (BAIOCO et al., 2007; ROSA, 2010; SANTOS et al., 2002).

Desta forma, o consumo e a comercialização GN vêm crescendo continuamente nas últimas décadas, fortalecendo-se, assim, como fonte de energia. Para garantir a qualidade de todo o GN faz-se necessário normas e regulamentações. No Brasil as especificações físico-químicas do gás são regulamentadas pela resolução ANP n° 16/2008, atendendo a política energética nacional. Dentre as especificações controladas pela ANP estão: O poder calorífico superior (PCS), o índice de Wobbe e os teores mínimos e máximos de metano e etano. Além dessas características, também são feitos os controles de contaminantes inertes como Nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), gás carbônico e oxigênio ( $\text{O}_2$ ). Desta forma, para atender as especificações de transporte e comercialização faz-se necessário enquadrar o GN nas normas estabelecidas pela ANP.

Com as especificações adequadas, esse gás pode ser utilizado em diversas áreas, como indústrias química e petroquímica (plásticos, tintas e borracha). Além disso, este fluido apresenta boas características como combustível para automóveis, residências, comércios e usinas. A Figura 1 retrata a distribuição do mercado de GN no Brasil.

**Figura 1.** Elos da cadeia natural de gás natural (SALOMON, 2019).



Nos últimos anos, houve uma forte expansão no setor de GN no mundo. De acordo com a ANP (2020), os Estados Unidos e a China foram os países com maior aumento no consumo de GN, 26,7 bilhões de m<sup>3</sup> (equivalente a 3,2%) e 24,3 bilhões de m<sup>3</sup> (equivalente a 8,6%), respectivamente. Em contrapartida, a Rússia experimentou a maior queda, isto é, 10,2 bilhões de m<sup>3</sup> (equivalente a 2,2%). No *ranking* de maiores consumidores de GN, os Estados Unidos permaneceram na primeira posição, com 846,6 bilhões de m<sup>3</sup> (21,5% do total mundial), seguidos da Rússia, com 444,3 bilhões de m<sup>3</sup> (11,3% do total mundial) e da China, com 307,3 bilhões de m<sup>3</sup> (7,8% do total mundial).

Todavia, o seu desenvolvimento no Brasil ocorreu de forma lenta devido à escassez de recursos e dificuldades regulatórias. O setor energético do país começou a progredir a partir do gasoduto construído entre o Brasil e a Bolívia. O gasoduto Brasil-Bolívia foi financiado pela empresa Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), a qual assumiu o volume, como carregador, de 30 milhões de metros cúbicos por dia (MMm<sup>3</sup>/d), por meio do regime de *take-or-pay*, com pagamento de 80% do volume contratado. A importação de GN via Gasoduto Brasil e Bolívia (GASBOL) viabilizou o atendimento da demanda crescente e permitindo que a participação do gás natural na matriz energética brasileira passasse de 3% em 1999 para 13% em 2018 (MORAES, 2019).

De acordo com Delgado e Lamassa (2019), a ANP, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e o Ministério de Minas e Energia (MME) lançaram naquele ano uma iniciativa chamada de Novo Mercado de Gás, em que estipularam medidas que poderão triplicar o mercado de gás natural no país até 2030, tal previsão poderá atrair investimentos de até R\$ 50

bilhões para o setor. A necessidade de adotar combustíveis ambientalmente mais limpos para atender ao crescimento econômico futuro tem priorizado alternativas para diminuir o impacto dos custos crescentes de energia (AIMIKHE, 2013). Assim, o fato de que o GN emite 43% menos dióxido de carbono do que o carvão e 30% menos emissões do que o petróleo, torna-o o recurso energético de escolha global.

### **Reservas provadas e produção de gás natural**

Com o desenvolvimento de novas tecnologias aliadas à descoberta de novos poços, as reservas provadas de gás natural vêm crescendo com o passar dos anos. Em 2019, as reservas provadas mundiais de gás natural somaram 198,8 trilhões de m<sup>3</sup>, um crescimento de 0,9% em comparação com 2018 (ANP, 2020). A produção mundial de gás natural alcançou 4 trilhões de m<sup>3</sup>, após alta de 3,4% em relação a 2018. Segundo a ANP (2020) o Brasil ocupou a 31<sup>a</sup> colocação no *ranking* das maiores reservas provadas e produtores de gás natural do mundo em 2019. De acordo com a Tabela 1, as reservas provadas de gás natural no Brasil incluem campos em desenvolvimento até o ano de 2019. Estes dados consolidam 380 bilhões de m<sup>3</sup> de GN, representando um decaimento de 13% em relação a 2010. Porém, com um crescimento na produção de 2,6%, o país produziu 25,8 bilhões de m<sup>3</sup> (0,6% do total mundial) de gás natural (BP, 2020).

**Tabela 1.** Reservas Provadas e Produção de Gás Natural no Brasil (ANP, 2020).

| Período (ano)                         | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Reserva (bilhões de m <sup>3</sup> )  | 440,0 | 470,0 | 470,0 | 470,0 | 490,0 | 440,0 | 390,0 | 380,0 | 380,0 | 380,0 |
| Produção (bilhões de m <sup>3</sup> ) | 15,0  | 17,2  | 19,8  | 21,9  | 23,3  | 23,8  | 24,1  | 27,2  | 25,2  | 25,8  |

Com a descoberta de novos reservatórios e fontes não convencionais de gás natural, sugere-se que o mercado de gás natural se expanda 60% até o ano de 2035 (LEE et al., 2018). Segundo a ANP, nas últimas décadas o aumento na produção de gás natural em campos terrestres e marítimos no território brasileiro tem crescido na faixa de 67% (Tabela 1), fazendo com que seu consumo nas indústrias, meios de transporte e fontes de energia por termelétricas seja maior também.

### **Infraestrutura de transporte e distribuição**

No Brasil, existe uma dupla instância regulatória no segmento de transporte e distribuição de gás natural. A regulação da atividade de transporte de gás natural cabe à ANP. Já os governos estaduais são órgãos responsáveis pela atividade de distribuição deste gás (PRATES et al., 2006). O atendimento pleno às demandas desse importante mercado

do gás natural é garantido desde matérias-primas para indústrias e refinarias até a entrega, por meio de distribuidoras locais para termelétricas, indústrias, casas e postos.

As etapas de transporte e distribuição de gás natural caracterizam-se como uma “indústria de rede”, uma vez que possuem grandes custos de implantação, baixos custos de operação e manutenção e grandes ganhos de escala, na qual ofertas e demandas devem ser conectadas pela malha de gasodutos (EPE, 2013; PETROBRAS, 2020; PRATES et al., 2006). A construção de gasodutos de transporte no Brasil teve seu início na década de 70, porém o marco zero do desenvolvimento de uma malha de gasodutos de transporte foi à conclusão do Gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL) entre 1999 e 2000 e sua interligação em Guararema/SP com a malha Sudeste do Sistema Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) de gasodutos. Posteriormente, ocorreu a conclusão dos demais gasodutos brasileiros. Atualmente, a extensão total de gasodutos de transporte no Brasil é de 9.409 km (MME, 2020). Além do GN produzido no Brasil, este gás também é adquirido por meio de 3 gasodutos de transporte internacionais ou na forma de gás natural liquefeito (GNL) por meio de 4 terminais de regaseificação (EPE, 2021).

Segundo Britto (2002), Moura (2007) e Rosa (2010), na fase de transporte, as tecnologias de aproveitamento do gás natural são limitadas e caras, sendo as mais utilizadas o GNL e o gasoduto. Classificado como transformação do tipo físico, o transporte de GN por gasoduto (*pipelines*) é realizado através de sistemas de compressão, redução de pressão, medição, superfície e controle e armazenamento com a finalidade de distribuição desse gás. Para o escoamento do gás em dutos, o transporte por dutos utiliza uma pressão de 70 a 100 bar, com uma redução de volume de 60 a 90 vezes em relação ao volume inicial. Entretanto, o GNL transporta o GN no estado líquido por meio de navios, barcaças e caminhões criogênicos na forma de gás natural liquefeito a temperaturas inferiores a -160 °C, visando transferência e estocagem como líquido. Este processo de liquefação é bastante complexo e caro, pois requer uma quantidade de energia satisfatória para que possa ser concluído.

Existem na literatura (BRITTO, 2002; MOURA, 2007; ROSA, 2010) outras tecnologias classificadas como transformação física, destacam-se:

- Gás Natural Comprimido (GNC): transporte de GN no estado gasoso por meio de navios e caminhões em cilindros de alta pressão próxima ao fator de compressibilidade do gás;
- Hidrato de Gás Natural (HGN): transporte de GN no estado sólido, na qual as moléculas de água encapsulam pequenas moléculas de gás (hidrocarbonetos leves) formando uma estrutura cristalina, ou seja, o GN é aprisionado formando um composto cristalino sólido, em condições de baixa temperatura e alta pressão;
- Gas to Wire (GTW): utilização do GN como fonte de combustível para geração de

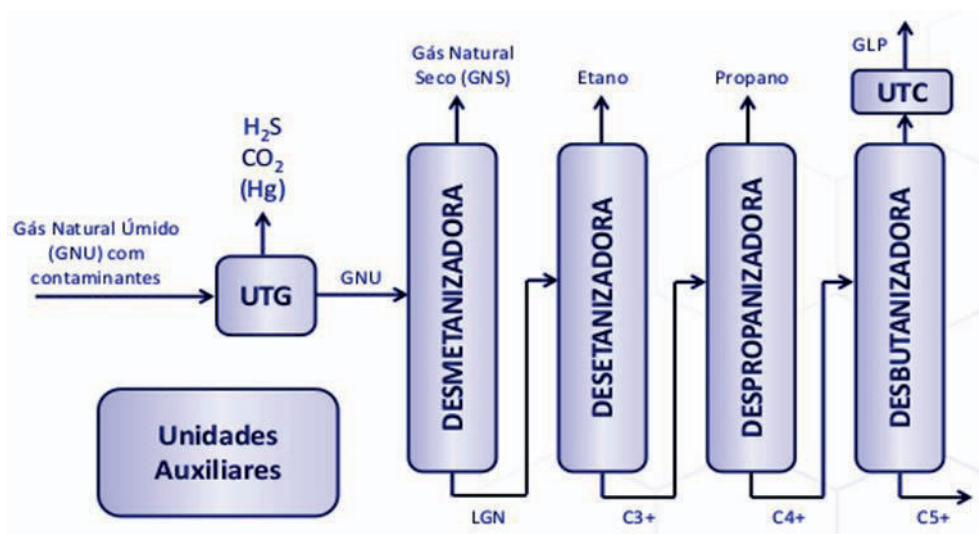
energia elétrica.

Além de transformações físicas, destaca-se ainda transformação química como o GTL (do inglês: *gas to liquid*), o qual consiste na conversão de GN em hidrocarbonetos líquidos estáveis como gasolina, lubrificante, diesel e etc. Essas tecnologias de aproveitamento, tanto de transformações físicas, como químicas necessitam de enormes reservas provadas de gás natural (BRITTO, 2002; MOURA, 2007; ROSA, 2010). Destaca-se ainda, em termos de infraestrutura do gás natural, a fase de armazenagem. Esta etapa engloba a escolha do local para armazenar o GN e a fase de distribuição. Momento em que o gás chega ao consumidor final para uso industrial, automotivo, comercial ou residencial (BRITTO, 2002). De acordo com Prates (2006), no Brasil a malha de distribuição é duas vezes mais extensa que a malha de transporte, ultrapassando 13 mil km.

## Processamento do gás natural

O gás natural, oriundo da unidade de processamento primário, é enviado a uma Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN), onde é promovida a separação das frações leves (metano e etano que constituem o chamado gás residual) das frações pesadas, que apresentam um maior valor comercial. O gás natural antes de ser processado é denominado de “gás úmido”, por conter líquido de gás natural (LGN), enquanto o gás residual é o “gás seco”, pois não possui hidrocarbonetos condensáveis (THOMAS, 2001). A Figura 2 mostra resumidamente como ocorre o processo.

**Figura 2.** Esquema simplificado do processamento do gás natural.



O objetivo do processamento é separar o gás natural, condensados/não condensáveis, gases ácidos e água e condicionar esses fluidos para venda ou alienação. As unidades de processamento ficam responsáveis por recuperar, na forma líquida, o GLP e a gasolina

natural e especificar o gás natural seco para os seus diversos usos (BRASIL; ARAÚJO; SOUSA, 2014; MOKHATAB; POE; SPEIGHT, 2006).

O condicionamento ou tratamento é o conjunto de processos (físicos e/ou químicos) o qual o gás natural deve ser submetido de modo a remover ou reduzir os teores de contaminantes (teores máximos de compostos de enxofre, de dióxido de carbono e de água, ponto de orvalho e poder calorífico). Plantas de processamento de gás natural são, usualmente, projetadas para remoção dos componentes indesejáveis, como o  $H_2S$  e  $CO_2$ , que são gases de caráter ácido, tornando-se corrosivos na presença de água líquida e que apresentam grandes riscos de segurança (BRASIL; ARAÚJO; SOUSA, 2014; TALAVERA, 2002; THOMAS, 2001).

O  $H_2S$  quando combinado com água forma ácido sulfúrico fraco, enquanto  $CO_2$  e água reagem formando ácido carbônico, daí o termo “gás ácido”. O mesmo ocorre a partir da mistura gás natural e  $H_2S$  (ou outro composto de enxofre) (MOKHATAB; POE; SPEIGHT, 2006). A remoção desses contaminantes é necessária para produzir o gás dentro das especificações do mercado (BRASIL; ARAÚJO; SOUSA, 2014; TALAVERA, 2002). As restrições de composição controladas por especificações de mercado limitam os teores de  $CO_2$  e o  $H_2S$  para 2% e 4 ppm (BAKER, 2002).

Segundo Coelho (2007) e Oxiteno (2006) no Brasil, a remoção de gases ácidos é realizada em operações através de refinarias e em plantas localizadas em campos produtores de gás natural, sendo mais presente nas refinarias, pois poucos campos brasileiros apresentam gases ácidos.

Assim, o processamento e tratamento de gás natural devem ser realizados antes de alcançar os gasodutos, por envolver principalmente os processos de separação do gás (SUN; WEN; BAI, 2015). No tratamento dos gases, primeiramente os gases ácidos devem ser removidos num processo que é conhecido como adoçamento ou dessulfurização. Posteriormente, água líquida ou em forma de vapor, deve ser removida por meio de um processo de desidratação. Estes processos são fundamentais para o tratamento do gás e sua comercialização (TALAVERA, 2002).

### **Adoçamento ou Dessulfurização**

Dentre as técnicas empregadas para a remoção de gases ácidos ( $CO_2$  e  $H_2S$ ) do gás natural, estão a absorção, separação por membranas e a adsorção (QU et al., 2020; SALEHI; SHARIFNIA; RAHIMPOUR, 2018). Para processos que envolvem apenas a remoção de  $CO_2$  do gás natural, a escolha deve considerar a quantidade de  $CO_2$  na entrada do processo e a eficiência da qualidade de remoção (COELHO, 2007; THOMAS, 2001).

A absorção é uma técnica bastante utilizada para separar algum contaminante de correntes gasosas, e ela se divide em dois tipos – absorção química e física. Absorção é uma tecnologia no que concerne à maturidade no contexto de pós combustão para a captura de  $\text{CO}_2$ . Os processos químicos reversíveis que utilizam soluções de aminas (monoetanolamina – MEA, dietanolamina – DEA, trietanolamina – TEA) são os mais usados (HANIF; DASGUPTA; NANOTI, 2015; SALEHI; SHARIFNIA; RAHIMPOUR, 2018). Para execução de tecnologias de primeira geração, processos de absorção de líquidos são utilizados inicialmente para um sistema de pós combustão. Devido à baixa pressão parcial de  $\text{CO}_2$  no gás de combustão (50 – 150 mbar), estes sistemas utilizam soluções à base de amina alcalina aquosa, seja a MEA ou DEA (LINNEEN; PFEFFER; LIN, 2014).

O processo de absorção química, que utiliza amina líquida como solvente, tem sido empregado por um longo tempo, a fim de eliminar o  $\text{CO}_2$  do gás natural. Porém nesse processo, a energia necessária para regenerar o solvente é consideravelmente alta (250 – 500 °C), levando a degradação do solvente e altos gastos com energia térmica (AREFI POUR et al., 2016; SALEHI; SHARIFNIA; RAHIMPOUR, 2018). Outra problemática desta técnica, é quando a mesma é aplicada em uma FPSO. Isso ocorre porque as torres de absorção e regeneração são sensíveis à oscilação das plataformas, o que diminui a eficiência da absorção (CHEN et al., 2017).

A absorção física é mais apropriada para remover o  $\text{CO}_2$  de gases mais leves (como o  $\text{N}_2$  e  $\text{H}_2$ ) e não apresenta em geral, boa seletividade para separar o  $\text{CO}_2$  dos hidrocarbonetos em condições típicas de altas pressões do processamento de gás natural de uma FPSO, o que resulta em altas perdas de hidrocarbonetos no fluido rico em  $\text{CO}_2$  (REIS et al., 2017).

O uso da adsorção gás-sólido seletiva de  $\text{CO}_2$  apresenta muitas vantagens sobre a absorção, como manipulação sem riscos ao ambiente e recuperação do material adsorvente (HANIF; DASGUPTA; NANOTI, 2015). Como os processos de absorção expõem algumas desvantagens, o processo de adsorção em solventes sólidos é um método de baixo custo e bastante promissor, aplicável para remoção de gases ácidos. Um grande número de adsorventes sólidos tais como a sílica (OLIVEIRA et al., 2019; ZOHDİ; ANBIA; SALEHI, 2019), *Metal organic frameworks* – MOFs (SANTOS et al., 2019; ULLAH et al., 2020), carvões ativados (GHALANDARI; HASHEMIPOUR; BAGHERI, 2020; ROCHA; ANDREASSEN; GRANDE, 2017) e as zeólitas (AREFI POUR et al., 2016; MOURA et al., 2016) têm sido investigados para captura desse gás.

Alguns trabalhos disponíveis na literatura sobre a captura de  $\text{CO}_2$  por adsorção, mostram que para desenvolver uma captura apropriada, o adsorvente deve satisfazer: elevada capacidade de adsorção de  $\text{CO}_2$ , baixo custo de matérias-primas, capacidade calorífica baixa, uma cinética rápida e elevada seletividade de  $\text{CO}_2$  (YU; HUANG; TAN, 2012). Na captura

de CO<sub>2</sub> por tecnologia de adsorção, a coluna empacotada é preenchida principalmente por esferas adsorventes. O CO<sub>2</sub> é atraído para o adsorvente e adere sobre a sua superfície. Depois de atingido o equilíbrio, a dessorção ocorre para obter CO<sub>2</sub> na forma pura e regenerada (MONDAL; BALSORA; VARSHNEY, 2012).

A técnica de separação por membrana é bastante competitiva em termos econômicos, pois considera o menor consumo de energia, menor espaço e implementação. Na separação por membranas, o CO<sub>2</sub> se concentra no permeado (lado de baixa pressão), enquanto hidrocarbonetos de peso molecular mais elevado que o metano CH<sub>4</sub> permanecem aprisionados (lado de alta pressão), e o CH<sub>4</sub> distribui-se entre o permeado e o aprisionado de acordo com a seletividade da membrana para CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (REIS et al., 2017). Membranas poliméricas hidrófilas mostram uma permeabilidade inferior aos gases no estado seco, mas quando ocorre a umidificação da água, a permeabilidade das membranas aumenta substancialmente (LI et al., 2015).

Li et al. (2015) verificaram que a água tem um papel fundamental no transporte rápido de CO<sub>2</sub> através da utilização de membranas. Por um lado, a água pode promover o inchamento de matrizes de polímero, aumentando significativamente a permeabilidade do CO<sub>2</sub>, devido ao aumento da flexibilidade das cadeias de polímero. Em contrapartida, a água pode atuar como corredor de transporte de CO<sub>2</sub> em membranas. Por conseguinte, o ambiente de contato entre a água e as membranas parece ser uma estratégia promissora para satisfazer com eficiência o desempenho de separação de CO<sub>2</sub> (LI et al., 2015).

Ainda, a separação por membranas é a única tecnologia comercializada para a separação de CO<sub>2</sub> a partir do GN bruto em plataformas *offshore*, devido a sua facilidade ao operar e pelo seu tamanho compacto. Contudo, uma grande limitação desta tecnologia é a elevada perda de GN para operações de fase única. Além disso, a plastificação da membrana, especialmente em condições de alta pressão, é um dos principais desafios que afeta o desempenho do processo (HAIRUL; SHARIFF; BUSTAM, 2017).

## **Desidratação do gás natural**

Após o processo de dessulfurização, é necessário desidratar o GN. A desidratação do GN, associado ou não-associado contém normalmente água no estado líquido e/ou na forma de vapor, na fonte ou como um resultado de edulcorantes com uma solução aquosa (BAHADORI; VUTHALURU, 2009; MOKHATAB; POE; SPEIGHT, 2006). O vapor de água é uma das impurezas mais comuns nas correntes de gás, porém o principal problema é a água no estado líquido ou sólido, que pode precipitar nas tubulações de transporte (AMBRÓSIO, 2014). Para prevenir tais problemas, as correntes de gás devem ser desidratadas. Portanto,

as propriedades-chaves nas unidades de desidratação estão relacionadas à quantidade de água no gás tratado e as condições de temperatura e pressão (COELHO, 2007).

Segundo Mokhatab, Poe e Speight (2006) as principais razões para a remoção da água do gás natural são: (i) o gás natural combinado com a água livre forma hidratos; (ii) a água pode se condensar na calha, causando golfadas e possível erosão e corrosão; (iii) o vapor de água aumenta o volume e diminui o valor de aquecimento do gás; (iv) a especificação de mercado do gás natural, permite um teor máximo de água ( $H_2O$ ) de 7 lb/MMscf.

Dentre os métodos utilizados para a desidratação do gás natural, estão a separação por membranas, criogenia, condensação, absorção e a adsorção (NETUSIL; DITL, 2011; SALEHI; SHARIFNIA; RAHIMPOUR, 2018). Todavia as técnicas utilizadas para desidratação de correntes gasosas pela indústria de petróleo são: absorção por líquidos secantes e a adsorção por sólidos dessecantes (FARAG et al., 2011). Geralmente, o processo de absorção é utilizado para remover grandes quantidades de água e o de adsorção é usado para sistemas criogênicos em baixos teores de umidade.

A absorção é empregada para separar algum contaminante de correntes gasosas, onde ocorre a remoção de vapor d'água do gás natural através de líquidos. Nesse método, os glicóis são os absorventes líquidos mais utilizados devido às suas características, tais como, alta capacidade de absorção de água, baixa pressão de vapor, fácil regeneração, pontos de ebulição elevados e baixa solubilidade em gás natural (BAHADORI; VUTHALURU, 2009; PETROBRAS, 2020). Eles são muito bons absorvedores de água porque os grupos hidroxila em glicóis formam associações similares com as moléculas de água (BAHADORI; VUTHALURU, 2009). Segundo Coelho (2007) o processo com glicóis consiste basicamente num absorvedor onde o glicol entra em contato com o gás úmido e um regenerador onde o glicol será separado da água absorvida.

Os glicóis mais usados são o dietilenoglicol (DEG), o trietilenoglicol (TEG) e o tetraetilenoglicol (TREG), dentre os quais, o TEG é o mais comum na desidratação do gás natural, uma vez que se mostra mais benéfico devido à credibilidade de operação, diminuição no custo operacional (GANDHIDASAN; AL-FARAYEDHI; MUBARAK, 2001; NETUSIL; DITL, 2011).

Normalmente é escolhido porque é mais facilmente regenerável, alcançando teores maiores que 98%, devido a seu maior ponto de ebulição e à sua maior temperatura de degradação térmica (BAHADORI; VUTHALURU, 2009; BRASIL; ARAÚJO; SOUSA, 2014; MOKHATAB; POE; SPEIGHT, 2006).

Para a absorção de água do GN com TEG, as temperaturas de regeneração variam de 191 °C a 204 °C, todavia, existem alguns problemas operacionais com esse processo. Soluções de glicol altamente concentradas tendem a ficar viscosas a baixas temperaturas e com isso dificultam o bombeamento, podendo causar diversos problemas ao equipamento

(RUETER; MURF; BEITLER, 1996). Líquidos em gás, como por exemplo, água e hidrocarbonetos leves, podem requerer a instalação de um separador eficiente à frente do adsorvente. Além disso, devido às grandes distâncias da costa e as condições de pressão e temperatura a qual são submetidos os gasodutos, para a exportação do GN produzido pela província Pré-Sal, a desidratação do GN via TEG seria insuficiente e permitiria a formação de hidratos.

Desta forma, visando o aumento da economia e eficiência, os processos de adsorção por sólidos dessecantes têm ocupado um papel importante na pesquisa e desenvolvimento dos processos de desidratação (CHEN et al., 2016; GANDHIDASAN; AL-FARAYEDHI; MUBARAK, 2001; HAO et al., 2018; PULLUMBI; BRANDANI; BRANDANI, 2019). O processo de adsorção consiste em um fenômeno de superfície, que ocorre por aderência de moléculas de um fluido sobre a superfície de um sólido, fazendo com que as mesmas fiquem acomodadas nos poros do adsorvente (AREFI POUR et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2019; WANG et al., 2015). O processo de adsorção é normalmente realizado em uma torre com adsorvente adequado no formato de pellets sob condições de estado instável por meio de processos de adsorção cíclica de oscilação e de pressão-temperatura (PTSA).

Na desidratação por adsorção, o adsorvente é usado para a remoção de vapor de água de uma corrente de gás, onde interações (químicas ou físicas) são geradas, fazendo com que as moléculas do adsorvato se unam à superfície do adsorvente. Dentre os adsorventes existentes na literatura para remoção de água, destacam-se peneiras moleculares 3A (FARAG et al., 2011), peneiras moleculares (SALEHI; SHARIFNIA; RAHIMPOUR, 2018), MOF's (FURUKAWA et al., 2014; RUSSELL; MIGONE, 2017) e sílicas (HANIF; DASGUPTA; NANOTI, 2015; LAKHI et al., 2016; MOTA et al., 2017). Atualmente, o cenário brasileiro ainda apresenta muitas dificuldades na produção e exportação do óleo, devido aos volumes de GN movimentados na produção de petróleo. Deste modo, o grande desafio da indústria de petróleo hoje é a necessidade de um adsorvente ou glicol adequado para otimizar os processos de adsorção.

## CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS

O gás natural é considerado um recurso energético de escolha global em crescimento, comparado a outras matrizes, tais como carvão e óleo. Considerando o aumento da produção e consumo do gás natural, esse trabalho apresentou características da cadeia produtiva, demanda e infraestrutura e os processos de tratamento do gás natural. O levantamento de dados bibliográficos indicou que os processos de tratamento mais usuais empregados são adoçamento e desidratação.

No adoçamento do GN, etapa que consiste em remover os gases ácidos (principalmente o CO<sub>2</sub>), foram abordadas técnicas, como separação por membranas, absorção com aminas

líquidas e adsorção em sólidos. Na desidratação do GN, onde ocorre a remoção de água do gás, foram apresentadas as técnicas de absorção com glicóis e adsorção com sólidos dessecantes, as quais apresentam resultados promissores.

A relação entre produção e demanda estimula o ambiente inovador entre a academia e indústria. O aprimoramento de técnicas existentes, bem como a diversificação desses processos induzem ao crescimento econômico, regado de acordo com a perspectiva industrial visando otimizar sua produção.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Núcleo de Estudos em Sistemas Coloidais e à Universidade Tiradentes.

## ■ REFERÊNCIAS

1. AIMIKHE, V. J. et al. Global trend in natural gas development and the impact on the Nigerian gas market. In: SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 2013.
2. AMBRÓSIO, A. A. P. G. O. Análise De Desempenho De Desidratação De Gás Natural Por Adsorção Em Peneiras Moleculares. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro–RJ.
3. ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Rio de Janeiro, 2020.
4. AREFI POUR, A.; SHARIFNIA, S.; SALENI, R. N.; GHODRATI, M. Adsorption separation of CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> on the synthesized NaA zeolite shaped with montmorillonite clay in natural gas purification process. Journal of Natural Gas Science and Engineering, v. 36, p. 630-643, 2016.
5. BAHADORI, A.; VUTHALURU, H. B. Simple methodology for sizing of absorbers for TEG (triethyleneglycol) gas dehydration systems. Energy, 34, p. 1910 – 1916, 2009.
6. BAIOCO, J. S.; SANTARÉM, C. A.; BONÉ, R. B.; FILHO, V. J. M. F.; Custos e benefícios econômicos de tecnologias de transporte de gás natural no Brasil, 4º PDPETRO, Campinas, SP; 21– 24 de Outubro de 2007.
7. BAKER, R. W. Future directions of membrane gas-separation technology, Ind. Eng. Chem. Res., 41, p. 1393 – 1411, 2002.
8. BP. BP Statistical Review of World Energy International Headquarters. Disponível em: <<http://www.bp.com>>. London, United Kingdom, 2020.
9. BRASIL, N. I.; ARAÚJO, M. A. S.; SOUSA, E. C. M. Processamento de petróleo e gás, 2ª ed., Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Editora LTC, 2014.

10. BRITTO, M. P. T. Desenvolvimento da Indústria de Gás Natural no Brasil: Estratégia Empresarial e seus Desafios. 2002. Dissertação (Mestrado) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
11. CHEN, S. J.; FU, Y.; HUANG, Y. X.; TAO, Z. C.; ZHU, M. Experimental investigation of CO<sub>2</sub> separation by adsorption methods in natural gas purification. *Applied Energy*, 179, p. 329–337, 2016.
12. CHEN, C.; ZHANG, S.; ROW, K. H.; AHH, W-S. Amine-silica composites for CO<sub>2</sub> capture: A short review. *Journal of Energy Chemistry*, v. 26, p. 868-880, 2017.
13. COELHO, A. M. Simulação e Otimização dos processos de adoçamento e desidratação de gás natural e de refinaria. 2007. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Química/UNICAMP, Campinas, SP, Brasil.
14. DELGADO, F.; LAMASSA, D. Vaca Muerta, Bolívia E Pré-Sal: Como Organizar Todo Esse Gás. *Fundação Getulio Vargas Energia*, p. 36 – 41. 2019. Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/publicacao/o-novo-mercado-de-gas-natural-opinioes-de-especialistas-perspectivas-e-desafios-para-o>>. Acesso em: 02 mar. 2021.
15. EPE – Empresa de Pesquisa Energética – Plano decenal de expansão da malha de transporte dutoviário (PEMAT) 2013-2022. Disponível em <[www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)> acessado em 01 de fevereiro de 2021.
16. FARAG, H. A. A.; EZZAT, M. M.; AMER, H.; NASHED, A. W. Natural gas dehydration by desiccant materials. *Alexandria Engineering Journal*, v. 50, p. 431-439, 2011.
17. FURUKAWA, H.; GANDARA, F.; ZHANG, Y. B.; JIANG, J.; QUEEN, W. L.; HUDSON, M. R.; YAGHI, O. M. Water Adsorption in Porous Metal–Organic Frameworks and Related Materials. *Journal American Chemical Society*, 136, p. 4369 – 4381, 2014.
18. GHALANDARI, V.; HASHEMIPOUR, H.; BAGHERI, H. Experimental and modeling investigation of adsorption equilibrium of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub> on activated carbon and prediction of multi-component adsorption equilibrium. *Fluid Phase Equilibria*, v. 508, p. 112433, 2020.
19. GANDHIDASAN, P.; AL-FARAYEDHI, A. A.; MUBARAK, A. A. Dehydration of natural gas using solid desiccants. *Energy*, 26, p. 855 – 868, 2001.
20. GRANDE, C. A.; ROCHA, L. A. M.; ANDREASSEN, K. A. Separation of CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> using carbon molecular sieve (CMS) at low and high pressure. *Chemical Engineering Science*, v. 164, p. 148-157, 2017.
21. HAIRUL, N. A. H.; SHARIFF, A. M.; BUSTAM, M. A. Process behavior in a packed absorption column for high pressure CO<sub>2</sub> absorption from natural gas using PZ + AMP blended solution. *Fuel Processing Technology*, v. 157, p. 20-28, 2017.
22. HANIF, A.; DASGUPTA, S.; NANOTI, A. High temperature CO<sub>2</sub> adsorption by mesoporous silica supported magnesium aluminum mixed oxide. *Chemical Engineering Journal*, p. 703 – 710, 2015.
23. HAO, P.; SHI, Y.; LI, S.; ZHU, X.; CAI, N. Correlations between adsorbent characteristics and the performance of pressure swing adsorption separation process. *Fuel*, 230, p. 9 – 17, 2018.

24. LAKHI, K. S.; CHA, W. S.; CHOY, J. H.; EJJI, M. A.; ABDULLAH, A. M.; ENIZI, A. M. A.; VINU, A. Synthesis of mesoporous carbons with controlled morphology and pore diameters from SBA-15 prepared through the microwave-assisted process and their CO<sub>2</sub> adsorption capacity. *Microporous and Mesoporous Materials*, 233, p. 44 – 52, 2016.
25. LEE, S. P.; MELLON, N.; SHARIFF, A. M.; LEVEQUE, J. M. High-pressure CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> selective adsorption on covalent organic polymer. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 50, p. 139 – 146, 2018.
26. LI, X.; JIANG, Z.; WU, Y.; ZHANG, H.; CHENG, Y.; GUO, R.; WU, H. Highperformance composite membranes incorporated with carboxylic acid nanogels for CO<sub>2</sub> separation. *Journal of Membrane Science*, 495, p. 72 – 80, 2015.
27. LINNEEN, N. N.; PFEFFER, R.; LIN, Y. S. CO<sub>2</sub> adsorption performance for amine grafted particulate silica aerogels. *Chemical Engineering Journal*, p. 190 – 197, 2014.
28. MARTINS, R. V., DA SILVA, E. C., JUNGER, A. P., GUERRA, S. M. G., & DE SOUZA, J. F. Cenário Energético Do Petróleo E Gás Natural No Brasil E No Mundo. *Revista de Casos e Consultoria*, v. 8, n. 2, p. 01-14, 2017.
29. MELO, C. L.; THEDY, E. A.; ROCHA, P. S.; DE ALMEIDA, A. S.; MUSSE, A. P. The challenges on the CCGS monitoring in the development of Santos Basin Pre-salt Cluster. *Energy Procedia*, v. 4, p. 3394 – 3398, 2011.
30. MOKHATAB, S.; POE, W. A.; SPEIGHT, J. G. *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*, USA, 2006.
31. MONDAL, M. K.; BALSORA, H. K.; VARSHNEY, P. Progress and trends in CO<sub>2</sub> capture/separation technologies: A review. *Energy*, 46, p. 431 – 441, 2012.
32. MORAES, Fernanda. Brasil, Bolívia E Argentina: Gás Natural, Mercados E Acessos. 2019. Disponível em: <[https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/27830/A26%20coluna\\_opinioao\\_abril\\_-\\_brasil\\_bolivia\\_e\\_argentina.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/27830/A26%20coluna_opinioao_abril_-_brasil_bolivia_e_argentina.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 02 jan. 2021.
33. MME [Ministério de Minas e Energia]. Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural, Dezembro, 2020. Disponível em: <<http://antigo.mme.gov.br/documents/36216/1119340/12+-+Boletim+Mensal+de+Acompanhamento+da+Ind%C3%BAstria+de+G%C3%A1s+Natural+-+Dezembro+2020.pdf/bdecf34d-c0c5-434d-c293-4b71be67b8a5>>. Acesso em mar/2021.
34. MOTA, T. L. R.; OLIVEIRA, A. P. M.; NUNES, E. H. M.; HOUMARD, M. Simple process for preparing mesoporous sol-gel silica adsorbents with high water adsorption capacities. *Microporous and Mesoporous Materials*, 253, p. 177 – 182, 2017.
35. MOURA, N. R. Apresentação: Desafios tecnológicos para o gás natural, Petrobras, Novembro de 2007.
36. MOURA, P. A. S.; BEZERRA, D. P.; VILARRASA-GARCÍA, E.; BASTOS-NETO, M.; AZEVEDO, D. C. S. Adsorption equilibria of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in cation-exchanged zeolites 13X. *Adsorption*, v. 22, p. 71-80, 2016.
37. NETUSIL, M.; DITL, P. Comparison of three methods for natural gas dehydration. *Journal of Natural Gas Chemistry*, 20, p. 471 – 476, 2011.

38. OLIVEIRA, R. J.; OLIVEIRA, M. R.; DE CONTO, J. F.; BORGES, G. R.; DARIVA, C.; EGUES, S. M.; FRANCESCHI, E. CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> adsorption at high-pressure using silica-APTES aerogel as adsorbent and near infrared as a monitoring technique. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 32, p. 232 – 240, 2019.
39. OXITENO, Ind. e Comércio, Relatório Interno, 2006. PETROBRAS – Site da empresa - Disponível em <<http://www.petrobras.com.br>> - Acessado em 08 de setembro de 2015.
40. PEDROSA JR, O. A.; CORRÊA, A. C. F. A Crise Do Petróleo E Os Desafios Do Pré-Sal. *Boletim de Conjuntura*, n. 2, p. 4-14, 2016.
41. PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A.. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br>>. Rio de Janeiro, 2020.
42. PRATES, C. P. T.; PIEROBON, E. C.; COSTA, R. C.; FIGUEIREDO, V. S. Evolução da oferta e da demanda de gás natural no Brasil <<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>> Informe setorial, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.
43. PULLUMBI, P.; BRANDANI, F.; BRANDANI, S. Gas separation by adsorption: technological drivers and opportunities for improvement. *Chemical Engineering*, 24, p. 131 – 142, 2019.
44. QU, D.; YANG, Y.; QIAN, Z.; LI, P.; YU, J.; RIBEIRO, A. M.; RODRIGUES, A. E. Enrichment of low-grade methane gas from nitrogen mixture by VPSA with CO<sub>2</sub> displacement process: Modeling and experiment. *Chemical Engineering Journal*, v. 380, p. 1-14, 2020.
45. REIS, A. C.; MEDEIROS, J. L.; NUNES, G. C.; ARAÚJO, O. Q. F. Upgrading of natural gas ultra- rich in carbon dioxide: Optimal arrangement of membrane skids and polishing with chemical absorption. *Journal of Cleaner Production*, v. 165, p. 1013-1024, 2017.
46. RIGOLIN, P. H. C. Avaliação global dos modos energéticos de transporte do gás natural inclusive como energia secundária, Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2007.
47. ROCHA, L. A. M.; ANDREASSEN, K. A.; GRANDE, C. Separation of CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> using Carbon Molecular Sieve (CMS) at low and high pressure. *Chemical Engineering Science*, v. 164, p. 148-157, 2017.
48. ROSA, L. C. Estudo de viabilidade econômica das formas de aproveitamento do gás natural. 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola de Química/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
49. RUETER, C. O.; MURF, M. C.; BEITLER, C.M. Glycol dehydration operations, environmental regulations, and waste stream survey. Radian International LLC, 1996.
50. RUSSELL, B. A.; MIGONE, A. D. Low temperature adsorption study of CO<sub>2</sub> in ZIF-8. *Microporous and Mesoporous Materials*, 246, p. 178 – 185, 2017.
51. SALEHI, R. N.; SHARIFNIA, S.; RAHIMPOUR, F. Natural gas upgrading by selective separation on zeotype adsorbents, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 54, p. 37 – 46, 2018.
52. SALOMON, A. Chances e Ameaças Ao ‘Novo Mercado De Gás’. p. 17 – 19, 2019. Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/publicacao/o-novo-mercado-de-gas-natural-opinioes-de-especialistas-perspectivas-e-desafios-para-o>>. Acesso em: 01 jan. 2021.

53. SALVINDER, K. M. S.; ZABIRI, H.; ISA, F.; TAQVI, S. A.; ROSLAN, M. A. H.; SHARIFF, A. M. Dynamic modelling, simulation and basic control of CO<sub>2</sub> absorption based on high pressure pilot plant for natural gas treatment. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, v. 70, p. 164-177, 2018.
54. SANTOS, E. M.; ZAMALLOA, G. C.; VILLANUEVA, L. D.; FAGÁ, M. T. W. Gás natural: estratégias para uma energia nova no Brasil, 1<sup>a</sup> ed., São Paulo, SP, Brasil, Editora Annablume, 2002.
55. SANTOS, K. M. C.; SANTOS R.J.O.; ALVES, M. M. A.; DE CONTO, J. F.; BORGES, G. R.; DARIVA, C.; EGUES, S. M.; SANTANA, C. C.; FRANCESCHI, E. Effect of high pressure CO<sub>2</sub> sorption on the stability of metalorganic framework MOF-177 at different temperatures. *J. Solid State Chem.*, v. 269, p. 320 – 327, 2019.
56. SANTOS, M. G. R. S.; CORREIA, L. M. S.; MEDEIROS, J. L.; ARAÚJO, O; Q; F. Natural gas dehydration by molecular sieve in offshore plants: Impact of increasing carbon dioxide content. *Energy Conversion and Management*, v. 149, p. 760 – 773, 2017.
57. SUN, C.; WEN, B.; BAI, B. Application of nanoporous graphene membranes in natural gas processing: Molecular simulations of CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>S and CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> separation. *Chemical Engineering Science*, 138, p. 616 – 621, 2015.
58. TALAVERA, R. M. R. Caracterização de sistemas, simulação e otimização de etapas da planta de processamento de gás natural, Tese de Doutorado, Engenharia Química/UNICAMP, São Paulo, SP, 2002.
59. THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Editora Interciência, 2001.
60. ULLAH, S.; BUSTAM, M. A.; ASSIRI, M. A.; AL-SEHEMI, A. G.; GONFA, G; MUKHTAR, A; KAREEM, F. A. A.; AYOUB, M.; SAQIB, S.; MELLON, N. B. Synthesis, and characterization of mesoporous MOF UMCM-1 for CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> adsorption; an experimental, isotherm modeling and thermodynamic study. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 294, p. 109844, 2020.
61. WANG, J.; ZHANG, Y.; WEI, Y.; ZHANG, X. Fast and one-pot synthesis of silica aerogels via a quasi-solvent-exchange-free ambient pressure drying process, *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 218, p. 192-198, 2015.
62. YU, C-H.; HUANG, C-H.; TAN, C-S. A review of CO<sub>2</sub> capture by absorption and adsorption. *Aerosol and Air Quality Research*, 12, p. 745 – 769, 2012.
63. ZOHDİ, S. ANBIA, M. SALEHI, S. Improved CO<sub>2</sub> adsorption capacity and CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> selectivity in novel hollow silica particles by modification with multi-walled carbon nanotubes containing amine groups. *Polyhedron*, v. 166, p. 175-185, 2019.

“

# Potencialidade energética da madeira de três espécies de eucalipto

- I Ricardo Marques **Barreiros**  
UNESP
- I Gustavo Paes **Ribeiro**  
UNESP
- I Kelly Bossardi **Dias**  
UNESP
- I Cantídio Fernando **Gouvêa**  
UFS
- I Alessandra Maria Ferreira **Reis**  
UFS
- I Gilmar Correia **Silva**  
UESB

# RESUMO

O gênero *Eucalyptus* se destaca no Brasil por ser amplamente utilizado em reflorestamentos. O significativo plantio comercial de *Eucalyptus sp* decorre do fato de que algumas espécies possuem características singulares que as tornam diferentes das demais, tais como: grande adaptação e plasticidade para plantios homogêneos ou consorciados em sítios com diferentes condições edafoclimáticas, excelente forma, ciclo precoce, bom nível tecnológico, rápido crescimento e ótimo incremento volumétrico, que conferem às espécies várias utilizações em diversos setores industriais, inclusive o energético. O objetivo desse estudo foi analisar três clones de eucalipto, através da densidade básica, composição química e poder calorífico da madeira, quanto à aptidão para fins energéticos. Foram abatidas trinta árvores de eucalipto dos municípios de Nova Campina e Itapeva, estado de São Paulo, Brasil, sendo dez árvores de *Eucalyptus saligna*, e dez de cada um dos híbridos *E. urograndis* e *E. urocam*. O material utilizado foi proveniente de um plantio comercial com idade média de 7 anos, em espaçamento 3 x 2 metros e de regiões com condições edafoclimáticas semelhantes. Das árvores, foram seccionados discos com 4 cm de espessura, localizados a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial para análises da densidade básica (ABTCP M 14/70, 1974); composição química: extrativos totais (norma TAPPI T 264 cm-97, 1999), lignina klason (norma TAPPI T 222 om-62, 1983), lignina solúvel (GOLDSCHIMID, 1971), holocelulose (Equação 4); cinzas (norma TAPPI T 211 OM-85, 1992) e poder calorífico (norma ABNT NBR 8633, 1984). Os híbridos *E. urocam* e *E. urograndis* apresentaram maior potencial para fins energéticos pelo de fato de possuírem maiores valores de densidade básica e teor de extrativos totais.

**Palavras-chave:** Qualidade da Madeira, Eucalyptus, Energia, Química da Madeira, Densidade Básica.

## INTRODUÇÃO

No cenário mundial, o Brasil se estaca como sendo um dos maiores produtores de madeira e apresenta grande concentração dos plantios de espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (Figura 1). E para atender os setores de energia, painéis, uso estrutural e moveleiro, a madeira de eucalipto representa a maior porção dos plantios. O destaque deste gênero está na vantagem de seu rápido crescimento, grande adaptação em sítios com diferentes condições edafoclimáticas, excelente forma, ciclos culturais precoces, bom nível tecnológico para a silvicultura e ótimos incrementos volumétricos, o que possibilita a utilização da madeira para diversas finalidades (IBÁ, 2017).

**Figura 1.** Áreas de árvores plantadas no Brasil por estado e gênero. Fonte: IBÁ (2017).



Dada a alta adaptabilidade do eucalipto, ela possui várias espécies em diversas regiões do Brasil. O *Eucalyptus grandis* e o *E. urophylla* têm sido importantes espécies no processo de hibridação, de tal forma que produzem híbridos excelentes, como por exemplo o *E. urograndis*, o qual em muitas regiões do país possui alta produtividade. Igualmente se destacam o *E. urophylla* e o *E. camaldulensis*, que produzem o híbrido *E. urocam* notado muito devido as suas propriedades para fins energéticos, e o *E. saligna* se frisa como uma das espécies no centro sul do país com maior quantidade de cultivos (FONSECA et al., 2010).

Na queima direta como lenha, observa-se ser mais favorável a utilização de madeiras com maior poder calorífico, ou seja, com o seu rendimento energético, que está diretamente associado com a caracterização química (teores de celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e cinzas, que se diferenciam de espécie para espécie (QUIRINO et al., 2005).

A densidade básica da madeira é outro fator de grande importância para a qualidade da madeira para fins energéticos, de modo que a produção da massa seca está diretamente

relacionada a esta característica, pois a massa seca é a concentração dos compostos orgânicos e inorgânicos da madeira, sendo os compostos orgânicos o diferencial para um maior potencial energético (PALERMO et al., 2004).

Os trabalhos de pesquisa relativos à busca de fatores físicos e químicos da madeira, que possam influenciar na combustão e por consequência no potencial energético, particularmente, relacionando, densidade e a caracterização química, destacam a madeira por seu custo-benefício e se identificar como um material sustentável.

Segundo Mourão et al. (2002), em estudos da caracterização de madeiras do cerrado, foi possível observar que o uso de madeiras com baixa densidade para a produção direta de energia na forma de calor, implica em uma queima rápida e numa menor produção de energia por unidade de volume, ao contrário de madeiras com maiores densidades. Porém, densidades muito elevadas implicam em dificuldades no processo de queima inicial do material. Para a queima direta na cocção de alimentos sugere-se a faixa intermediária entre madeiras médias e madeiras duras, variando a sua densidade básica entre 0,650 e 0,800 g/cm<sup>3</sup>, esperando com isso, facilitar o início da queima.

Quando relacionada à queima, quanto maior for a densidade do combustível madeira maior será a sua liberação energética. Assim, durante a sua combustão, a maior quantidade de energia está associada à sua unidade volumétrica (PINTO, 2015).

Segundo Protásio e outros (2015), em seus estudos com *pellets* de pinus, as densidades obtidas foram entre 0,484 e 0,639 g/cm<sup>3</sup>, condizente quando transformando materiais com baixa densidade energética em combustíveis densos com elevada quantidade de energia em um menor volume, contribui para a eficiência do transporte e do uso desses materiais residuais como fonte de energia calorífica.

Com relação ao poder calorífico superior (PCS), em estudos realizados em *pellets* de Pinus, observou-se uma variação de 4.732,3 a 4.899,6 kcal/kg, concluindo que o aumento do poder calorífico dos *pellets* afetou positivamente na geração de energia (SPANHOL et al., 2015).

A composição química da madeira é complexa e os tecidos das madeiras são constituídos de muitos componentes químicos que estão distribuídos de forma não uniforme, com resultado da estrutura anatômica. A substância madeira possui grande parte de sua composição de materiais de alto peso molecular, e tem sido considerada como sendo um sistema interpenetrado de polímeros. Cada componente está presente em quantidades específicas e possui características bem definidas, que podem ser influenciadas pelas condições sob as quais a madeira está submetida.

A celulose é o principal componente da parede celular dos vegetais, e o mais abundante composto orgânico da natureza. Nos vegetais superiores aparece, principalmente, sob a

forma de fibras, ao lado de outros componentes fundamentais e complementares. Por sua vez, as hemiceluloses em conjunto com a celulose formam a fração da madeira denominada holocelulose. São os principais polissacarídeos celulósicos da madeira, estando sempre associados à lignina e à celulose (TRUGILHO et al., 1996).

Segundo Brito e Barrichello et al. (1977), com base em seus estudos em correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão, as correlações mais significativas no teor de lignina na madeira, com rendimento energético e com teor de carbono fixo implicam de forma negativa para os teores de voláteis e com teores de cinzas. Um rendimento mais elevado para as amostras com maiores teores de lignina se explica pelo fato deste componente fundamental da madeira ser mais resistente à decomposição térmica quando comparado à celulose e hemiceluloses, devido a sua estrutura complexa.

Foi encontrada uma correlação positiva e significativa entre o teor de lignina, extrativos e rendimento em potencial energético, sugerindo que o aumento da densidade básica, quando associado ao aumento do teor de lignina também incrementa no teor de celulose, implicando em um maior fator no rendimento energético (SANTOS, (2008).

Com base nos estudos de Jesus et al. (2017), o teor de cinzas para o gênero *Eucalyptus* aos seis anos de idade são entre 1,34 e 2,82%, e para uso siderúrgico é indicado teores de cinzas no carvão inferior a 1%, para evitar contaminação e redução do seu poder calorífico, uma vez que causa desgaste no alto-forno e pode comprometer a qualidade do ferro-gusa com consequentes formações de fissuras.

O teor de lignina com estrutura química menos resistentes à degradação e solubilização, como é característico das madeiras de folhosas, denominada lignina Klason solúvel, foi estudado por Gomide et al. (2005) em suas pesquisas para caracterização tecnológica da nova geração de clones de eucalipto, encontrando teores de lignina solúvel que variaram de 3,10 a 5,10%.

Segundo Balloni et al. (2009), o teor de lignina insolúvel, obtido em seus estudos com pinus, estava dentro dos parâmetros para as coníferas, com uma média de 28% para o material analisado, considerando que as madeiras em geral contêm cerca de 15 a 30% de lignina.

De acordo com Castro et al. (2013), a lignina é um componente desejável na conversão da madeira em carvão, e seu teor e tipo são parâmetros importantes porque, em geral, espera-se que a conversão de madeira em carvão vegetal aumente com o aumento da proporção de lignina total e a diminuição da relação siringil/guaiacil, uma vez que isso promoveria maior resistência à degradação térmica, pela presença de estruturas mais condensadas.

Em estudos de De Paula (2005) com *Eucalyptus* sp., a lignina solúvel apresenta pouca biomassa para sustentar uma combustão duradoura. Ao contrário, madeiras ricas em fibras

de fração parede alta, ou seja, de parede espessa, são de boa qualidade para geração de energia (etanol, coque metalúrgico, carvão e lenha).

Segundo Vale et. al, (2010), em estudos de espécies do cerrado para carvão vegetal, o alto valor do teor de extrativos tem relação negativa, se está relacionada ao processo de carbonização, pois carboidratos que compõem a holocelulose são rapidamente decompostos, fazendo com que madeiras com elevados teores de holocelulose não apresentem bons rendimentos em carvão vegetal.

De um modo geral, os componentes orgânicos da madeira, que contribuem para as propriedades da madeira como a cor, o odor, o gosto, a resistência à deterioração, a densidade, a higroscopicidade e a inflamabilidade são os extrativos totais. São compostos taninos, óleos, gorduras, ceras e outros, que contribuem para a queima e geração de energia (Garcia, 2010).

Se tratando de espécies de rápido crescimento, madeiras com composição química de valores calóricos e densidade básica razoáveis para queima, podem favorecer com a demanda de energia de maneira sustentável para o setor industrial, porém é preciso a divulgação de novas pesquisas sobre as madeiras dessas florestas, as quais podem possuir potenciais para o setor energético.

## OBJETIVO

Analisar três clones do gênero *Eucalyptus* quanto à aptidão energética, através da densidade básica, composição química e poder calorífico da madeira.

## MÉTODOS

### Preparo do Material

A amostragem foi de trinta árvores de eucalipto, sendo dez delas de *Eucalyptus saligna* e dez de cada um dos híbridos *E. urograndis* e *E. urocam*. O material utilizado foi proveniente de clones plantados comercialmente por empresa do segmento florestal, no sistema de espaçamento 3 x 2 m, com idade média de 7 anos e nas mesmas condições edafoclimáticas da região, que compreende os municípios de Nova Campina e Itapeva no estado de São Paulo, Brasil. As árvores foram abatidas e das mesmas foram retirados discos com 4 cm de espessura a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, os quais foram descascados, medidos os diâmetros e cortados ao meio, sendo uma das metades destinada para a determinação da densidade básica e outra metade para a determinação da composição química e poder calorífico.

## Metodologia

Para a determinação da densidade básica, as amostras foram identificadas segundo sua espécie e altura comercial e imergidas em um recipiente com água até que atingissem a saturação completa. Em seguida, a densidade básica foi obtida em cada uma das alturas ao longo do fuste, através do método da balança hidrostática, segundo norma ABTCP M 14/70 (1974). Posteriormente, a densidade básica média da árvore foi calculada por meio da Equação 1.

$$Db = \frac{(D_0^2 + D_{25}^2)(Db_0 + Db_{25}) + \dots + (D_{75}^2 + D_{100}^2)(Db_{75} + Db_{100})}{Db_0^2 + Db_{100}^2 + 2(Db_{25}^2 + \dots + Db_{75}^2)} \quad (1)$$

$Db$  = Densidade básica da árvore ( $\text{g/cm}^3$ );

$Dh$  = Diâmetro dos discos sem casca, a uma altura  $h$  (0, 25, 50, 75 e 100%) da altura comercial da árvore (cm);

$Dbh$  = Densidade básica dos discos, a uma altura  $h$  (0, 25, 50, 75 e 100%) da altura comercial da árvore ( $\text{g/cm}^3$ );

$h$  = Alturas a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial da árvore.

Em seguida, para determinação da composição química da madeira, foram escolhidos de forma aleatória três árvores de cada espécie estudada. Deste modo, a partir de cada outra metade do disco, o material foi picado em forma de cavacos, que posteriormente foram agrupados em uma única amostra composta de cada árvore, e então moídas em moinho tipo *Willey* para redução dela em serragem. Esta foi classificada em peneiras para a obtenção da fração entre 40/60 *mesh*.

Conforme a norma TAPPI T264 cm-97 (1999) e através da Equação 2, determinou-se o teor de umidade das amostras para sucessão das demais análises. As análises foram feitas em triplicatas.

$$TU = \frac{m_u - m_s}{m_s} * 100 \quad (2)$$

Em que:

$TU$  = teor de umidade, em porcentagem;

$mu$  = massa úmida, em gramas;

$ms$  = massa seca, em gramas.

Para todos os ensaios químicos, utilizou-se de material equivalente à massa absolutamente seca. Logo, utilizou-se do teor de umidade de cada amostra calculado na Equação 2, para obtenção exata da massa segundo os parâmetros estipulados por norma.

## Extrativos Totais

A determinação do teor de extrativos totais da madeira foi desenvolvida conforme a norma TAPPI T 264 cm-97 (1999) com a sequência em etanol 96° GL, etanol e tolueno (1:2) e água quente. As análises foram feitas em triplicatas.

## Lignina Klason (Insolúvel)

O ensaio foi iniciado utilizando 3 g de serragem a. s, proveniente do ensaio de extrativos totais. A Lignina Insolúvel ou Lignina Klason é a fração de lignina que não é solúvel numa solução de ácido sulfúrico 72%, e foi determinada conforme a norma TAPPI T 222 om-62 (1983). As análises foram feitas em triplicatas.

## Lignina Solúvel

O filtrado de cada amostra resultante do ensaio da lignina Klason (insolúvel) foi completado para uma quantidade de 250 ml com a adição de água deionizada, que serviu para ser determinado o teor de lignina solúvel, conforme descrito por Goldschimid (1971), utilizando o equipamento espectrofotômetro UV-visível e a Equação 3. As análises foram feitas em triplicatas.

$$LS = \frac{4,53(A_{215} - A_{280})}{300 \cdot P} * 100 \quad (3)$$

Em que:

$LS$  = Teor de lignina Klason (% base madeira), em percentagem;

$A_{215}$  = Absorbância do espectro a uma faixa de 215 nanômetro;

$A_{280}$  = Absorbância do espectro a uma faixa de 280 nanômetro;

$P$  = Massa da amostra inicial utilizada no ensaio de lignina insolúvel, em gramas.

## Holocelulose

A determinação do teor de holocelulose (celulose + hemiceluloses) da madeira foi obtida através da Equação 4 e conforme especificado por Sansígolo e Barreiros (1998), que declaram ser a composição restante do material madeira exceto os teores de extrativos totais, ligninas insolúvel e solúvel e o teor de cinzas. As análises foram feitas em triplicatas.

$$H = 100 - (ET + LK + LS + C) \quad (4)$$

Em que:

$H$  = Teor de holocelulose, em percentagem;

ET = Teor de Extrativos Totais, em percentagem;  
 LK = Teor de Lignina Klason, em percentagem;  
 LS = Teor de Lignina Solúvel, em percentagem;  
 C = Teor de Cinzas, em percentagem.

## Cinzas

Para esta análise, utilizou-se a norma TAPPI T 211 OM-85 (1992), cujo processo de calcinação foi à temperatura de 575 °C por um tempo de 4 horas. As análises foram feitas em triplicatas.

## Poder Calorífico Superior

A determinação do poder calorífico superior da madeira foi através de uma bomba calorimétrica adiabática, isotérmica de marca IKA, conforme a norma NBR 8633 da ABNT (1984). As análises foram feitas em triplicatas.

## Análise estatística

A análise estatística foi realizada com o auxílio do *software R*, versão 3.6.1, no qual foram realizados os estudos de normalidade, variância e Teste *Tukey* a 5% probabilidade para comparação de médias.

# RESULTADOS

Os valores médios obtidos na caracterização física, química e energética da madeira para as três espécies estudadas estão apresentados na Tabela 1.

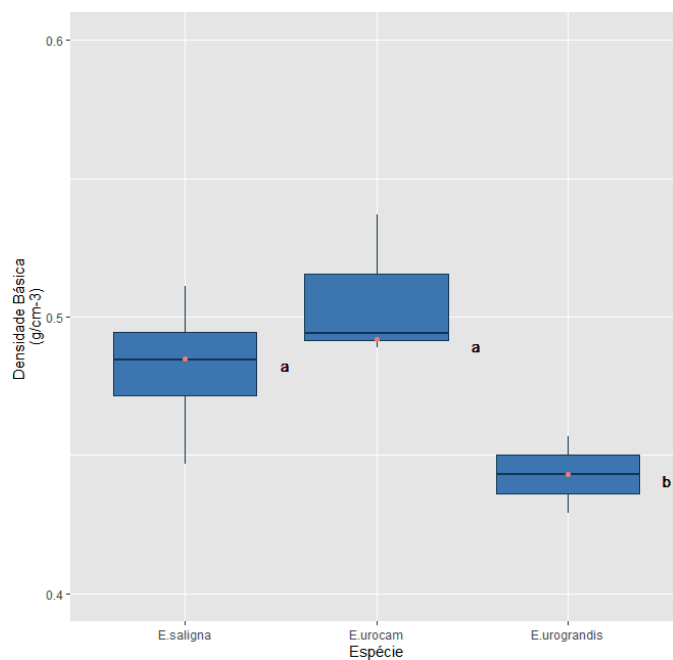
**Tabela 1.** Caracterização física, química e energética da madeira de *E. saligna*, *E. urocam* e *E. urograndis*.

|                      | DB<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Composição Química (%) |        |       |        |       | PCS<br>(Kcal/kg) |
|----------------------|----------------------------|------------------------|--------|-------|--------|-------|------------------|
|                      |                            | ET                     | LK     | LS    | H      | C     |                  |
| <i>E. saligna</i>    | 0,485a                     | 3,76b                  | 21,55a | 1,12a | 72,11a | 1,00a | 4207a            |
| <i>E. urocam</i>     | 0,492a                     | 4,03a                  | 22,03a | 1,82a | 72,41a | 1,00a | 4145a            |
| <i>E. urograndis</i> | 0,472b                     | 3,87a                  | 21,45a | 0,47a | 74,18a | 1,00a | 4330a            |

DB: Densidade Básica; ET: Extrativos Totais; LK: Lignina Klason (Insolúvel); LS: Lignina Solúvel; H: Holocelulose; C: Cinzas. Médias seguidas pela mesma letra identificadas na mesma coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Os resultados obtidos na análise da densidade básica estão apresentados no Gráfico 1.

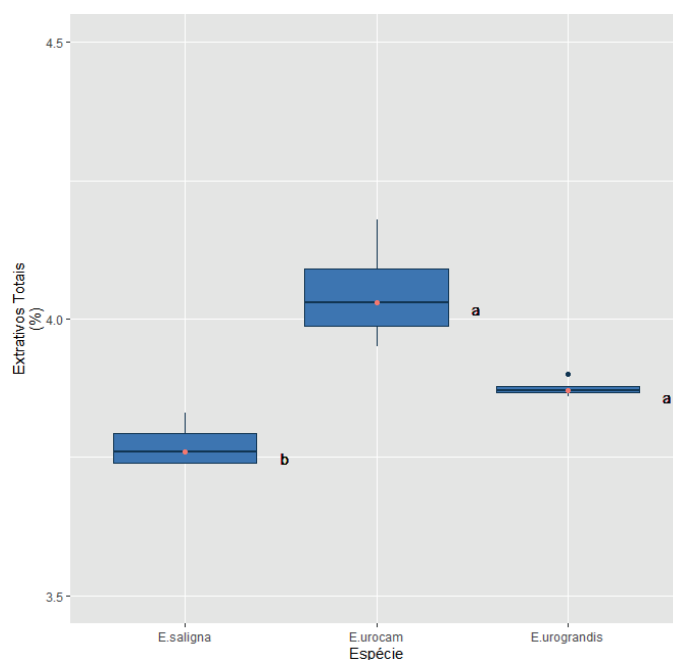
Gráfico 1. Densidade básica da madeira de *E. saligna*, *E. urocam* e *E. urograndis*.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Os resultados obtidos na análise de Extrativos Totais estão apresentados no Gráfico 2.

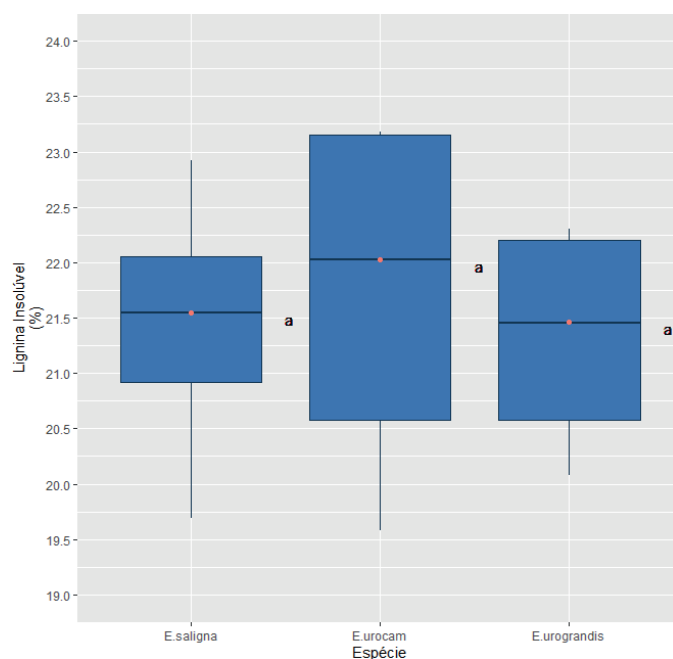
Gráfico 2. Extrativos Totais da madeira de *E. saligna*, *E. urocam* e *E. urograndis*.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Os resultados obtidos na análise da Lignina Klason (Insolúvel) estão apresentados no Gráfico 3.

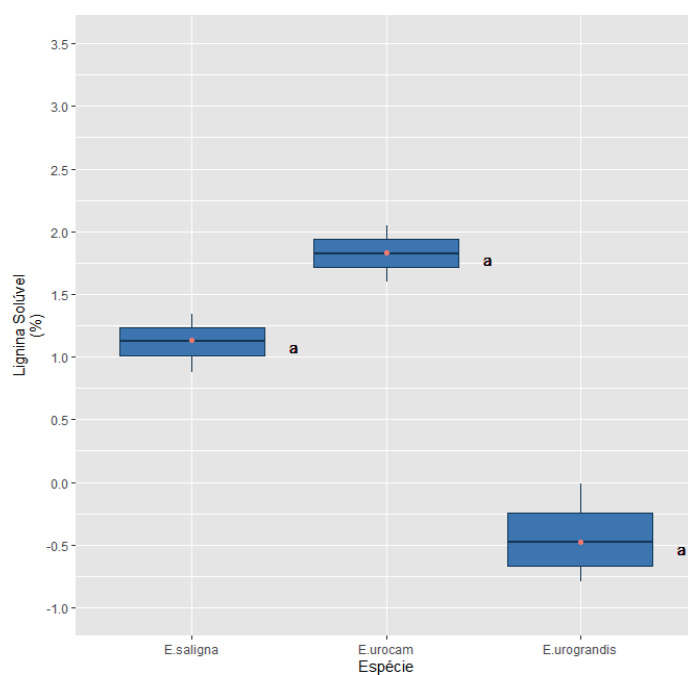
Gráfico 3. Lignina Klason (Insolúvel) da madeira de *E. saligna*, *E. urocam* e *E. urograndis*.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Os resultados obtidos para o ensaio da Lignina Solúvel estão dispostos no Gráfico 4.

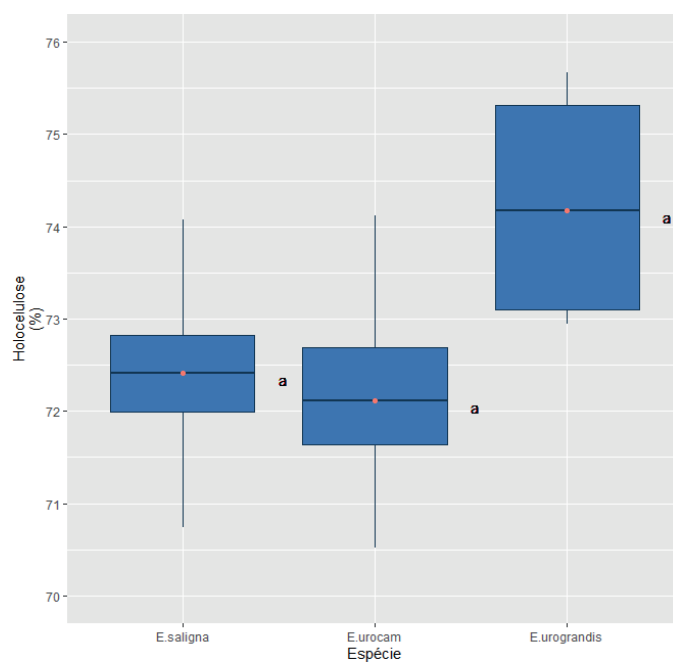
Gráfico 4. Lignina Solúvel da madeira de *E. saligna*, *E. urocam* e *E. urograndis*.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Os resultados médios obtidos para o ensaio de Holocelulose estão dispostos no Gráfico 5.

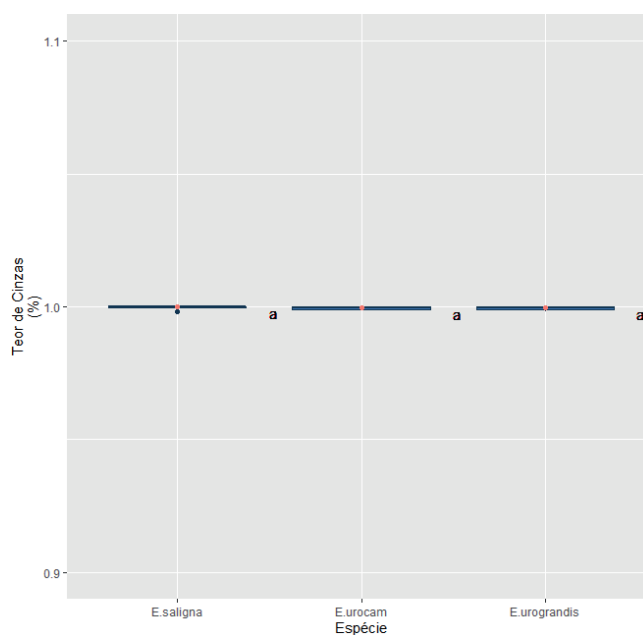
Gráfico 5. Holocelulose da madeira de *E. saligna*, *E. urocam* e *E. urograndis*.



Em que: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Os resultados médios obtidos na análise de Cinzas estão apresentados no Gráfico 6.

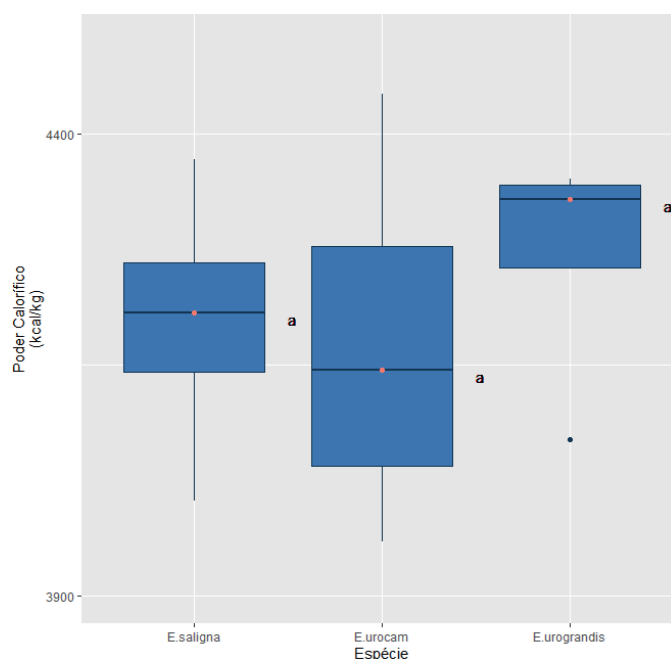
Gráfico 6. Teor de Cinzas da madeira de *E. saligna*, *E. urocam* e *E. urograndis*.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Os resultados obtidos para o ensaio de Poder Calorífico Superior estão dispostos no Gráfico 7.

Gráfico 5. Poder Calorífico Superior da madeira de *E. saligna*, *E. urocam* e *E. urograndis*.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

## DISCUSSÃO

### Densidade Básica

Os dados referentes à densidade básica relacionados na Tabela 1 e no Gráfico 1, demonstraram que a madeira da espécie *E. urocam* possui o valor de maior densidade se comparada com as outras, sendo seu valor médio equivalente a 0,492 g/cm<sup>3</sup>, no qual é um fator de grande importância para determinação se a madeira possui características para fins energéticos. A densidade quando aplicada a queima e com densidades obtidas em estudos de *pellets* de eucalipto que variam de 0,643 a 0,658 g/cm<sup>3</sup>, identificam que quanto maior for a densidade do combustível madeira maior será a sua liberação energética, durante a sua combustão a maior quantidade de energia está associada à sua unidade volumétrica (PINTO, 2015).

Sabendo que segundo Mourão et al. (2002) as madeiras provenientes deste estudo podem ser consideradas como madeiras de média densidade, na qual resulta em sua queima moderada e condiz para a produção direta de energia por unidade de volume e calor, na qual as madeiras de baixa densidade acabam sofrendo uma queima rápida e numa menor produção de energia por unidade de volume ao contrário de madeiras com maiores densidades.

Os valores obtidos através das leituras efetuadas em experimento demonstraram resultados semelhantes se comparados, segundo De Paula et al. (2015) em seus estudos em *pellets* de pinus as densidades obtidas forma entre 0,484 e 0,639 g/cm<sup>3</sup>, e desta forma foi identificado que as espécies neste estudo dos híbridos de *E. saligna* e *E. urocam* não

diferem, mas já a espécie *E. urograndis* obteve menores índices, e com base na análise dos combustíveis a madeira de *E. urocam* demonstrou maior aptidão para potencial energético, ressaltando que quanto maior a densidade básica maior será seu potencial energético, e a mesma se predispõe ser referência em relação as outras.

## Extrativos Totais

Os extrativos totais da madeira possuem relações diretas com o potencial energético, devido a sua relação à quantidade de matéria orgânica proveniente da madeira, e com base nos dados demonstrados no Gráfico 2, foi observado que as espécies estudadas apresentaram pouca variação, porém a espécie que evidenciou maior percentual de extrativos foi o *E.urocam*, com cerca de 4,03%.

Os componentes orgânicos são os extrativos, que contribuem para propriedades da madeira como a cor, o odor, o gosto, a resistência à deterioração, a densidade, a higroscopicidade e a inflamabilidade. São compostos taninos, óleos, gorduras, ceras e outros, que contribuem para a queima e geração de energia. Segundo estudos de Garcia (2010), os *pellets* apresentaram teores de extrativos entre 3,95 e 8,38%, e se comparado com os dados obtidos comparado ao estudo os dados estão entre os parâmetros, sabendo que o maior índice de extrativos pode interferir positivamente, no limite inferior de inflamabilidade do biocombustível, estabelecendo então que o *E.urocam* é a madeira mais indicada para fins energéticos.

## Lignina Klason

As análises para esta variável apresentaram que as espécies não diferem, desta forma não é possível a conclusão de qual espécie possui maior aptidão para geração de energia, sabendo que as espécies *E. saligna*, *E. urocam* e *E. urograndis* representam valores médios de 21,55%, 22,03% e 21,46%, os valores foram proporcionais se comparado, pois segundo Balloni et al. (2009) o teor de lignina insolúvel obtido em seus estudos estavam dentro dos parâmetros para as coníferas, com uma média de 28% para o material analisado. A madeira contém cerca de 15 a 30% de lignina, sendo usualmente encontrados valores de 25 a 30% para madeiras de coníferas.

Os valores referentes ao ensaio de lignina insolúvel variaram de 19,58 a 23,18%, nestas proporções de grandeza as espécies que se assemelham aos valores obtidos correspondem à madeira de *E. paniculata*, *E. citriodora* e *E. urophylla* segundo Brito et al.(1977). Nos quais apresentaram valores médios próximos entre as três espécies estudas, contudo, não há espécie que demonstre maior potencial energético em razão de seu teor de lignina insolúvel

visto que seus percentuais de assemelham muito, de tal forma que não é possível definir qual das espécies se destaca para fins energéticos.

## Lignina Solúvel

Para a lignina solúvel, os valores obtidos sofreram perdas na leitura, resultando então em valores equivocados, no qual não é possível salientar qual das espécies possui maior ou menor quantidade de lignina solúvel.

Segundo De Paula (2005) a lignina solúvel apresenta pouca biomassa para sustentar uma combustão duradoura. Ao contrário, madeiras ricas em fibras de fração parede alta, ou seja, de parede espessa, são de boa qualidade para geração de energia (etanol, coque metalúrgico, carvão e lenha).

Conforme os dados demonstrados, os valores não diferem entre espécie, porém abordam leituras falhas na realização do experimento, visto que, conforme estudos (GOMIDE et al., 2005), o teor de lignina solúvel dos clones de *Eucalyptus sp.* variaram de 3,1 a 5,1%, e se comparados ao presente estudo sua média está demonstrando valores incoerentes, no qual o uso do equipamento espectrofotômetro, segundo a absorbância do espectro pode ter ocorrido leituras equivocadas, resultando assim nos valores demonstrados.

## Holocelulose

Com base no Gráfico 6, as espécies analisadas não diferem, e com base em estudos de espécies de *Eucalyptus sp.*, segundo Sette Jr et al. (2014), o teor de holocelulose em seus estudos demonstraram valores entre 67,6 e 70,8%, nos quais estão conforme os dados contidos neste experimento, apresentando que esta variável não interfere diretamente na produção de maior índices de potencial para energia.

Com base em estudos de espécies do cerrado para carvão vegetal, segundo Vale et. al, (2010) seus maiores valores de teor de celulose foram de 72,22 e 74,84%, a relação negativa está relacionada ao processo de carbonização, pois carboidratos que compõem as holocelulose são rapidamente decompostos, fazendo com que madeiras com elevados teores de holocelulose não apresentem bons rendimentos em carvão vegetal.

Segundo Bufalino (2012), a holocelulose e a lignina são consideradas os principais componentes moleculares da biomassa. Para a produção de energia, maiores teores de lignina e menores teores de holocelulose são desejáveis, conforme observado para a madeira de cedro australiano obtida de costaneira.

## Cinzas

O teor de cinzas é uma variável que tem relação inversa se comparadas às demais estudadas, pois o teor de cinzas pode afetar na vida útil do equipamento, que irá utilizar a madeira como fonte de energia. Observou-se que todas as espécies são estatisticamente iguais para o teor de cinzas.

Segundo Jesus et al. (2017), o teor de cinza para gênero *Eucalyptus* aos seis anos de idade são relativos entre 1,34 e 2,82%, e para uso siderúrgico é indicado teores de cinzas no carvão inferior a 1%, para evitar contaminação e redução do seu poder calorífico, uma vez que causa desgaste no alto-forno e pode comprometer a qualidade do ferro-gusa com consequentes formações de trincas e fissuras, entretanto as espécies estudadas se comportaram abaixo se comparadas com a referência, porém fatores positivos levando em consideração o limite de 1% para não afetar os componentes e os equipamentos responsáveis pela combustão.

Para a análise dos dados referentes ao teor de cinzas, foi possível observar que seus valores ocorreram como esperado, demonstrando que a comparação entre espécies não difere, e se comparados com estudos realizados com clones de *Eucalyptus sp.*, os valores relativos ao teor de cinzas se adequam entre 0,26 e 1,24% (CASTRO et al., 2013).

## Poder Calorífico Superior

O poder calorífico obtido para as amostras estudadas obtiveram um maior valor com cerca de 4329,83 kcal/kg, na qual se refere à espécie *E. urograndis*, porém este valor não representa proporções elevadas se comparadas as demais espécies, assim como outros compósitos derivados da madeira, pois conforme em estudos de Spanhol et al. (2015) o poder calorífico superior (PCS) em estudos realizados em *pellets* de *Pinus spp.* observou-se que o mesmo variou de 4732,31 a 4899,61 kcal/kg. Os *pellets* com maior poder calorífico, tendo somente uma amostra igual estatisticamente relataram que o aumento do poder calorífico afeta positivamente em uma maior geração de energia, desta forma os valores apresentados no Gráfico 7 representam que as espécies não diferem em razão de seu potencial energético.

Os valores propostos neste experimento apresentaram conformidade, segundo estudos realizados e descritos por Mourão et al. (2002) os valores médios preconizados para folhosas são de 4500 kcal/kg, logo pode-se justificar que os dados obtidos para as espécies em questão demonstraram estar dentro dos parâmetros de poder calorífico superior.

## CONCLUSÃO

Com base nos resultados foi possível determinar que a madeira de *E. urocam* demonstrou maior potencial energético, conforme também concluído por Fonseca e outros (2010), por possuir maior densidade básica e teor de extrativos, e por conter menor teor de holocelulose que contribuem aos parâmetros aceitáveis para geração de energia.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Métodos de ensaio**. São Paulo, 1974.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. ABTCP. Normas técnicas ABCTP. São Paulo: ABTCP, 1974. n. p.
4. BRITO, José Otávio; BARRICHELO, Luiz Ernesto George. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF, Piracicaba**, v. 14, n. 14, p. 9-20, 1977.
5. BUFALINO, Lina et al. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 129, 2012.
6. CASTRO, Ana Flávia Neves Mendes et al. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 6, p. 627-635, 2013.
7. DE PAULA PROTÁSIO, Thiago et al. Caracterização energética de pellets *in natura* e torreficados produzidos com madeira residual de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 435-442, 2015.
8. DE PAULA, José Elias. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia. **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 90-100, 2005.
9. FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto**. 1ª Ed. Viçosa: UFV, 2010, 200p.
10. GARCIA, Dorival Pinheiro. **Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil**. 2010.
11. GOLDSCHMIDT, O. Ultraviolet Spectra Lignin: occurrence, formation, structure and reactions. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (Eds.). New York : **Wiley Interscience**, 1971. p.241-266.
12. GOMIDE, José Lívio et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

13. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, IBÁ. **São Paulo**, p. 31, 2017. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)>. Acesso em: 18 set. 2019.
14. JESUS, Márcia Silva et al. Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 11-16, 2017.
15. MAGATON, A. S.; PILO-VELOSO D.; COLODETTE, J. L. Caracterização das O-acetil- (4-O-metilglicurono) xilanas isoladas da madeira de *Eucalyptus urograndis*. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 1085-1088, set. 2008.
16. MOURÃO, Maria Aparecida Brasil et al. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.
17. PALERMO, G. P. M. et al. Determinação da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm, através de atenuação de radiação gama comparada a métodos tradicionais. **Floresta e Ambiente**, v.11, n.1, p.1-6, 2012.
18. PENEDO, Waldir Resende. Uso da madeira para fins energéticos. 1980.
19. PINTO, Adriana AS et al. **Caracterização de pellets de ponteira de eucalipto**. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 6, n. 3, 2015.
20. QUIRINO, Waldir F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, v. 89, n. 100, p. 100-106, 2005.
21. SANSÍGOLO, C. A.; BARREIROS, R. M. Qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de celulose kraft. In: **Congresso anual de celulose e papel da ABTCP**. 1998. p. 417- 429.
22. SANTOS, Iris Dias. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e na contração da madeira e no rendimento e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008.
23. SETTE JR, Carlos Roberto et al. Alterações nas características químicas da madeira com a substituição do K por Na em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 38, n. 3, p. 569-578, 2014.
24. SPANHOL, Alana et al. Qualidade dos pellets de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 833-844, 2015.
25. TAPPI - *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*, TAPPI test methods T 222. om-62, **Acid insoluble lignin in wood and pulp**, 1983.
26. TAPPI - *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*, TAPPI test methods T 211 om-85, 1992. *Ash in Wood and Pulp*. **Tappi Test Methods**, Tappi Pres, Atlanta, v. 1.
27. TAPPI - *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*, TAPPI test methods T 264 cm-97 (1997) **Preparation of wood for chemical analysis**. 07-Apr-1997, 1999.
28. TRUGILHO, Paulo Fernando; LIMA, José Tarcísio; MENDES, Lourival Marin. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

29. VALE, Ailton Teixeira do; DIAS, Íris Santos; SANTANA, Marcos Antônio Eduardo. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.
30. ZANUNCIO, Antônio José Vinha et al. Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 755-760, 2013.

“

# Produção de biogás a partir da codigestão anaeróbia de dejetos suínos e lodo de frigorífico

- I Tanize Kohlhoff da **Silva**  
UFN
- I Franciele da Silva **Bruckmann**  
UFN
- I Theodoro da Rosa **Salles**  
UFN
- I Juliana Ferreira **Soares**  
UDESC
- I Cristiano Rodrigo Bohn **Rhoden**  
UFN

# RESUMO

O constante aumento da demanda energética e a necessidade da redução da emissão de gases do efeito estufa (GEE) tem estimulado cada vez mais a busca por novas fontes de energias renováveis. O biogás, uma energia limpa e renovável, obtida por meio da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, torna-se uma fonte alternativa de energia renovável, bem como uma solução para os aspectos econômicos, social e ambiental. Este estudo teve como objetivo investigar a produção de biogás por meio de um sistema de codigestão anaeróbia de lodo de frigorífico e dejetos suínos. O experimento foi realizado em diferentes condições de temperatura, variando de 30 a 50 °C e sob temperatura ambiente (25 °C). O processo de codigestão sob a temperatura de 35 °C resultou em uma maior produção de biogás, cerca de 2750 mL em 96 horas.

**Palavras-chave:** Biogás, Codigestão, Energia Renovável, Temperatura.

## INTRODUÇÃO

O constante crescimento populacional aliado ao aumento da demanda por energia tem estimulado a busca por novas fontes renováveis. As fontes de energias renováveis que têm sido estudadas são as provenientes do sol, das marés, dos ventos, da biomassa e dos rios. As mesmas contribuem para a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e, conseqüentemente, para a poluição atmosférica. Atualmente, as fontes mais empregadas para obtenção de energia são baseadas em combustíveis fósseis. Entre elas está o gás natural, o carvão mineral e o petróleo, os quais não são renováveis e originam prejuízos ao meio ambiente e a saúde pública (MANYI-LOH, 2013). Contrapondo estas fontes, a utilização do biogás, oriundo da digestão anaeróbia da biomassa, surge como uma alternativa de energia renovável.

O biogás resulta do processo da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, na ausência de oxigênio. O processo da digestão anaeróbia, ou seja, a conversão microbiológica de substratos orgânicos em biogás se divide em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (ROHSTOFFE, 2010).

Na primeira fase da digestão anaeróbia, denominada hidrólise, ocorre à transformação de compostos orgânicos complexos, como, proteínas, carboidratos e lipídios em compostos orgânicos mais simples, como, aminoácidos, ácidos graxos e açúcares. Na segunda fase, a acidogênese, acontece formação de ácidos graxos de cadeia curta (ácidos acético, propiônico e butírico), dióxido de carbono e hidrogênio, por meio de bactérias fermentativas acidogênicas. Também sucede a formação de outros compostos como, álcoois, ácido láctico e entre outros, entretanto em quantidades pequenas (ROHSTOFFE, 2010). Na terceira fase, a acetogênese, os produtos formados são ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono. Em sua fase final denominada metanogênese, ocorre à formação de metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (ROHSTOFFE, 2010). De acordo com Falcão e Gusmão (2008), os principais componentes do biogás são o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), com valores médios entre 50 a 75% e 25 a 40%, respectivamente, ocorre também a na formação de um biofertilizante, o qual pode ser utilizado como defensivo agrícola.

A produção de biogás ocorre em um digestor anaeróbio e seu desempenho para obtenção de  $\text{CH}_4$  pode ser influenciado pelo substrato utilizado (resíduos sólidos, resíduos de abatedouro de frigoríficos, resíduos de suínos, entre outros), pela fonte de microrganismos (inóculo), bem como pelas condições operacionais, como a temperatura, o pH, e o tempo de retenção hidráulica (ZHOU, 2016).

Na fase metanogênica, na qual ocorre à formação de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , a temperatura deve estar ajustada na faixa adequada para a produção de biogás. De acordo com Brack (2012) e Aquino (2007), o crescimento microbiano pode ocorrer em três faixas de temperatura, a

psicrófila, a mesofílica e a termofílica, com valores na faixa de 4 a 15 °C, 20 a 40 °C e 45 a 70 °C, respectivamente. Para a produção de CH<sub>4</sub> a temperatura ideal do processo de digestão anaeróbia encontra-se entre 30 a 35 °C. O tempo de retenção hidráulica (TRH) refere-se ao tempo necessário para atingir a degradação da matéria orgânica requerida (OLIVER et al., 2008). Conforme Cancelier (2015), o TRH e a produção de biogás são influenciados pela temperatura do sistema, bem como, a concentração inicial de substrato. Para atingir uma maior taxa de produção de biogás o sistema de digestão anaeróbia necessita em torno de 10 a 50 horas, após este período a produção de biogás tende a cessar.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa de Agronegócio (EMBRAPA, 2016), o Brasil é o quarto maior produtor de carne suína, perdendo apenas para China, União Europeia e Estados Unidos. A alta produção de suínos gera uma quantidade significativa de dejetos, que são compreendidos como um conjunto de urina e fezes, que quando lançados diretamente no meio podem resultar em grandes impactos ambientais e sociais (KONZEN, 2005). As características físico-químicas dos dejetos de suínos produzidos no Brasil variam conforme a estação do ano, alimentação e a quantidade de água consumida por cada animal (FALCÃO; GUSMÃO, 2008). De acordo com Alves (2007), os dejetos suínos podem ter as seguintes características: pH = 7,35, demanda química de oxigênio total (DQOTotal) = 12.578 mg/L, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) = 9.110 mg/L, sólidos totais = 8.514 mg/L e sólidos voláteis = 5.288 mg/L.

O Brasil se destaca como principal produtor de carne bovina, bem como, consumidor e exportador. A produção de carne bovina no Brasil, estima-se que emprega cerca de 5 milhões de pessoas, desde fazendas até frigoríficos, ou seja, da matéria-prima até o produto final (CARVALHO; ZEN, 2017). Com isso, surge a preocupação do tratamento de efluentes nos frigoríficos, devido aos despejos (sangue, gordura, sólidos do conteúdo intestinal e fragmentos de tecidos) que são bastante putrescíveis, causando cheiro desagradável, após o abate do animal. O efluente em sua forma natural, não pode ser lançado diretamente ao meio ambiente, necessitando ao abatedouro providenciar o tratamento para não causar problemas ambientais e à saúde pública (SCARASSATI et al., 2003).

Tendo em vista o elevado teor de carga orgânica dos dejetos suínos e do lodo gerado nos frigoríficos, é necessário tratá-los antes do seu lançamento no ambiente. Neste sentido, a digestão anaeróbia destes substratos surge como uma alternativa promissora para a produção de biogás, além de proporcionar benefícios ecológicos, sociais e econômicos.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de biogás, em escala laboratorial, a partir da codigestão anaeróbia de dejetos suínos e lodo de frigoríficos, sob diferentes condições de temperatura.

## MÉTODOS

### Substratos

Os substratos utilizados para a produção de biogás foram dejetos suínos e lodo de frigorífico. Os dejetos suínos foram cedidos pelo Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e o lodo foi coletado na lagoa de tratamento anaeróbio dos efluentes gerados no frigorífico Pampeano, localizado no município de Santa Maria (RS). Tendo em vista que os dois substratos são ricos em microrganismos, os mesmos também atuaram como fonte de inóculo. As amostras de dejetos utilizadas no estudo foram empregadas frescas no sistema de codigestão anaeróbia. As amostras de lodo, após coletadas foram transferidas para um refrigerador a temperatura de -4 °C, a fim de evitar a degradação do material (ZHANG, 2014). Para a utilização da amostra de lodo foi necessário colocar a mesma a temperatura ambiente, para obter o descongelamento uniforme.

### Caracterização dos substratos

Os dejetos suínos e o lodo de frigorífico foram caracterizados quanto ao teor de umidade, sólidos totais, sólidos voláteis e cinzas. As análises foram realizadas no Laboratório de Bioprocessos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

### Teor de Umidade

O teor de umidade foi realizado a partir do método gravimétrico, o qual baseia-se na avaliação da quantidade de massa antes e depois da secagem das amostras. Para a realização desta análise foram pesados cerca de 15 g de cada substrato e transferidas para a estufa à temperatura de 105 °C. A massa de cada substrato foi pesada regularmente até atingir massa constante. O teor de umidade foi calculado através da Equação 1, onde  $m_i$  é a massa inicial (g) e  $m_f$  é a massa final da amostra seca (g). Os ensaios foram realizados em triplicata.

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

### Sólidos totais e voláteis

As análises de sólidos totais e sólidos voláteis foram conduzidas de acordo com o método padrão (APHA, 1999). Os sólidos totais correspondem à massa das amostras secas a 105 °C. Para a determinação de sólidos voláteis, os sólidos totais resultantes foram colocados em cadinhos previamente tarados e dispostos em um forno mufla (Magnus, Belo Horizonte-MG) a 550 °C por 1 hora. A fração de sólidos totais e de sólidos voláteis foi calculada a partir da Equação 2 e 3, respectivamente, onde A é a massa da amostra seca + cadinho (g), B é a massa do cadinho (g), C é a massa da amostra úmida + cadinho (g) e D é a massa da amostra + cadinho após a mufla (g). Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

$$\text{Sólidos totais (\%)} = \frac{(A-B) \times 100}{C-B} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Sólidos Voláteis (\%)} = \frac{(A-D) \times 100}{A-B} \times 100 \quad (3)$$

### Teor de Cinzas

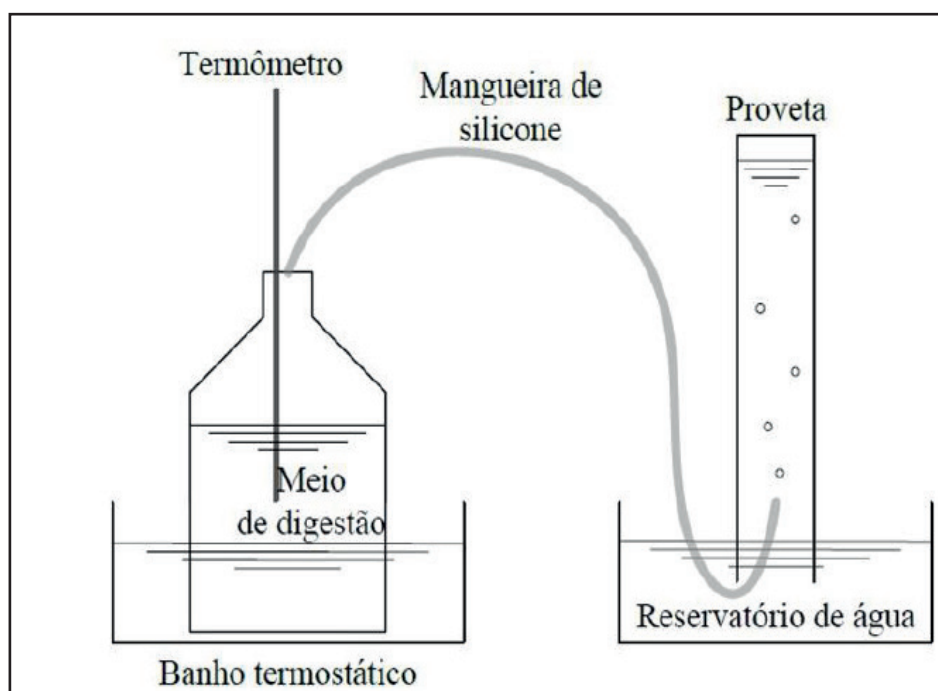
O teor de cinzas foi determinado a partir da calcinação das amostras em forno mufla (Magnus, Belo Horizonte-MG) a 400 °C por uma hora e 800 °C por 2 horas. Para isto, as amostras (secas a 105 °C) foram pesadas e colocadas em cadinhos previamente tarados. A quantificação da massa de amostra inicial, dos cadinhos e da massa final do cadinho + as cinzas, foi realizada em uma balança analítica (Bel Engineering, modelo M214A, Piracicaba-SP). O teor de cinzas dos substratos foi calculado conforme a Equação 4, onde m1 é a massa de sólido + cadinho após a calcinação (g), m2 a massa do cadinho (g) e m0 a massa inicial de amostra (g). Os ensaios foram realizados em triplicata.

$$\text{Cinza (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \times 100 \quad (4)$$

### Sistema de digestão anaeróbica

Os ensaios da codigestão anaeróbia foram desenvolvidos no Laboratório de Química Orgânica da Universidade Franciscana (UFN). O sistema de codigestão constituiu-se de um reator de 500 mL (Kitasato Schott Duran), no qual foi adaptada uma mangueira de silicone para proporcionar a saída do biogás gerado, uma rolha de silicone para vedar o sistema, um banho de água termostático (Fisatom) para o controle da temperatura de reação, e um sistema de deslocamento de coluna de água para a quantificação do biogás gerado, como ilustra a Figura 1.

**Figura 1.** Sistema de codigestão anaeróbia de dejetos suínos e lodo de frigorífico



Fonte: construção do autor

Para a condução de cada ensaio, foi realizada inicialmente a homogeneização de 200 mL de dejetos suínos, 150 mL de lodo anaeróbio e 100 mL de água. A mistura foi então inserida no reator, o qual foi fechado com uma rolha de silicone. Por fim, o reator foi colocado no banho termostático sob temperatura controlada e monitorada a partir de um termômetro. A produção de biogás foi avaliada em diferentes condições de temperatura: 30, 40 e 50 °C e a temperatura ambiente (25 °C). O volume de biogás produzido ao longo do processo de codigestão anaeróbia dos substratos foi medido a partir do método de deslocamento de coluna de água utilizando-se uma proveta, conforme a Figura 1, demonstrada acima.

## RESULTADOS

### Caracterização dos substratos

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização dos dejetos suínos e do lodo de frigorífico quanto ao teor de umidade, sólidos totais, sólidos voláteis e cinzas.

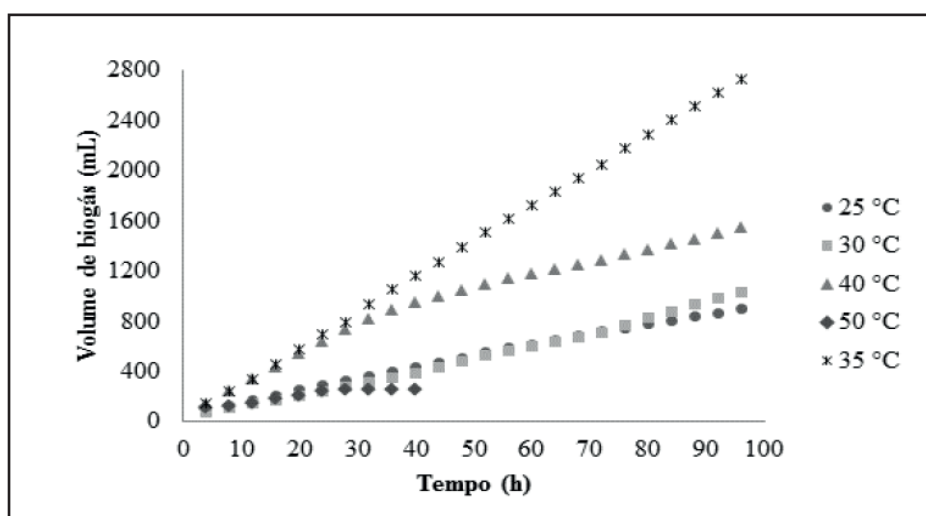
**Tabela 1.** Caracterização dos substratos

| Parâmetro            | Dejetos suínos | Lodo de frigorífico |
|----------------------|----------------|---------------------|
| Umidade (%)          | 79,62 ± 1,65   | 87,49 ± 1,25        |
| Sólidos Totais (%)   | 20,38 ± 1,65   | 12,51 ± 1,25        |
| Sólidos Voláteis (%) | 68,15 ± 1,98   | 30,23 ± 2,41        |
| Cinzas (%)           | 30,17 ± 1,84   | 69,33 ± 2,30        |

## Produção de biogás

A produção de biogás a partir da codigestão anaeróbia de dejetos suínos e lodo de frigorífico foi avaliada em três diferentes condições de temperatura, 30, 40 e 50 °C e sob temperatura ambiente (25 °C). A Figura 2 apresenta as curvas cinéticas de produção de biogás nas diferentes temperaturas. No decorrer dos ensaios optou-se também por avaliar a temperatura de 35 °C, pois o melhor rendimento de biogás encontrou-se entre 30 a 40 °C. Para as temperaturas de 25 °C, 30 °C, 35 °C e 40 °C, a produção de biogás foi monitorada por um período fixo de quatro dias, totalizando 96 horas.

**Figura 2.** Cinética de produção de biogás a 25, a 30, a 35, a 40 e a 50 °C



O volume total de biogás obtido nas temperaturas de 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C e 50 °C foi de, aproximadamente, 897 mL, 1033 mL, 2750 mL, 1543 mL e 235 mL, respectivamente, como pode ser visto na Tabela 2.

**Tabela 2.** Volume de biogás produzido a partir do processo de codigestão

| Temperatura (°C) | Volume de biogás |        |        |
|------------------|------------------|--------|--------|
|                  | mL               | mL/gST | mL/gSV |
| 25 <sup>1</sup>  | 897              | 15,07  | 26,82  |
| 30 <sup>1</sup>  | 1033             | 17,35  | 30,88  |
| 35 <sup>1</sup>  | 2750             | 46,20  | 82,21  |
| 40 <sup>1</sup>  | 1543             | 25,92  | 46,12  |
| 50 <sup>2</sup>  | 235              | 3,95   | 7,02   |

<sup>1</sup>em 96 horas

<sup>2</sup>em 36 horas

## DISCUSSÃO

### Caracterização do substrato

A percentagem de sólidos totais encontrada nos dejetos suínos foi de 20,38% ( $\pm 1,65$ ), estando de acordo com a literatura (13,6 - 29,6%) (ZANG et al., 2014; LIN et al., 2015; LIN et al., 2013; ORRICO et al., 2015). Quanto aos sólidos voláteis, a percentagem presente nos dejetos suínos foi de 68,15% ( $\pm 1,65$ ), encontrando-se, também, de acordo com outros trabalhos publicados (53,19 - 78,3) (ZANG et al., 2015; ORRICO et al., 2015; COSTA; ORRICO; SUNADA, 2014). Quanto aos parâmetros do lodo de frigorífico, não foram encontrados dados na literatura.

### Produção de biogás

O processo de produção de biogás para as respectivas temperaturas não terminou naturalmente, tendo que ser interrompida no quarto dia de produção devido ao horário de funcionamento do laboratório. Já para a temperatura de 50 °C, o sistema de codigestão anaeróbia terminou naturalmente em 36 horas de processo.

Pode-se analisar que a temperatura de 35 °C favoreceu a produção de biogás. Por outro lado, a temperatura mais elevada (50 °C) em que foi conduzido o processo de codigestão anaeróbia dos dejetos suínos e lodo de frigorífico prejudicou o desenvolvimento microbiano, ocorrendo a destruição dos mesmos antes de seu desenvolvimento para produção de biogás. Estes resultados apresentaram concordância com a literatura visto que, de acordo com Oliver et al. (2008), a temperatura ideal de digestão anaeróbia é de 30 a 35 °C.

Cancilier et al. (2015), avaliaram a produção de biogás através de dejetos suínos em fase de terminação. A temperatura (20 a 40 °C) e concentração inicial de matéria orgânica (50 a 500 g/L) foram os fatores analisados. Os resultados mostram que a temperatura de 30 °C e concentração inicial de matéria orgânica de 500 g/L produzem cerca de 70 mL de biogás em 72 horas. Júnior, Orrico e Júnior (2009), avaliaram a produção de biogás remanescente nos efluentes de biodigestores abastecidos de dejetos suínos com e sem separação da fração sólida, em diferentes tempos de retenção hidráulica. O melhor rendimento da produção de biogás foi em 15 dias de operação, sem a separação da fração sólida. A produção de biogás foi de 360 L/kgST e 510 L/kgSV, em um biodigestor com capacidade de 2 L de substrato.

O uso do biogás como fonte de energia elétrica produzida por meio de biodigestores, pode ser empregado como fonte primária, ou seja, capaz de fornecer energia mecânica em turbinas e motores, nos quais são acoplados a geradores capazes de produzir energia elétrica. A energia produzida por meio do biogás pode ser utilizada na localidade na

qual foi produzida, ou mesmo ser vendida para a concessionária de energia (OLIVEIRA, 2009). De acordo com Coldebella et al. (2006) e Santos et al. (2000), um metro cúbico de biogás equivale a 6,5 kWh de energia elétrica. Este valor pode ser exemplificado, para um chuveiro elétrico ligado aproximadamente por 60 minutos. Considerando que a 35 °C obteve-se uma produção de 2750 mL (0,00275 m³) de biogás em um meio de digestão de 450 mL, um biodigestor de 1 m³, por exemplo, poderia produzir aproximadamente 40 kWh.

## CONCLUSÃO

O desempenho da codigestão anaeróbia com dejetos suínos e lodo de frigorífico para a produção de biogás, avaliado em cinco diferentes condições de temperatura mostrou melhor rendimento a 35 °C. A faixa mesofílica na qual se encontra a temperatura de 35 °C é a ideal para produção de biogás. Considerando que o rendimento de biogás foi de 2750 mL (0,00275 m³) a 35 °C, em um meio de digestão de 450 mL, pode-se estimar que um biodigestor de 1 m³, por exemplo, poderia produzir, aproximadamente, 40 kWh. Esta energia poderia ser utilizada no próprio estabelecimento ou mesmo vendida à concessionária de energia.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ALVES, R. G. C. M. **Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processo anaeróbio – operação e avaliação de diversos reatores em escala real**. 2007. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
2. APHA, AWWA. WEF (American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation) 1999. **Standard methods for the examination of water and wastewater**.
3. AQUINO, S. F. et al. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. **Engenharia Ambiental Sanitária**, v. 12, n. 2, p. 192-201, 2007.
4. BRACK, L. B. **Determinação da atividade metanogênica específica (AME) através da biodigestão anaeróbia de materiais colagênicos**. 2012. 44 p. Trabalho de Diplomação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
5. CANCELIER, Adriano et al. Avaliação da produção de biogás de dejetos de suínos utilizando a metodologia de superfície de resposta. **Eng Sanit Ambient**, v. 20, n. 2, p. 209-217, 2015.
6. CARVALHO, T. B.; ZEN, S. A cadeia de Pecuária de Corte no Brasil: evolução e tendências. **Revista iPecege**, v. 3, n. 1, p. 85-99, 2017.
7. COLDEBELLA, A. et al. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**, 2006.

8. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa de Agronegócio. **Central de Inteligência de aves e suínos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/mundo>> Acesso em: 8 mar. 2018.
9. FALCÃO, M. M., GUSMÃO C. C. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suíno em Santa Catarina**. 2008. 170 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Faculdade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
10. KONZEN, E. A. **Dejetos de suínos fermentados em biodigestores e seu impacto ambiental como insumo agrícola**. Simpósio Goiano de Suinocultura. VII Simpósio Goiano de Avicultura e 11º Simpósio Goiano de Suinocultura. Goiânia, Goiás, 2005.
11. LIN, L. et al. **Effect of initial pH on mesophilic hydrolysis and acidification of swine manure**. Bioresource technology, v. 136, p. 302-308, 2013.
12. LIN, Lin et al. **Effect of alkaline treatment pattern on anaerobic fermentation of swine manure**. Process Biochemistry, v. 50, n. 11, p. 1710-1717, 2015.
13. MANYI-LOH, C. E. et al. Microbial anaerobic digestion (bio-digesters) as an approach to the decontamination of animal wastes in pollution control and the generation of renewable energy. **International journal of environmental research and public health**, v. 10, n. 9, p. 4390-4417, 2013.
14. OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.
15. OLIVER, A. P. M. et al. Manual de treinamento em biodigestão. Salvador, Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID): Winrock Internacional. 22 p., 2008.
16. ORRICO, A. C. A. et al. **Co-digestão anaeróbia de dejetos de suínos e níveis de inclusão de óleo de descarte**. Engenharia Agrícola, v. 35, n. 4, 2015.
17. JÚNIO, O. P. A. M.; ORRICO A. C. A.; JÚNIO L. J. **Potencial de produção de biogás remanescente nos efluentes de biodigestores abastecidos com dejetos de suínos, com e sem separação da fração sólida, e conduzidos sob diferentes tempos de retenção hidráulica**. Engenharia Agrícola, p. 679-686, 2009.
18. ROHSTOFFE, F. N. Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização. Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha, 2010.
19. SANTOS, P. et al. Guia técnico de biogás. **Centro para a Conservação de Energia**, p. 101-109, 2000.
20. SCARASSATI, D. et al. Tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos. **III Fórum de Estudos Contábeis**, 2003.
21. ZHANG, T et al. Influence of initial pH on thermophilic anaerobic co-digestion of swine manure and maize stalk. **Waste management**, v. 35, p. 119-126, 2015.
22. ZHANG, W. et al. Batch anaerobic co-digestion of pig manure with dewatered sewage sludge under mesophilic conditions. **Applied energy**, v. 128, p. 175-183, 2014.
23. ZHOU, J. et al. Biogas production and microbial community shift through neutral pH control during the anaerobic digestion of pig manure. **Bioresource technology**, v. 217, p. 44-49, 2016.

“

# Produção do etanol lignocelulósico proveniente da bananicultura: métodos de pré- tratamento utilizados

- I Isaac Anderson Alves de **Moura**  
UFCG
- I Joelda **Dantas**  
UFPB
- I Nyara Aschoff Cavalcanti **Figueirêdo**  
UFPB
- I Ingrid Lélis Ricarte **Cavalcanti**  
UFPB
- I Marta Célia Dantas **Silva**  
UFPB

# RESUMO

A busca por alternativas viáveis de atividades que geram menos impactos a natureza já é uma realidade vivenciada pela sociedade, uma dessas possibilidades são as fontes de energias renováveis, contando com recursos que se regeneram ou que se mantêm ativos permanentemente, divididas em vários tipos das quais podemos citar a biomassa, a eólica, a hídrica, a solar, a geotérmica, a das ondas e a das marés. Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre os processos de pré-tratamento utilizados para produção de bioetanol a partir da biomassa proveniente da bananicultura. Analisando as vantagens e desvantagens dos métodos e possivelmente diante da revisão, sugerir uma possível otimização dos processos de conversão. Os estudos realizados mostraram alguns métodos de pré- tratamento, podendo ser tratamentos alcalinos e ácidos, dos quais os tratamentos alcalinos foram considerados ótimos para deslignificação. Outras formas são utilizadas, como a explosão de vapor. A literatura reporta que o pré-tratamento com NaOH diluído para processar o substrato lignocelulósico (SLC), é suficiente para quebrar as cadeias celulósicas. No entanto, existem vários processos de pré-tratamento para a produção do etanol proveniente da bananicultura.

**Palavras-chave:** Biomassa, Bioetanol, Banana.

## INTRODUÇÃO

O homem na busca pelo desenvolvimento econômico vem causando alterações ao meio ambiente. Estas mudanças geram um desequilíbrio como o crescimento da população e das cidades. A atuação do homem junto à natureza está ficando limitada em função do próprio espaço e recursos. A busca por alternativas viáveis de atividades que geram menos impactos a natureza já é uma realidade vivenciada pela sociedade e com as perspectivas de esgotamento das reservas de petróleo e os compromissos mais sólidos com a questão ambiental, uma dessas possibilidades são as fontes de energias renováveis.

Para Miola et al. (2020) com o parâmetro de consumo da população, os produtos tendem a ser despojados antes do fim de seu ciclo de vida, sendo levados aos lixões e aterros. Uma vez que a falta de reaproveitamento desses resíduos afeta a vida útil dos aterros, os estudos para reutilização de resíduos sólidos urbanos estão cada vez mais frequentes, buscando soluções inteligentes para um futuro sustentável.

As fontes renováveis de energia inserem-se na demanda energética, em que suas fontes são capazes de manterem-se disponíveis durante um longo prazo, contando com recursos que se regeneram ou que se mantêm ativos permanentemente. Utilizar a biomassa para produção de bioetanol torna-se uma alternativa bastante interessante, uma vez que o resíduo será aproveitado como fonte de matéria prima para conversão em energia (PENA, 2014).

Assim, a energia oriunda da biomassa se insere perfeitamente dentro da abordagem relacionada às considerações econômicas. Dentre as inúmeras fontes alternativas de energia, a que é proveniente da biomassa lignocelulósica tem sido muito pesquisada, especialmente pelo seu potencial de produzir biocombustíveis, que equivalem a uma fração significativa do volume de petróleo hoje extraído no mundo. Os biocombustíveis são combustíveis obtidos a partir da biomassa lignocelulósica por meio de diferentes processos bioquímicos para produção do bioetanol, produtos químicos, biogás e biofertilizantes (EICHLER et al., 2015).

Biomassa é todo recurso renovável proveniente da matéria orgânica que pode ser utilizada como fonte de energia. De uma maneira geral, o aproveitamento da biomassa pode ser feito de forma direta, como na combustão em fornos e caldeiras, ou de forma indireta através de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação), e de processos biológicos (JONER et al., 2012).

Segundo Nunes et al. (2013) os materiais lignocelulósicos são formados por estruturas duras e fibrosas, compostas principalmente pelos polissacarídeos celulose e hemicelulose (cerca de 70% da massa seca), acompanhada por outra macromolécula, formada por álcoois aromáticos, a lignina, aos quais se encontram unidos por ligações covalentes e de hidrogênio.

Entre os resíduos gerados na agricultura encontra-se a biomassa da bananicultura. As condições de produção, industrialização e comercialização da banana resultam em

grande quantidade de matéria vegetal, tanto em termos de resíduos acumulados quanto de frutos rejeitados. A produção de bioetanol a partir da biomassa da bananicultura torna-se um processo bastante atraente. Além de permitir a criação de uma fonte alternativa e renovável de energia e de contribuir com a redução de resíduos no meio ambiente, a geração de energia pode agregar valor à matriz produtiva da fruta reduzindo assim o risco de perdas provocadas pelas oscilações do seu preço no mercado (SOUZA et al., 2011).

As bananas são classificadas como as principais culturas em termos de produção e comercialização entre as frutas tropicais. A produção mundial de banana atingiu, em 2018, aproximadamente 115,7 milhões de toneladas. Os quatro maiores produtores foram: Índia com 30,8 milhões de toneladas, China com 11,2 milhões, Indonésia com 7,2 milhões e Brasil com 6,7 milhões de toneladas (ABRAFRUTAS, 2020).

De acordo com Moura et al. (2020) levando em consideração a quantidade de resíduo agroindustrial gerada proveniente da bananicultura, é de grande importância ambiental buscar formas para destiná-lo e aproveitá-lo. Uma das possibilidades, por exemplo, é o aproveitamento dessa biomassa para obtenção de etanol, acarretando em uma melhoria da qualidade ambiental, impedindo que a mesma seja descartada em aterros sanitários, não causando nenhum malefício à sociedade.

O planeta se depara, com a perspectiva de um significativo aumento na demanda por etanol. Para evitar que haja o limite da oferta ou a competição pelo uso da terra, torna-se necessário investir no desenvolvimento de tecnologias de segunda geração de produção de etanol. Essa nova geração representa uma alternativa para o uso energético da biomassa, apresentando vantagens ambientais e econômicas, por ser o etanol produzido a partir de Fonte de material lignocelulósico presente em resíduos de origem vegetal (PACHECO, 2011).

O etanol é um líquido incolor, inflamável e volátil, com uma fórmula molecular de  $C_2H_6O$ . Tem massa molar de 46,07 g/mol, densidade de 0,789g/cm<sup>3</sup>, pontos de fusão de -114 °C e ebulição de 78,37°C. É amplamente utilizado como solvente, combustível e como matéria-prima para a produção de outros produtos químicos que têm ampla aplicação no setor. Também é consumido como bebida alcoólica, para uso doméstico, aquecimento, e aplicado como um antisséptico. É produzido a partir da hidratação de etileno e fermentação de açúcares, amido, materiais lignocelulósicos, ou produção de etanol à base de hidrocarbonetos (DANMALIKI et al., 2016).

As pesquisas para otimizar a produção do etanol de segunda geração têm se intensificado. A utilização de vários tipos de biomassa é estudada e uma delas é a proveniente da bananicultura. A biomassa, por ser uma matéria insolúvel, é necessária a realização do pré- tratamento, hidrólise, fermentação e destilação. O pré-tratamento é um processo crucial para a otimização da produção, pois prepara a biomassa e favorece a quebra das estruturas

complexas e desta forma, facilita a conversão da matéria em açúcar fermentescível. Nessa circunstância, a escolha do método de pré-tratamento pode garantir a viabilidade de comercialização e um alto rendimento desse biocombustível.

## OBJETIVO

Realizar uma revisão da literatura sobre os processos de pré-tratamento utilizados para produção do bioetanol a partir da biomassa proveniente da bananicultura.

## MÉTODOS

A revisão bibliográfica enfoca pesquisas relevantes do pré-tratamento da biomassa advinda da bananicultura e a análise desta, poderá gerar evidências positivas na escolha do pré- tratamento mais eficaz. A pesquisa foi realizada por meio da seleção de artigos científicos publicados em periódicos da capes utilizando a base de dado do *Web of Science*, com os termos descritores: “biomassa”, “bioetanol” e “banana.” A pesquisa bibliográfica ocorreu durante o período do dia 16 de abril de 2018 até a 31 de janeiro de 2021.

## RESULTADOS

No primeiro momento da pesquisa, foi selecionado a área da pesquisa, sendo selecionada engenharias, seguindo a escolha da subárea que para esta opção foram selecionadas todas as bases desta área de conhecimento. Posteriormente a pesquisa foi realizada utilizando a palavra-chave biomassa e limitando a busca de 2010 ao ano de 2018, foram encontrados 157.171 artigos. A busca foi refinada para bioetanol diminuindo para 4.450, seguindo de um novo refinamento com a palavra banana, foram encontrados 29 artigos, conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Busca na base de dados *web of Science*

| ÁREA DE PESQUISA      |                                           | PALAVRA CHAVE |           |        |
|-----------------------|-------------------------------------------|---------------|-----------|--------|
|                       |                                           | BIOMASSA      | BIOETANOL | BANANA |
|                       |                                           |               |           |        |
| ÁREA DO CONHECIMENTO: | SUBÁREA:                                  |               |           |        |
| ENGENHARIAS           | TODAS AS BASES DESTA ÁREA DE CONHECIMENTO | 157.171       | 4.450     | 29     |

## DISCUSSÃO

Ingale, Joshi e Gupte (2014) pesquisaram pseudocaule da bananeira, foi realizado tratamentos alcalinos (5% de biomassa vegetal com NaOH mol L<sup>-1</sup> durante 18 horas à temperatura ambiente) foi considerado ótimo para deslignificação. Com o pré-tratamento realizado para favorecer a ruptura da estrutura lignocelulósica, foi observado que a composição química do pseudocaule da bananeira apresenta aproximadamente 2,5 e 3,4% de lignina; 19,3 e 24,4% de hemicelulose; 30,3 e 35,2% de celulose e 7,3 e 10,7% de cinza. Quanto à composição química do pseudocaule Ferreira (2015) identificou por meio do pré-tratamento alcalino uma fração de lignina 10% e 25% além de mostrar que essa não está relacionada a moléculas simples de açúcar, não sendo pretendida, pois, para a produção de bioetanol por rotas fermentativas. Por sua vez, a fração hemicelulósica representando 15% e 45% do material lignocelulósico seco, já a estrutura bioquímica da fração celulósica representou 40% e 60% da matéria seca.

Thakur et al. (2013) mostram em suas pesquisas que o pré-tratamento químico emprega produtos químicos, como ácido e base. O objetivo do pré-tratamento de substratos é favorecer a quebra da estrutura cristalina de micro e microfibrilas para liberar cadeias poliméricas de celulose e hemicelulose e modificar o tamanho dos poros para torná-los acessíveis ao

ataque enzimático. Foram realizados dois pré-tratamentos químicos anteriores à hidrólise enzimática e fermentação. Para isso, uma suspensão de 10% de biomassa proveniente do caule da banana foi incubada em NaOH 1M ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5M à temperatura ambiente por 24 h. Foram obtidos os seguintes resultados, 49,2, 8,5 e 49,5% de remoção de lignina, celulose e matéria seca, respectivamente, em pré-tratamento alcalino, enquanto 16,2% de remoção de hemicelulose foi obtida usando pré-tratamento ácido. Neste sentido, a pesquisa dos métodos utilizados no pré- tratamento de estruturas lignocelulósicas, o método alcalino foi o mais eficaz na ruptura das ligações celulósicas, favorecendo assim, a conversão dessas estruturas em açúcares fermentáveis para posterior fermentação utilizando a levedura do tipo *S. cereviceae*. Os autores afirmam que o tratamento com ácido diluído não remove a lignina do substrato completamente, mas modificar a ligação lignina-carboidrato.

Ferreira (2015) evidencia que a principal função do pré-tratamento da biomassa lignocelulósica é retirar a lignina e a hemicelulose, diminuir a cristalinidade da celulose e aumentar a porosidade da biomassa em estudo. Além de otimizar a formação de açúcares por hidrólise, evitar a decomposição de carboidratos, evitar a formação de inibidores para a hidrólise subsequente e a fermentação, aliado a viabilidade econômica.

Nisha et al. (2017) explicam a estratégia de desenvolver hidrolisado rico em mono-açúcares a partir do substrato lignocelulósico (SLC) para a produção do etanol usando *Clostridium thermocellum*. Essa pesquisa mostra que os pré-tratamentos, como uma explosão de vapor, ácido / enzima ou em combinações, são usados para a remoção de lignina, bem como para a sacarificação do SLC. A amostra seca foi pré-tratada com 250 mL de solução aquosa de NaOH a 1% por 30 minutos a 121 °C. Os SLC tratados foram neutralizados com repetidas lavagens com água destilada e seca em 50 °C e resfriado em dessecador até atingir a massa constante. Esse método de pré-tratamento proporcionou um teor de celulose de (53,7 ± 1,7%). De acordo com o estudo de Padoan et al. (2014) no pré-tratamento da polpa e cascas da banana, foi possível realizar o experimento sem tratamento químico, utilizando os seguintes procedimentos. Cortou previamente as amostras em tamanhos de 1 a 2 cm de comprimento, triturou em liquidificador doméstico com adição de água destilada para uma concentração final de 500 g L<sup>-1</sup> de massa úmida de substrato, para a massa seca obteve 149,6 g L<sup>-1</sup> de massa seca e para a polpa e 57,0 g L<sup>-1</sup> para as cascas.

No trabalho desenvolvido por Souza et al. (2012) o método de pré-tratamento descrito foi realizado em duas séries de ensaios, cada uma contendo dezoito ensaios de pré-tratamento para a polpa da banana. Nos dois casos foi utilizado, como referência, o resíduo *in natura*, sob temperatura ambiente e sem adição de ácido. Utilizaram-se como reatores, frascos Erlenmeyer de 250 mL, contendo 100 mL de volume e biomassa na concentração de 250 g L<sup>-1</sup> em base úmida. Os ensaios nas temperaturas de 100 °C e 120 °C foram conduzidos em

autoclave a vapor e a 90°C. O procedimento desenvolvido obteve rendimento de 26% em base úmida. Com a ação do ácido sulfúrico o valor do rendimento foi de 34,10%. Resultado referente ao teor de açúcar que resulta da transformação da celulose em glicose.

Just et al. (2015) usando um método mais simples no pré-tratamento, secou previamente o pseudocaule de bananeira *Musa cavendishii* a 60 °C durante 24 h, moendo em moinho de facas até as partículas atingirem tamanhos menores que 0,6 mm, e após, submetido à hidrólise ácida. Através do procedimento realizado verificou-se a presença de açúcar que posteriormente foi convertido em etanol pela fermentação, confirmando a eficiência do método de pré- tratamento.

## CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados permitiram a avaliação da etapa de pré-tratamento de resíduos da bananicultura para produção de etanol. O pré-tratamento com NaOH diluído para processar o substrato lignocelulósico (SLC), foi suficiente para quebrar as cadeias celulósicas. Verificou-se que todos os métodos reportados obtiveram resultado positivo levando em consideração o objetivo do pré-tratamento que tem como função a quebra das ligações complexas da matéria orgânica, facilitando os procedimentos seguintes, contribuindo para um maior rendimento do produto final.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ABRAFRUTAS - Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. Banana é uma fruta de sucesso, 2020. Disponível em: < <https://abrafrutas.org/2020/05/15/banana-e-uma-fruta-de-sucesso/#>>. Acesso em 31 de Janeiro de 2021.
2. DANMALIKI, G. I.; MUHAMMAD, A. M.; SHAMSUDDEEN, A. A.; USMAN, B. J. Bioethanol Production from Banana Peels. **IOSR Journal of Environmental Science Ver. II**, v. 10, n. 6, p. 2319–2399, 2016.
3. EICHLER, P.; SANTOS, F.; TOLEDO, M.; ZERBIN, P.; SCHMITZ, G.; ALVES, C.; RIES, L.; GOMES, F. Biomethanol Production via Gasification of Lignocellulosic Biomass. **Química Nova**, v. 38, n. 6, p. 828–835, 2015.
4. FERREIRA, J. Etanol de segunda geração: definição e perspectivas. **Rev. Conexão Eletrônica – Três Lagoas**, MS – Volume 12 – Número 1 – Ano 2015.
5. INGALE, S; JOSHI, S. J; GUPTE; A. Production of bioethanol using agricultural waste: Banana pseudo stem. **Sociedade Brasileira de Microbiologia**, 14 de março de 2014.
6. JONER, G. C; BATTISTI, J. F; RICCI, M. R; CHER, N. C. S. Obtenção de Etanol a Partir da Biomassa de Frutas. **XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Bento Gonçalves, RS, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2012.

7. JUST, L.P; LIEBL, G.F; MONTAGNOLI, M.S; MARANGONI, C; SELLIN, N; SOUZA, O. Produção de bioetanol de pseudocaule de bananeira por diferentes espécies de micro- organismos. **IV Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 05 a 07 de maio de 2015.
8. MIOLA, B.; FROTA, M. M. M.; OLIVEIRA, A. G. De; UCHÔA, K. M.; FILHO, F. de A..L. Aproveitamento energético dos resíduos de cascas de coco verde para produção de briquetes. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, p. 627-634, Aug. 2020. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-1522020000400627&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-1522020000400627&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 31 de Janeiro de 2021.
9. MOURA, I. A. A. de; DANTAS, J.; CAVALCANTI, I. L. R.; LIMA, M. M. de; SILVA, M. C. D. Biomassa proveniente da casca da banana *Musa sapientum*: pre-tratamento e hidrólise ácida para análise da viabilidade na produção de bioetanol. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 1975-1987, jan. 2020.
10. NISHA, M; SARANYAH, K; SHANKAR, M; SALEENA, L. M. Enhanced saccharification of lignocellulosic agricultural biomass and increased bioethanol titre using acclimated *Clostridium thermocellum* DSM1313. **Original Article**, 3 Biotech, 2017.
11. NUNES, R. M.; GUARDA, E. A.; SERRA, J. C. V.; MARTINS, Á. A. Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil. **Liberato**, v. 14, n. 22, p. 113–123, 2013.
12. PACHECO, T. F. Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração? **Circular Técnica**, n. 04. p. 1-06, 2011.
13. PADOAN, M. R; HOPFNER, S. A; MONTAGNOLI, M. S; SELLIN, N; MARANGONI, C; SOUZA, O. Produção de etanol por levedura floculante empregando como substrato os resíduos polpa e cascas de banana madura. **COBEC. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2014.
14. PENA, R. F. A. “Fontes renováveis de energia”; **Brasil Escola**. 2014. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm>>. Acesso em 31 de maio de 2018.
15. SOUZA, O; SCHULZ, M. A; FISCHER, G. A. A; WAGNER, T. M; SELLIN, N. Bioetanol de bananas, polpa e cascas. **II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais**. 2011.
16. THAKUR, S; SHRIVASTAVA, B; INGALE, S; KUHAD, R. C; GUPTE, A. Degradation and selective ligninolysis of wheat straw and banana stem for an efficient bioethanol production using fungal and chemical pretreatment. **Original Article**, 3 Biotech, 2013.

“

# Qualidade de briquetes produzidos a partir do mix de resíduo agroindustrial com eucalipto

- I Bianca Moreira **Barbosa**  
UFV
- I Humberto Fauller de **Siqueira**  
UFV
- I Carla Priscilla Távora **Cabral**  
UEAP
- I Welliton Lelis **Cândido**  
UFV
- I Carlos Miguel Simões da **Silva**  
UFV
- I Angélica de Cássia Oliveira **Carneiro**  
UFV
- I Alex Ramos **Barbosa**  
UFV

# RESUMO

A seleção ou escolha de resíduos agroindustrial para produção de briquetes com diferentes aplicações tanto domésticas, quanto industrial depende das propriedades combustíveis dos materiais. Neste trabalho, foram realizadas investigações sobre as propriedades de briquetes produzidos a partir de resíduos de milho e eucalipto, com vista a descobrir qual dos dois resíduos em análise pode ser usado de forma mais eficiente e racional como combustível. Os briquetes foram produzidos em briquetadeira laboratorial, usando a temperatura de 120°C. O tempo de compactação e resfriamento foi de 5 minutos e pressão de 1200 PSI. Determinou-se a carga de ruptura, a densidade real aparente, densidade energética, a composição química imediata dos briquetes e as propriedades comprimento e diâmetro. Os resultados demonstraram que o resíduo de milho apresenta potencial de utilização tanto na mistura com o eucalipto, quanto como resíduo puro na produção dos briquetes e que apresentou certa superioridade em relação ao eucalipto para a produção de briquetes, por apresentar melhores valores em algumas características avaliadas. A adição do resíduo de milho ao processo produtivo implica na redução de custos de matéria-prima e agrega valor ao resíduo agrícola, com isso, quantidades semelhantes ao tratamento com a proporção de 75% eucalipto e 25% resíduo de milho, pode ser uma alternativa viável tecnológica e economicamente à produção de briquetes.

**Palavras-chave:** Briquetes, Resíduos, Eucalipto, Milho.

## INTRODUÇÃO

Entre os vários tipos de biomassa, resíduos lignocelulósicos tornaram-se uma das opções mais promissoras. Alguns resíduos agrícolas, tais como a madeira pode ser utilizada diretamente como combustíveis. No entanto, a maioria deles não é adequada porque aparentemente são volumosos, irregulares e têm um baixo potencial energético. Todas essas características tornam difíceis de manusear, armazenar, transportar e utilizar em sua forma bruta. Deste modo, existe a necessidade de submetê-las a processos de conversão, a fim de atenuar estes problemas. Uma das soluções promissoras para estes problemas é a aplicação da tecnologia de briquetagem (Wilaipon, 2007).

A tecnologia pode ser definida como um processo de densificação para melhorar as características de manuseamento de matérias-primas e aumentar a densidade energética da biomassa. Nesse contexto, os briquetes podem ser uma alternativa importante para transformação da biomassa em produto de maior valor agregado utilizado para fins energéticos. O briquete é uma “lenha ecológica” que é resultado do processo de secagem e prensagem de serragem ou pó dos mais diversos tipos de madeira e de resíduos agroflorestais e industriais. Durante a briquetagem, os materiais lignocelulósicos são densificados utilizando na maioria das vezes temperatura e pressão, obtendo um material com homogeneidade granulométrica, maior densidade e resistência à geração de finos. De acordo com Chen *et al.* (2009), o aumento da temperatura faz com que a lignina se torne “plasticizada” e atue como ligante natural das partículas durante a compactação.

Briquetes produzidos em condições diferentes foram relatados para ter diferentes características e destinação. Essas características também são encontradas para ser fortemente afetada pelas propriedades das matérias-primas. Se a biomassa ou resíduos estão a ser utilizados de forma eficiente e racional como combustível, devem ser caracterizados para determinar parâmetros como o teor de umidade, teor de cinzas, densidade, material volátil e pode calorífico entre outros. O resultado destas determinações indica os atributos positivos e negativos dos briquetes de resíduos lignocelulósicos.

Entre os atributos positivos de briquetes de resíduos lignocelulósicos estão o baixo teor de umidade base seca, a força de esmagamento elevada, de alta densidade, a propagação da chama lenta, baixo teor de cinzas e valor de aquecimento substancial. As propriedades do combustível de briquetes de resíduos lignocelulósico variam de um tipo para outro, de modo que briquetes de eucalipto e resíduo de milho são esperados para variar em diversas propriedades. Briquetes podem ser feitos a partir de grandes variedades de resíduos agroindustriais, a seleção dos melhores briquetes tem que ser feita com base nos que possuem as melhores propriedades combustíveis ou atributos positivos. Isto irá percorrer um longo caminho para garantir o uso criterioso desses resíduos.

Diante da importância em diversificar a matriz energética brasileira com introdução de fontes renováveis de energia e de potencializar o uso de biomassas florestais e agrícolas para redução de custos, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar as características tecnológicas de briquetes produzidos com um mix de resíduo lignocelulósicos (eucalipto e milho). Isto foi seguido de determinação das propriedades físicas, químicas e de combustão dos briquetes produzidos. Além disso, os resultados obtidos foram comparados, de modo a determinar qual dos dois resíduos iria produzir melhores briquetes.

## METODOLOGIA

### Propriedades das partículas *in natura*

A umidade base seca das partículas foram determinadas em uma balança determinadora de umidade, modelo MB35 Halogen a fim de obter a umidade de trabalho para produção dos briquetes. Segundo Paula *et al.* (2011), a umidade ideal da matéria-prima para fins de densificação da biomassa deve estar entre 8 e 15% para obter sucesso na aglomeração das partículas, pois facilita a plasticização da lignina e evita possíveis fraturas nos briquetes produzidos.

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi determinado seguindo a norma ABNT NBR 8633 (1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática. Com a obtenção do PCS, foi possível calcular o poder calorífico inferior, através da equação 1:

$$PCI = PCS - (600 \times (9 \times \frac{H}{100})) \text{ Equação (1)}$$

Onde:

PCI = poder calorífico inferior (kcal/kg)

PCS = poder calorífico superior (kcal/kg)

H = teor de hidrogênio em cada tipo de material

Com a obtenção do PCI, foi possível calcular também o PCU, conforme equação 2:

$$PCU = PCI \times (1 - U) - (600 \times U) \text{ Equação (2)}$$

Onde:

PCU = poder calorífico útil (kcal/kg)

PCI = poder calorífico inferior (kcal/kg)

U = umidade base seca

## Produção de briquette

A massa de partículas utilizada para produzir os briquetes foi determinada em função do material de menor densidade, no caso o eucalipto, sendo usada uma massa de 16g de partículas por briquete. A partir disso, produziram-se briquetes com a mistura das duas biomassas, eucalipto e milho, sendo cinco tratamentos com cinco repetições, totalizando 25 briquetes. Na tabela 2 exprime o plano experimental realizado.

**Tabela 1. Plano experimental**

| Tratamentos | Composições                    |
|-------------|--------------------------------|
| T1          | 100% de Eucalipto              |
| T2          | 75% de Eucalipto, 25% de Milho |
| T3          | 50% de Eucalipto, 50% de Milho |
| T4          | 25% de Eucalipto, 75% de Milho |
| T5          | 100% de Milho                  |

Os briquetes foram produzidos em briquetadeira laboratorial da marca Lippel, modelo LB-32. Realizou-se a compactação das partículas à temperatura de 120°C, a pressão de 1200 PSI, com tempo de prensagem e de resfriamento de 5 minutos, totalizando 10 minutos para cada composição briquetada. Ressalta-se que a pressão, a temperatura e os tempos de prensagem e resfriamento foram determinados de acordo com testes preliminares. As condições ideais foram definidas a partir do momento em que se obtiveram briquetes sem rachaduras ou fissuras. A escolha da temperatura foi determinada em função da plasticização da lignina, que contribui para a aglomeração das partículas e consequentemente proporciona o aumento da resistência.

## Avaliação das propriedades dos briquettes

A densidade relativa aparente foi determinada pesando os briquetes e em seguida imergindo os briquetes em mercúrio e obtendo o volume deslocado seguindo o método da balança hidrostática descrito por Vital (1984).

A densidade energética dos briquetes foi calculada com base no poder calorífico útil, uma vez que é levado em consideração o teor de umidade da matéria-prima utilizada para produção dos mesmos. Dessa forma, calculou-se a  $DE_{PCU}$  conforme equação 3:

$$DE_{PCU} = (DRA \times PCU) / 1 \times 10^6 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$DE_{PCU}$  = densidade energética com base no poder calorífico útil (Gcal/m<sup>3</sup>)

DRA = densidade relativa aparente (kg/m<sup>3</sup>)

PCU = poder calorífico útil (kcal/kg)

O teor de umidade dos briquetes foi determinado conforme metodologia aplicada para determinação do teor de umidade, base seca, das partículas, através da balança determinadora de umidade.

Para determinação da composição química imediata, realizou-se a desintegração dos briquetes, seguidos de peneiramento para classificação, utilizando as partes que passaram pela peneira de 40 mesh e ficaram retidas na de 60 mesh. A análise química imediata foi determinada para cada briquete a fim de obter o teor de materiais voláteis, cinzas e, por diferença, de carbono fixo, conforme procedimento estabelecido na norma ASTM, D1762-84 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2001).

A fim de avaliar a estabilidade dimensional dos briquetes, realizou-se a medição do diâmetro e comprimento através de um paquímetro digital após o período de aclimação dos briquetes.

A carga de ruptura foi determinada utilizando-se uma máquina de ensaio universal (10 toneladas) a carga máxima de ruptura dos briquetes foi definida pelo *software* Pavitest madeira 2.7.0.7. Utilizou-se a metodologia adaptada da norma ABNT NBR ISO 11093-9 (ABNT, 2009), por não haver uma norma específica para briquetes.

## Análise de dados

Este experimento foi realizado através de um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 5 tratamentos e 5 repetições conforme tabela 1. A avaliação das propriedades dos briquetes foi realizada conforme tabela 2 com diferentes repetições para cada propriedade.

**Tabela 2. Propriedades dos briquetes avaliadas e o número de repetições**

| Propriedades        | Número de repetições |
|---------------------|----------------------|
| DRA                 | 5                    |
| DE <sub>pcu</sub>   | 5                    |
| UBS                 | 4                    |
| AQI (TMV, TCF, TCz) | 4                    |
| Diâmetro            | 5                    |
| Comprimento         | 5                    |
| Carga de ruptura    | 4                    |

Com a posse dos dados, estes foram submetidos ao teste de Lilliefors, para teste de normalidade, e Cochran, para teste de homogeneidade das variâncias. Em seguida prosseguiu-se com a análise de variância e quando verificado diferença significativa entre os tratamentos pelo Teste de F, aplicou-se o Teste de Tukey em nível de 5% de significância. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o *software* Statistic v.10 (StatSoft, 2011).

## RESULTADOS

### Propriedades da Biomassa

A partir dos resultados obtidos para algumas propriedades da biomassa, observou-se que o teor de umidade para as partículas de eucalipto foi, em média, de 9,07% e das partículas de milho foi, em média, de 8,82%. Desta forma, o teor de umidade adequa-se ao intervalo sugerido por demais autores para obter sucesso na produção de briquetes, sendo este variando entre 8-15% (Paula et al., 2011)

Observou-se que o valor de PCS para as partículas do milho foi, em média, 4576,96 kcal.kg<sup>-1</sup> e 4509,50 kcal.kg<sup>-1</sup> para as partículas de eucalipto. A partir dessa propriedade foi possível obter os valores de PCI, onde o teor de hidrogênio das partículas foi de 5,1 e 6,0% para milho e eucalipto, respectivamente. O PCI do milho foi de 4301,56 kcal.kg<sup>-1</sup> e 4185,50 kcal.kg<sup>-1</sup> para o eucalipto. Já os valores de PCU foram de 3811,41 kcal/kg para as partículas do milho e de 3561,83 kcal/kg para o eucalipto.

### Propriedades dos briquetes

A partir dos resultados obtidos para algumas propriedades dos briquetes, observou-se que somente para as propriedades diâmetro e umidade base seca que não houve diferença estatística entre os tratamentos avaliados. Os elevados valores encontrados para coeficiente de variação experimental para algumas propriedades podem ser relacionados devido à comparação entre culturas florestais e agrícolas (Tabela 3 e 4).

**Tabela 3. Resumo da análise de variância para algumas propriedades dos briquetes**

| FV         | GL | Quadrado médio |                                          |                    |                  |
|------------|----|----------------|------------------------------------------|--------------------|------------------|
|            |    | DRA            | DE <sub>PCU</sub> (Gcal/m <sup>3</sup> ) | Diâmetro (mm)      | Comprimento (mm) |
| Tratamento | 4  | 23624*         | 0,6478*                                  | 0,01 <sup>ns</sup> | 4,377*           |
| Erro       | 20 | 1652           | 0,0228                                   | 0,01               | 1,15             |
| Média      |    | 1090           | 4,03                                     | 32,47              | 17,47            |
| CVe(%)     |    | 6,68           | 8,85                                     | 0,29               | 7,44             |

FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental; DRA: densidade real aparente; DE<sub>PCU</sub>: densidade energética com base no poder calorífico útil; \*: significativo a 5% de pelo Teste F; <sup>ns</sup>: não significativo a 5% pelo Teste F.

**Tabela 4. Resumo da análise de variância para algumas propriedades dos briquetes**

| FV         | GL | Quadrado médio      |         |         |           |                                         |
|------------|----|---------------------|---------|---------|-----------|-----------------------------------------|
|            |    | UBS (%)             | TMV (%) | TCF (%) | TCz (%)   | Carga de Ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
| Tratamento | 3  | 0,526 <sup>ns</sup> | 14,4*   | 11,383* | 0,176324* | 984,1*                                  |
| Erro       | 10 | 0,310               | 1       | 0,953   | 0,003285  | 69,1                                    |
| Média      |    | 9,03                | 86,73   | 12,73   | 0,54      | 88,75                                   |
| CVe(%)     |    | 6,75                | 2,26    | 13,93   | 36,74     | 18,23                                   |

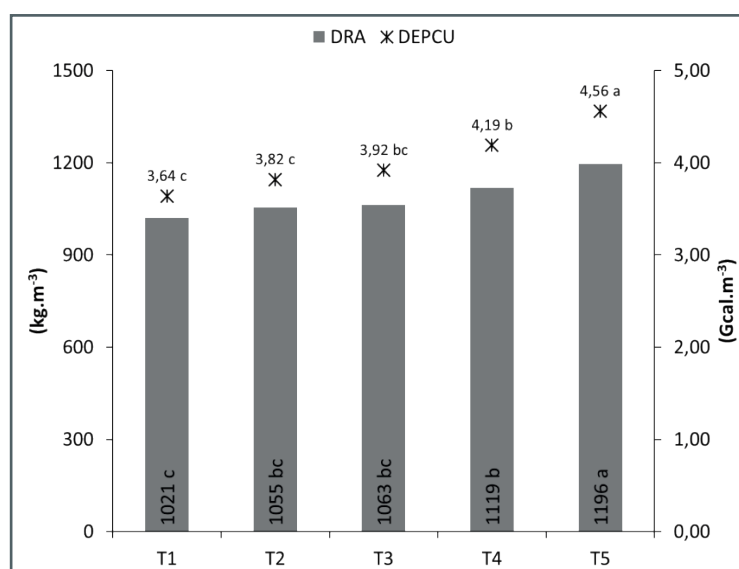
FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental; UBS: umidade base seca; TMV: teor de materiais voláteis; TCF: teor de carbono fixo; TCz: teor de cinzas; \*: significativo a 5% de pelo Teste F; <sup>ns</sup>: não significativo a 5% pelo Teste F.

## DISCUSSÃO

A densidade energética é uma importante propriedade a ser avaliada nos combustíveis de biomassa, bem como a quantidade de água presente. A umidade do combustível é a principal responsável pela redução do seu poder calorífico, pois a etapa de secagem é onde ocorre o maior consumo de energia, devido à evaporação da água. A densidade aparente também deve ser considerada na avaliação da biomassa para a produção de bioenergia, pois maiores densidades indicam mais massa disponível para um mesmo volume considerado e maior densidade energética (Brand, 2010).

Na Figura 1, observou-se que a densidade (DRA) dos briquetes aumentou com a adição do resíduo de milho devido a esse material apresentar em sua composição frações de amido, lipídios e proteínas (Paes, 2006). Segundo Kaliyan e Vance Morey (2009) esses componentes favorecem a compactação da biomassa. O tratamento 5 foi o que possuiu a maior DRA, em comparação como o T1. Evidenciando que a adição do resíduo de milho, contribuiu para o aumento da densidade relativa aparente e consequentemente, aumentou sua densidade energética.

**Figura 1.** Valores médios para densidade relativa aparente (DRA) e densidade energética com base no poder calorífico útil (DEPCU) dos briquetes



Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

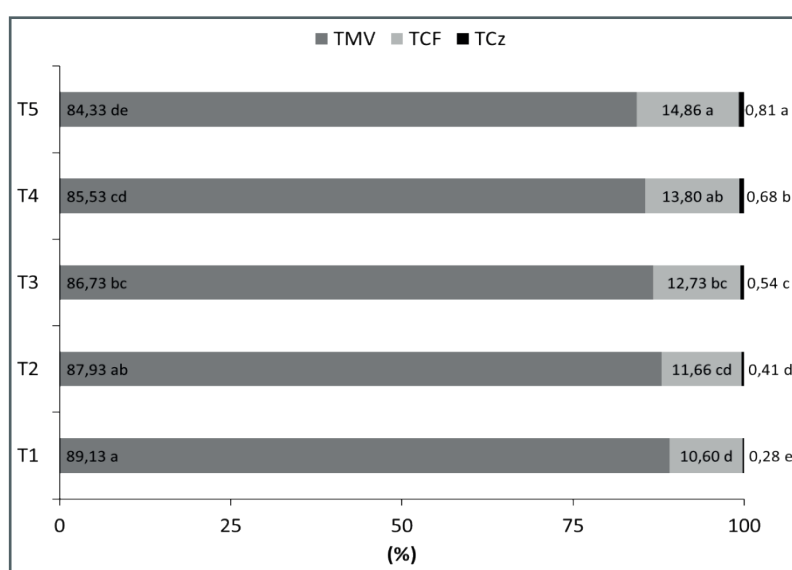
A densidade energética com base no poder calorífico útil ( $DE_{PCU}$ ) dos briquetes apresentou os maiores valores para os tratamentos 4 e 5, sendo o tratamento 1 o que apresentou menor  $DE_{PCU}$ . Com a adição do resíduo de milho aos briquetes, foi possível observar um aumento da  $DE_{PCU}$  (Figura 1) evidenciando a importância da briquetagem no aproveitamento de resíduos lignocelulósicos para a geração de bioenergia.

Segundo Tabarés *et al.* (2000), a briquetagem de biomassa é um processo de densificação que melhora as características da biomassa residual, ou seja, proporciona um aumento da densidade energética, reduz custos com transporte e produz um combustível uniforme. O processo de briquetagem consiste na aplicação de pressão a uma massa de partículas, com ou sem adição de ligante, e com ou sem tratamento térmico posterior (Quirino e Brito, 1991).

Couto *et al.* (2004) comentaram que a baixa densidade energética da biomassa sólida, em comparação com o petróleo e o carvão mineral, resulta em custos elevados de transporte e armazenamento. Assim, o desenvolvimento contínuo de técnicas para aumentar a concentração de energia ampliará o espectro de utilização da biomassa na transformação energética, por exemplo, a briquetagem, técnica pela qual é possível obter incrementos na densidade aparente, contribuindo de forma significativa para um aumento na quantidade de energia por unidade de volume.

Na análise química imediata, de acordo com a análise de variância (Tabela 4) observou-se que para todas as variáveis avaliadas houve diferença significativa a 5% de probabilidade. Na Figura 2 observa-se uma redução no teor de materiais voláteis (TMV) à medida que se aumenta a quantidade de resíduo de milho na composição dos briquetes. Variações nos TMV e o TCF referem-se principalmente a diferentes velocidades e o tempo da reação de combustão. Segundo Brand (2010) biocombustíveis com maior TMV resultam em maior velocidade de queima e menor tempo durante a combustão; já elevado TCF resulta em menor velocidade de combustão e maior tempo do processo de combustão.

**Figura 2. Valores médios para teor de materiais voláteis (TMV), teor de carbono fixo (TCF) e teor de cinzas (TCz) dos briquetes**



Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os teores de materiais voláteis variaram de 89,13% nos briquetes produzidos com apenas eucalipto (T1) e de 84,33% em briquetes produzidos com apenas o resíduo do milho (T5), mostrando uma redução de TMV com a adição do resíduo do milho nos demais tratamentos.

Os resultados para teor de carbono fixo (TCF) apresentou diferença estatística, resultando em valores médios iguais a 10,60% para o T1 e 14,86% para o T5, o que refletiu diretamente nos teores de TMV. Ressalta-se que materiais combustíveis com alto índice de carbono fixo apresentam queima mais lenta, implicando em um maior tempo de residência dentro dos aparelhos de queima, em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo (Brito e Barrichello, 1982; Santos *et al.*, 2013). A adição do resíduo de milho nos briquetes de eucalipto reduziu o teor de TMV, aumentou o teor de TCF e os teores de cinzas (TCz), o que ocasionou um efeito adverso, pois os briquetes apresentam menores propriedades combustíveis (Figura 2).

Os teores de cinzas (TCz) apresentaram valores de 0,28% a 0,81%, sendo esse teor correspondente à porcentagem de material inerte presente na amostra. Observa-se que o maior teor de cinzas foi encontrado na composição dos briquetes produzidos apenas com resíduo de milho (T5). De maneira geral, o teor de cinzas é um dos fatores, juntamente com o teor de umidade, que mais afetam negativamente o rendimento energético dos materiais sólidos combustíveis.

Na Tabela 5, observa-se que a adição do resíduo de milho aos briquetes promoveu a redução no comprimento dos mesmos, tal resultado pode ser justificado pela melhor compactação. O tratamento 1, obteve maior comprimento e o tratamento 5, o que apresentou a melhor compactação.

**Tabela 5. Valores médios para o comprimento (mm) dos briquetes estudados.**

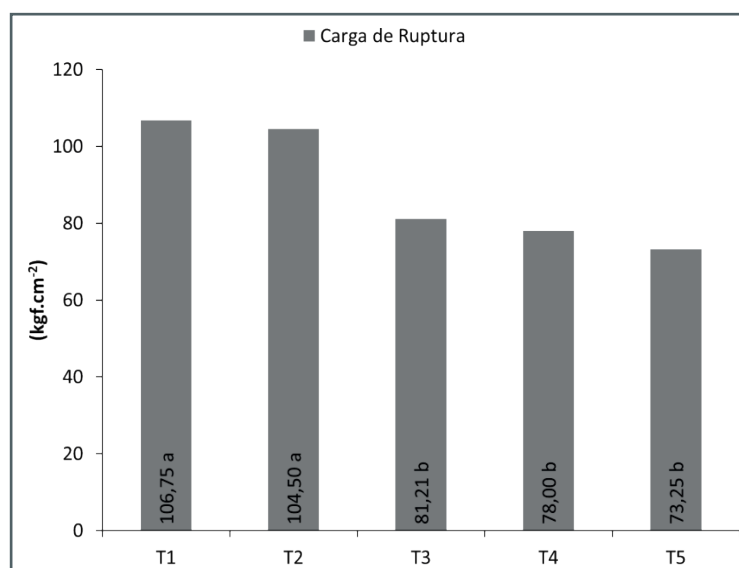
| Tratamentos | Comprimento (mm)           |
|-------------|----------------------------|
| T1          | 18,48 <sup>(0,55)</sup> a  |
| T2          | 17,83 <sup>(0,36)</sup> ab |
| T3          | 18,00 <sup>(2,11)</sup> ab |
| T4          | 16,88 <sup>(0,65)</sup> ab |
| T5          | 16,16 <sup>(0,68)</sup> b  |

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parêntesis corresponde ao desvio padrão

Na Figura 3 observa-se a carga máxima de ruptura dos briquetes, produzidos com diferentes proporções do resíduo de milho e eucalipto.

Observou-se para propriedade carga de ruptura que o aumento da quantidade de eucalipto nos briquetes resultou em materiais com maior carga de ruptura (resistência a compressão), demonstrado pelo tratamento 2; já proporções iguais de eucalipto e resíduo de milho resulta em baixa resistência a compressão (Figura 3).

**Figura 3.** Valores médios de carga de ruptura para os briquetes estudados



Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A carga de ruptura é um parâmetro que avalia os briquetes quanto ao seu manuseio, empilhamento, transporte e estocagem. A resistência do briquete à ruptura pela compressão possui boas correlações lineares com o teor de carbono fixo e com o teor de cinzas, sugerindo-se que deve haver aumento de resistência do briquete com redução do teor de cinzas e, conseqüentemente, aumento do teor de carbono fixo. Paula (2010), estudando briquetes de diferentes resíduos, encontrou para os resíduos de madeira valor médios de carga de ruptura equivalente a 190,23 kgf, resultado superior ao obtido neste trabalho.

## CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que o resíduo de milho apresenta potencial de utilização tanto na mistura com o eucalipto, quanto como resíduo puro na produção dos briquetes e que apresentou certa superioridade em relação ao eucalipto para a produção de briquetes, por apresentar melhores valores em algumas características avaliadas.

A adição do resíduo de milho ao processo produtivo implica na redução de custos de matéria-prima e agrega valor ao resíduo agrícola, com isso, quantidades semelhantes ao tratamento com 75% de eucalipto e 25% de milho pode ser uma alternativa viável tecnológica e economicamente à produção de briquetes.

## ■ REFERÊNCIAS

1. American Society For Testing Materials - ASTM. D1762-84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. Philadelphia: ASTM International, 2p. (2001).
2. Brand, M. A. Energia da biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 114p. (2010).
3. Brito, J.O.; Barrichelo, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização o da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: Seminário de abastecimento energético industrial com recursos florestais, 2, São Paulo, p. 101-137.(1982).
4. Chen, L. J.; Xing, L.; Hana, L.; Renewable energy from agro-residues in China: solid biofuels and biomass briquetting technology. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Oxford, U.K., v.13, n. 9, p. 2689-2695. Dec. (2009).
5. Couto, L. C.; Couto, L.; Watzlawick, L. F.; Câmara, D. Vias de valorização energética da biomassa. Biomassa & Energia, Viçosa, MG, v. 1, n. 1, p. 71-92. (2004).
6. Kaliyan, N.; Vance Morey, R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. Biomass and Bioenergy, v. 33, n. 3, p. 337-359. (2009).
7. Lima, E. A.; Silva, H. D.; Lavoranti, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17. (2011).
8. Paes, D. C. M. Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho. Circular técnica 75. Sete Lagoas, 2006.
9. Paula, L. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras. (2010).
10. Paula, L. E. R.; Trugilho, P. F.; Rezende, R. N.; Assis, C. O.; Baliza, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 31, n. 66, p. 103-112. (2011).
11. Quirino, W. F.; Brito, J. O. Briquetagem de resíduos lignocelulósicos. Brasília, DF: LPF/IBAMA, 18 p. (Série técnica, 13). (1991).
12. Tabarés, J.L.M.; Ortizb, L.;Granada, E., Viarc, F.P.; Feasibility study of energy use for densified lignocellulosic material (briquettes). Fuel, 79, 1229– 1237. (2000).
13. Santos, R. C.; Carneiro, A. C. O.; Pimenta, A. S.; Castro, R. V. O.; Marinho, I. V.; Trugilho, P. F.; Alves, I. C.N.; Castro, A. F. N. M.; Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte. Ciência Florestal, Santa Maria, v.23, n.2, p.491-502. (2013).
14. STATISTICA. (2010). StatSoft, Inc. version 10.0 (data analysis software system), <http://www.statsoft.com>.
15. Vital, B. R. Métodos de determinação da densidade da Madeira. Viçosa, MG: SIF,. 21 p. (SIF, Boletim Técnico, 1). (1984).
16. Wilaipon, P. "Physical Characteristics of Maize Cob Briquettes under Moderate Die Pressure". American Journal of Applied Science. 4:995-998. (2007).

“

# Síntese e quebra de emulsão óleo em água(o/a) via aquecimento e aditivação com nonilfenol polietoxilado

▮ Geraldine Angélica Silva da **Nóbrega**  
UFERSA

▮ Heithor Syro Anacleto **Almeida**  
UFERSA

▮ Diego Angelo de Araújo **Gomes**  
IFRN

# RESUMO

Durante os processos de produção de petróleo em campos maduros grande quantidade de água é produzida. Devido à turbulência durante o transporte, são formadas emulsões. As emulsões geram problemas tanto em dutos quanto na indústria, além da contaminação da água pelo despejo de resíduos da produção e do processo de extração do óleo. As emulsões O/A são naturais dos processos de extração de óleo, principalmente quando há o uso de injeção de água para recuperação do óleo. Essas emulsões podem causar corrosão em dutos de transporte e, se passarem para a refinaria, diminuem a qualidade de alguns produtos. Além dos danos causados às indústrias, a concentração de óleo presente nos resíduos industriais é regulamentada pelo CONAMA, estabelecendo uma concentração média mensal de óleo de 29 mg/L nas águas residuais e máxima diária de 42 mg/L. A metodologia utilizada neste trabalho incluiu a síntese de emulsões O/A com teor de 10% (v/v) por agitação mecânica e como parâmetro de avaliação foi utilizado o frasco teste. Para o processo de separação por emulsão foram utilizados três tensoativos não iônicos em diversas concentrações juntamente com o uso de um banho termostático. Os resultados obtidos mostram a melhor a quebra de emulsão se deu para nonilfenol 1,8 OE com 50% de eficiência de separação de óleo. Conclui-se que os tensoativos utilizados podem aumentar a quebra da emulsão com o aumento da concentração, mesmo para tensoativos acima dos valores de concentração de CMC. O BHL pode ser utilizado como um fator importante para o processo de quebra.

**Palavras-chave:** Quebra de Emulsão O/A, Tensoativo não Iônico, Tratamento da Água.

## INTRODUÇÃO

Durante o processo de produção de petróleo é comum o aparecimento de água proveniente do mecanismo de recuperação secundária por injeção de água. Essa água, por apresentar elevado teor de sal em sua composição e formar emulsões com viscosidades superiores à do petróleo desidratado. Destarte, devido à turbulência durante o transporte dos resíduos dos processos acima, emulsões de água e óleo – as emulsões podem ser de água em óleo (A/O) ou de óleo em água (O/A) – são formadas, ou devido ao gradiente de pressão existentes no subsolo de onde petróleo é extraído (ARAÚJO, 2004).

Visando não apenas em evitar tais problemas é importante oferecer um destino adequado aos resíduos da produção, para aproveitar o óleo existente nas emulsões, reutilizar a grande quantidade de água usada nos processos e evitar danos gerados pelo descarte dos resíduos no meio ambiente.

Assim, muitos estudos são feitos em busca de métodos que possam realizar a quebra da emulsão. São estudados processos de quebra de emulsão através de tratamento com micro-ondas, flotação por ar dissolvido, membranas vidro, como também processos químicos que usam tensoativos para quebrar as emulsões.

Nos diversos métodos de quebra de emulsão existentes, sempre são avaliados efeitos como a temperatura e os sais presentes na emulsão. Contudo, de acordo com o método empregado, são focados outros efeitos como os tensoativos utilizados para desemulsificação, ou como em casos de uso de micro-ondas a taxa de aquecimento em função da concentração de água na emulsão. Em diversos estudos sobre quebra de emulsão, é evidente a influência da temperatura durante o processo de desemulsificação.

Por isso, o seguinte trabalho tem como objetivo realizar o processo de quebra de emulsão utilizando um agente floculante a fim de diminuir a tensão interfacial e aglutinar as gotículas de óleo, bem como usar a temperatura para favorecer a coalescência e por fim a quebra da emulsão.

## OBJETIVO

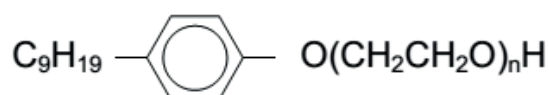
Realizar quebra de emulsão O/A de óleo bruto através da utilização de um tensoativo acompanhado pelo gradiente de temperatura. Para isso fez necessário: avaliar a influência da temperatura sobre o processo de desemulsificação, avaliar o processo de desemulsificação com a utilização de três tensoativos não-iônicos e avaliar como a presença de eletrólitos afetam o processo de desemulsificação com a utilização de diferentes tensoativos.

## MÉTODOS

### Reagentes

Os tensoativos foram fornecidos pela Oxiteno®, sendo este obtido através da reação de nonilfenol com óxido de eteno (Figura 1). Essa flexibilidade no número de óxido de eteno favorece a escolha do tensoativo para cada aplicação, pois exibem diferentes valores de BHL (balanço hidrófilo-lipófilo).

**Figura 1.** Estrutura molecular do nonilfenol etoxilado (Oxiteno®).



sendo “n” o grau de etoxilação do tensoativos.

Foram utilizados três tensoativos com etoxilação variando entre 1,8 a 6 EO (Tabela 1).

**Tabela 1.** Informações dos tensoativos

| Produto  | Descrição Química | Aparência a 25 °C | HBL CMC (g/L) |
|----------|-------------------|-------------------|---------------|
| Renex 18 | Nonilfenol 1,8 EO | Líquido           | 5,3 0,0430    |
| Renex 40 | Nonilfenol 4 EO   | Líquido           | 8,9 0,0922    |
| Renex 60 | Nonilfenol 6 EO   | Líquido           | 10,9 0,5735   |

Fonte: Oxiteno®.

Dessa maneira, a adição do tensoativos foi feita após a adição da emulsão ao tubo cônico, e em seguida foi feita a homogeneização da solução por meio de inversões.

### Métodos analíticos

Os métodos e equipamentos utilizados para preparar e quebrar a emulsão são apresentados na tabela 2.

**Tabela 2.** Métodos analíticos e equipamentos utilizados no estudo.

| Parâmetro   | Aparelho           | Fabricante/modelo |
|-------------|--------------------|-------------------|
| Agitação    | HM D200 – CE       | Hamilton Beach    |
| Pesagem     | Balança analítica  | Marte/AY220       |
| Aquecimento | Banho termostático | FANEM 116         |

### Preparo das emulsões<S>

As emulsões foram preparadas obedecendo a relação de 180 mL de água destilada e 10 mL de petróleo bruto submetidos a agitação a 16000 rpm durante 10 min. Para o preparo das emulsões com o NaCl (1,5 % em peso), o mesmo foi adicionada a emulsão preparada

anteriormente com base o procedimento descrito acima e em seguida a mistura foi submetida a 5 min de agitação a 16000 rpm.

### **Influência da temperatura e teste de garrafa**

Para avaliar a influência da temperatura durante a desmulsificação foi utilizado Banho. Um tubo cônico graduado específico para medir a quantidade de água e sedimentos foi introduzido no banho termostático, onde foram feitas aferições, com intervalo de 10 minutos, sobre a quantidade de óleo bruto separado. A faixa de temperatura utilizada durante o processo varia entre 25 a 70° C.

A avaliação da quantidade de óleo separada, consequentemente da eficiência do desmulsificante, foi feita pelo teste da garrafa a partir da utilização de um tubo cônico cilíndrico graduado, indicado na figura 2, que permite medir a quantidade de óleo separado da emulsão durante o aquecimento.

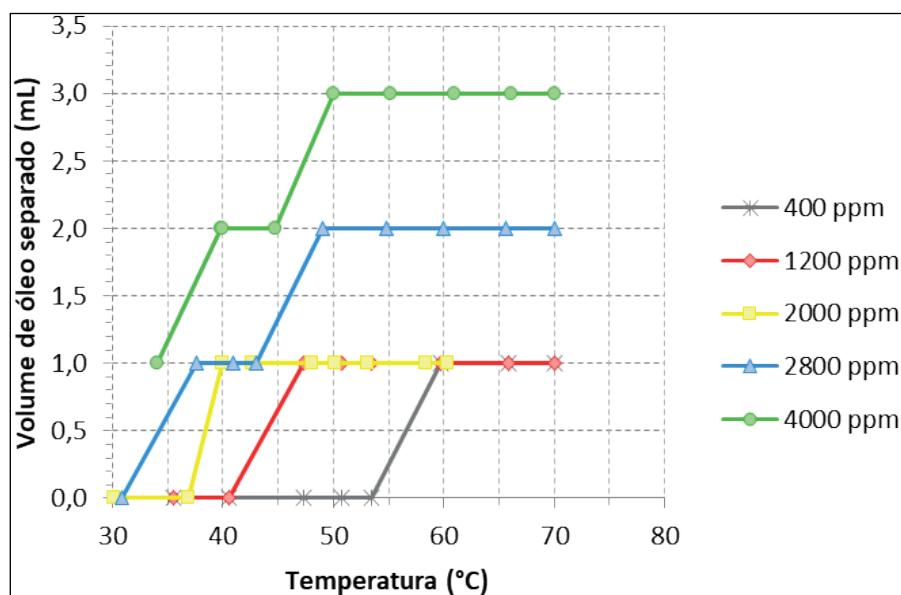
**Figura 2.** Tudo cônico graduado (ARAÚJO, 2004).



## **RESULTADOS**

A Figura 3 apresenta o volume de óleo separado da água em função do gradiente de temperatura para 5 concentrações de tensoativo Nonilfenol 1,8 EO.

**Figura 3.** Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o Nonilfenol 1,8 EO.

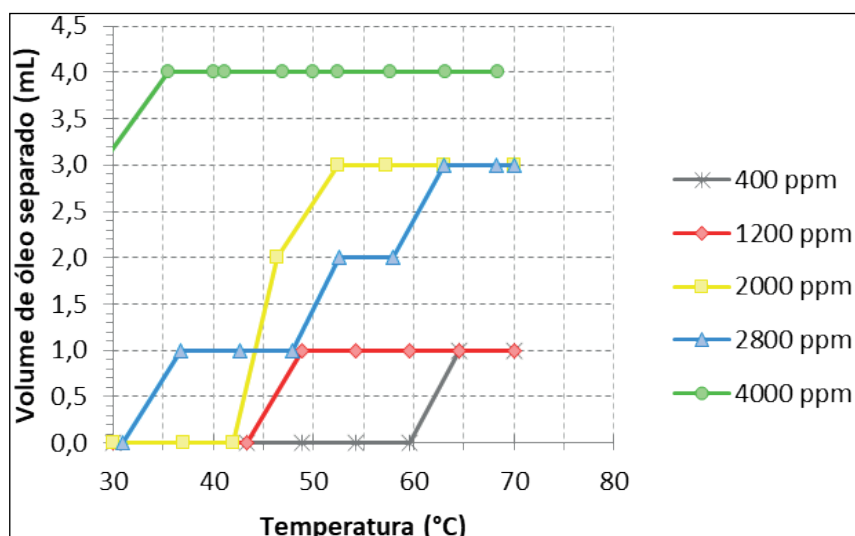


Analisando a Figura 3, observa-se que a estabilização na separação do óleo da emulsão usando o Nonilfenol 1,8 EO ocorreu por volta de 50 °C, com exceção da concentração em 400 ppm, onde a estabilização só ocorreu em 60 °C. Como já esperado, a quebra da emulsão foi ocorrendo de acordo com o aumento da temperatura, que está de acordo com trabalhos realizados de maneira semelhante por DE SARLES *et al.* (2014) e DUAN *et al.* (2014). Percebe-se que o aumento da temperatura favorece a atuação do tensoativos, visto que nas concentrações de 4000 ppm e 2800 ppm foram encontrados os melhores resultados de quebra da emulsão, com 2 mL de óleo separado.

A Figura 4 apresenta o volume de óleo separado da água ao longo do aquecimento em 5 concentrações diferentes de Nonilfenol 4 EO.

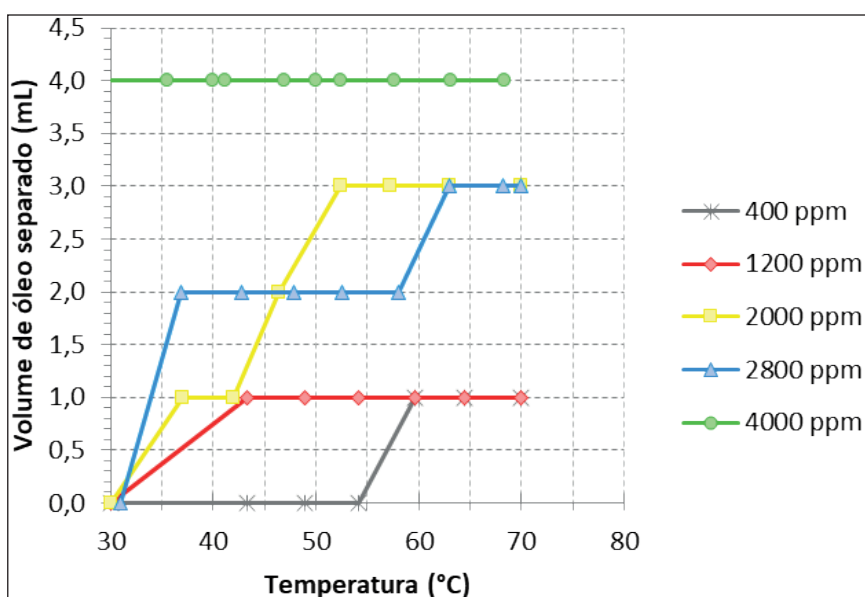
Com base na Figura 4, observa-se que a estabilização da separação de óleo da emulsão usando o Nonilfenol 4 EO ocorreu por volta de 60 °C, com exceção da concentração em 400 ppm, onde a estabilização só ocorreu em 65 °C. Seguindo o comportamento esperado, a quebra da emulsão ocorre a medida que aumenta a temperatura. Porém, a atuação do tensoativos ao longo das variadas concentrações não ocorre seguindo um padrão nítido. As concentrações de 2000 ppm e 2800 ppm obtiveram melhores valores de quebra de emulsão, em comparação as outras concentrações, ambos com 3 mL de óleo separado. Porém, a concentração de 4000 ppm não teve um bom resultado, com apenas 1 mL de óleo separado. Os melhores resultados podem ser explicados tendo em vista uma maior proximidade do BHL do Nonilfenol 4 EO (8,9) que o Nonilfenol 1,8 EO (5,3) da faixa de otimização de desemulsificantes, 6,8 e 8,8 (KHUTORYANSKII *et al.* 1981).

**Figura 4.** Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o Nonilfenol 4 EO.



A Figura 5 apresenta o volume de óleo separada da emulsão ao longo do aquecimento em 5 concentrações diferentes de Nonilfenol 6 EO. Nela, observa-se que a estabilização da separação de óleo da emulsão usando o Nonilfenol 6 EO ocorreu por volta de 60 °C, com exceção da concentração de 2800 ppm, onde a estabilização só ocorreu em 63 °C. Seguindo o comportamento esperado, a quebra da emulsão ocorre a medida que aumenta a temperatura. Porém, diferente dos tensoativos anteriores, na concentração de 4000 ppm não houve separação de óleo da emulsão. Já nas concentrações de 2000 ppm e 2800 ppm houveram bons resultados, ambos com 3 mL de óleo separado.

**Figura 5.** Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o Nonilfenol 6 EO.



A concentração de 400 ppm, nos três tensoativos utilizados, realizou a quebra da emulsão apenas na faixa de temperatura entre 50 °C e 60 °C. Isto deve-se ao efeito da

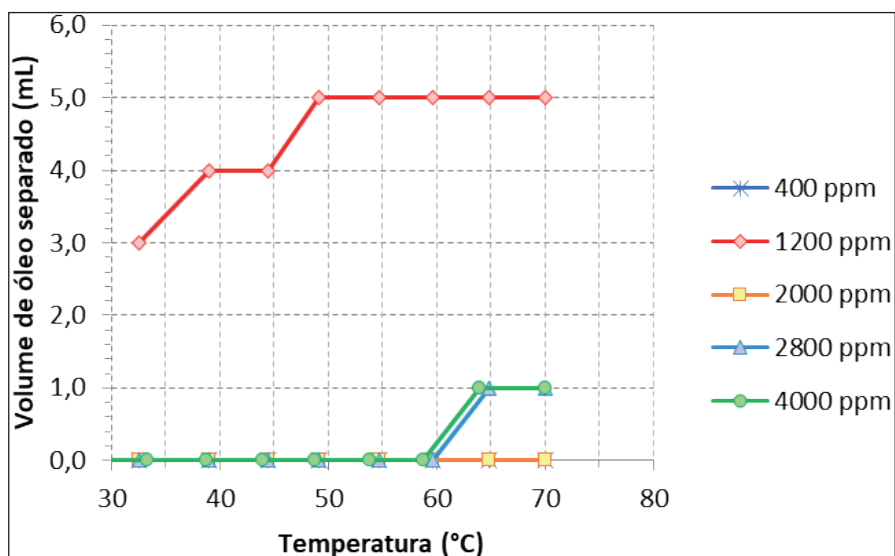
temperatura sobre a CMC dos tensoativos, onde o aumento da temperatura causa redução da CMC dos tensoativos não-iônicos, como mostra o estudo de MIRANDA (2008).

### Concentração dos tensoativos versus volume de óleo separado, com adição de NaCl a emulsão

As emulsões discutidas neste tópico apresentam teor de 10% O/A, em volume, com a adição de 1,5%, em peso, de cloreto de sódio (NaCl). A Figura 6 apresenta o volume de óleo separado da emulsão, com o aumento da temperatura, em cinco concentrações diferentes do tensoativos Nonilfenol 1,8 EO.

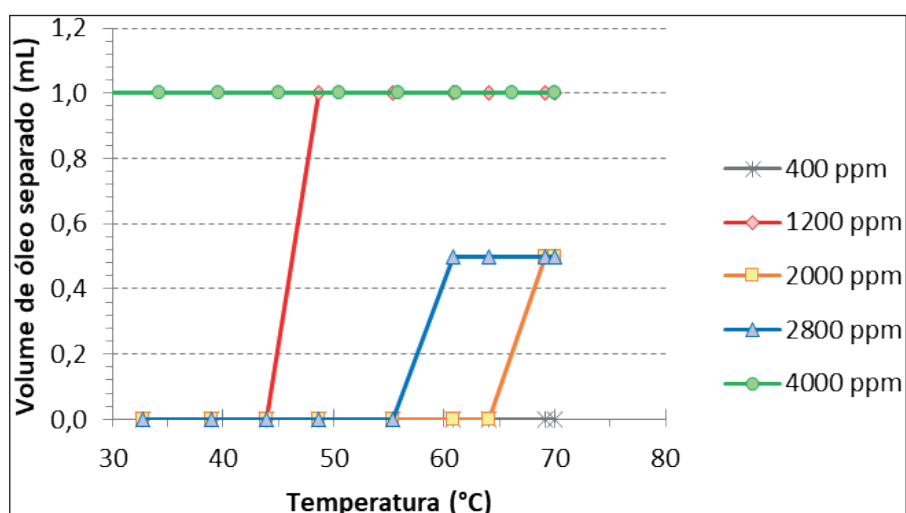
Observando a Figura 6, constata-se que a adição de eletrólitos na emulsão alterou significativamente a atuação do tensoativos. A estabilidade do processo de quebra de emulsão foi prolongada para 65 °C, e todas as 5 concentrações trabalhadas tiveram o comportamento e volume de óleo separados alterados. As concentrações que anteriormente separaram 3 mL de óleo passaram a separar apenas 1 mL. Porém, houve um aumento no volume de óleo separado da amostra com a concentração de 1200 ppm, que aumentou para 2 mL.

**Figura 6.** Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o Nonilfenol 1,8 EO + 1,5% NaCl.



Este comportamento, provavelmente, está associado a presença dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , que ocasionaram um processo de coagulação da emulsão, e interferindo também com a parte polar da molécula do tensoativos, diminuindo na solubilização e estabilização da gotícula de óleo dificultando a coalescência. A Figura 7 apresenta os resultados obtidos com o uso do Nonilfenol 4 EO, em 5 concentrações diferentes.

**Figura 7.** Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o Nonilfenol 4 EO + 1,5% NaCl.

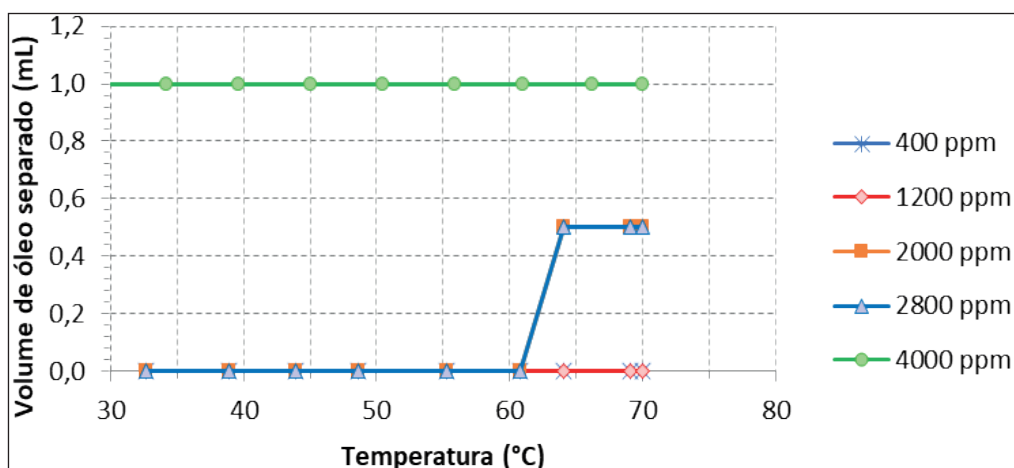


De forma semelhante ao Nonilfenol 1,8 EO, o Nonilfenol 4 EO também apresentou comportamento significativamente diferenciado com a adição de eletrólitos a emulsão. O seu ponto de estabilização de quebra de emulsão foi estendido para 65 °C, novamente, a concentração de 1200 ppm mostrou resultados diferenciados das outras concentrações, mostrando uma separação de óleo com estabilização acontecendo em apenas uma etapa. Outras concentrações como 2800 e 2000 ppm apresentaram pequena quantidade de separação de óleo.

De acordo com Di Bernardo et al. (apud SCHONS, 2008) sais simples, como o cloreto de sódio (NaCl), são considerados eletrólitos indiferentes e não possuem características de hidrólise ou adsorção, levando a um aumento da densidade de cargas na camada difusa, comprimindo-a e ocorrendo a coagulação. Dessa forma, espelhando-se SCHONS (2008), foram realizados experimentos para estudar o efeito da adição de NaCl sobre o processo de desemulsificação, visto que a água produzida apresenta sais dissolvidos e em sua maior relevância tem-se o NaCl.

A Figura 8 apresenta os resultados obtidos com o uso do Nonilfenol 6 EO, em 5 concentrações diferentes.

**Figura 8.** Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o Nonilfenol 6 EO + 1,5% NaCl.



Analisando a Figura 8, é visto que o desempenho do Nonilfenol 6 EO também foi modificado com adição de NaCl a emulsão. Seu ponto de estabilização de quebra de emulsão também foi prologando, se estabelecendo em 65 °C. Para este tensoativo, apenas duas concentrações apresentaram separação de óleo da emulsão, que foram 2000 ppm e 2800 ppm, e assim mesmo foi uma pequena quebra de emulsão.

Esses resultados obtidos com a adição de cloreto de sódio a solução, podem ser explicados, pois a adição dos eletrólitos a solução reduz a solubilidade dos tensoativos não-iônicos na solução. Como também a diferença de densidade entre a fase interna e a fase contínua é aumentada, favorecendo assim a desestabilização das emulsões através dos processos *creaming* e da coagulação (DALTIM, 2011).

No caso de nonilfenol 1,8 EO, que possui baixa solubilidade em água, devido a seu BHL, promove um equilíbrio direcionado para as emulsões A/O, o que promove a desestabilização da emulsão O/A. Já o nonilfenol 4 EO, com seu BHL calculado em 8,9, atua como um agente umectante, promove um desbalanceamento do ângulo formado entre as macromoléculas de óleo e água, permitindo que as macromoléculas sejam umectadas pela água ou pelo óleo da emulsão e abandonem a interface.

### Concentração de tensoativos versus eficiência de extração

As emulsões preparadas continham teor de 10%, em volume, de O/A, em 80 mL emulsão coletados para o teste da garrafa. A quantidade máxima de óleo presente nas emulsões era de 8 mL, assim foi possível realizar a construção de uma tabela que relaciona a eficiência da extração do óleo das emulsões com a concentração do tensoativos em cada ensaio experimental. O cálculo da eficiência de extração foi realizado utilizando a equação 1

$$\xi = \frac{\text{volume de óleo separado}}{\text{volume total de óleo}} \times 100 \quad (1)$$

A partir da equação 1 foi construída a Tabela 3.

**Tabela 3.** Eficiência de extração versus Concentração dos Tensoativos.

| TENSOATIVO                    | CONCENTRAÇÃO (ppm) |       |       |       |       |
|-------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|                               | 400                | 1200  | 2000  | 2800  | 4000  |
| Nonilfenol 1,8 EO             | 12,5%              | 12,5% | 12,5% | 25%   | 37,5% |
| Nonilfenol 4 EO               | 12,5%              | 12,5% | 37,5% | 37,5% | 50%   |
| Nonilfenol 6 EO               | 12,5%              | 12,5% | 37,5% | 37,5% | 50%   |
| Nonilfenol 1,8 EO + 1,5% NaCl | 0%                 | 25%   | 0%    | 12,5% | 12,5% |
| Nonilfenol 4 EO + 1,5% NaCl   | 0%                 | 12,5% | 6,25% | 6,25% | 12,5% |
| Nonilfenol 6 EO + 1,5% NaCl   | 0%                 | 0%    | 6,25% | 6,25% | 12,5% |

Analisando a Tabela 3, observa-se que os melhores resultados para separação de emulsão sem a adição do NaCl, são encontrados nas concentrações mais altas de tensoativos. A concentração de 4000 ppm, realizou a quebra de 50% da quantidade de óleo separado da emulsão para o Nonilfenol 4 EO e Nonilfenol 6 EO.

Algumas concentrações apresentaram 0% de eficiência devido a quantidade mínima de óleo separada, pois não foi possível realizar uma medição do volume de óleo.

Apesar da adição de NaCl não ter melhorado, num quadro geral, o desempenho dos tensoativos na realização da quebra da emulsão, após um período de descanso, as emulsões com a presença de eletrólitos tiveram uma desemulsificação quase completa, enquanto as amostras sem eletrólitos, ainda apresentaram grandes suspensões de óleo.

## CONCLUSÃO

Foi observado que mesmo com um BHL não adequado para a desemulsificação, os tensoativos utilizados apresentaram um desempenho razoável para o processo de quebra de emulsão. Apesar da presença de eletrólitos desfavorecerem o desempenho dos tensoativos utilizados, algumas concentrações realizaram a quebra da emulsão. Apesar de reduzir o desempenho, a presença de eletrólitos diminui a turbidez aparente das amostras coletadas para descanso. Concentrações acima da CMC não apresentaram resultados significativos para a quebra de emulsão, visto que há formação de micelas e estas favorecem a estabilidade da gotícula do óleo na água.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ARAÚJO, M. M. S. de. **Estudo de quebra de emulsões de petróleo utilizando microemulsões e célula de desidratação eletrostática**. 2004. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte. 2004.
2. DALTIN, Decil. **Tensoativos**: Química, propriedades e aplicações. São Paulo: Blucher, 2011.
3. KHUTORYANSKII, F. M. et al. Efficiency of desemulsifiers of diproksamin type in relation to HLB. **Petroleum and Gas Processing**, [s.1.], 6, 50-51, 1981.
4. SARLES, V. N. G. de; SALDANHA, M. C. G. G.; DOLINSKY, M. C. B.; SIMÕES, A. L. C. Avaliação da eficiência da separação da água do óleo com produtos químicos de base polimérica. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, v. 8, n. 2, p. 56-67, 2014.
5. SCHONS, E. M. **DESESTABILIZAÇÃO DE EMULSÕES VISANDO A REDUÇÃO DO TEOR DE ÓLEO EM ÁGUA**. 2008. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.
6. SILVA, P. K. L. da. **Remoção de óleo da água de produção por flotação em coluna utilizando tensoativo de origem vegetal**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

# SOBRE O ORGANIZADOR

## **Prof. Dr. Robson José de Oliveira**

Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2002), mestrado em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2004) e doutorado em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2008). Atualmente é professor associado I da Universidade Federal do Piauí/CTT em Teresina -PI. Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em Legislação Florestal, Colheita, Estradas e Transportes Florestais, atuando principalmente nos seguintes temas: estradas, transportes, estabilização, pavimentação, redes neurais artificiais, ferramentas computacionais aplicadas ao setor florestal, logística, política e legislação ambiental, avaliação de impactos ambientais, perícia ambiental, educação ambiental, colheita florestal, ergonomia, qualidade, gestão de projetos, ética e deontologia. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2371730431088108>

# ÍNDICE REMISSIVO

## A

**Aclimação:** 82

**Amazônia:** 59, 93, 96

**Análise Imediata:** 50, 60

## B

**Bacia de Campos:** 20

**Banana:** 183

**Bioetanol:** 184

**Biogás:** 29, 166, 175

**Biomassa:** 23, 31, 36, 45, 50, 57, 59, 82, 177, 178, 183, 184, 191, 196

## C

**Caracterização:** 22, 23, 26, 27, 35, 36, 39, 49, 52, 54, 59, 60, 71, 90, 103, 125, 145, 154, 162, 163, 169, 171, 173, 196

**Carbonização:** 93, 99, 100

**Carvão:** 50, 54, 57, 58, 60, 97, 99, 104, 162

**Codigestão:** 166

**Compressão:** 93, 100

**Crescimento:** 80, 82, 87, 91, 107, 118, 125, 126

**Cultivo:** 107, 116

## D

**Densidade:** 50, 54, 60, 147, 152, 154, 155, 158

**Densidade Básica:** 54, 152, 155

**Desidratação:** 129, 138, 141

**Dessulfurização:** 129, 136

**Dormência:** 118

## E

**Educação:** 5, 6, 7, 9

**Energia:** 31, 37, 44, 45, 59, 132, 142, 143, 144, 147, 166, 174, 175, 196

**Energia Renovável:** 166

**Ensino:** 7

**Eucalyptus:** 50, 51, 52, 56, 58, 59, 60, 61, 101, 102, 104, 105, 116, 147, 148, 150, 151, 160, 161, 162, 163, 196

## F

**Friabilidade:** 93

## G

**Gamaespectrometria:** 14, 19, 21

**Gaseificação:** 36

**Gás Natural:** 129, 145

## I

**Índice de Velocidade:** 122, 123, 124

## L

**Luminosidade:** 73, 76

## M

**Madeira:** 59, 60, 63, 96, 105, 147, 163, 196

**Microclima:** 82

**Mimosa Caesalpiniaefolia:** 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80

## O

**Onshore:** 14

## P

**Pirólise:** 23, 59

**Plastic:** 71

**Processamento:** 129, 135, 141

## **Q**

**Qualidade da Madeira:** 60, 104, 163

**Quebra de Emulsão:** 198

## **R**

**Resíduos:** 32, 93, 100, 184

## **S**

**Substrato:** 73, 120

**Sustentabilidade Agrícola:** 107

## **T**

**Temperatura:** 99, 100, 166, 172

**Tensoativo não lônico:** 198

**Tratamento da Água:** 198





follow us



[www.editoracientifica.org](http://www.editoracientifica.org)

[contato@editoracientifica.org](mailto:contato@editoracientifica.org)

ISBN 978-658719684-8



9

786587

196848

VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS



editora científica