

Wescley Viana Evangelista
(Organizador)

MADEIRAS NATIVAS & PLANTADAS DO BRASIL

QUALIDADE, PESQUISAS E ATUALIDADES

VOLUME 2



editora
científica digital



Wescley Viana Evangelista

Organizador

MADEIRAS NATIVAS & PLANTADAS DO BRASIL

QUALIDADE, PESQUISAS E ATUALIDADES

VOLUME 2

1ª EDIÇÃO



editora
científica digital

2021 - GUARUJÁ - SP



EDITORA CIENTÍFICA DIGITAL LTDA
Guarujá - São Paulo - Brasil
www.editoracientifica.org - contato@editoracientifica.org

Diagramação e arte Equipe editorial	2021 by Editora Científica Digital Copyright© 2021 Editora Científica Digital
Imagens da capa Adobe Stock - licensed by Editora Científica Digital - 2021	Copyright do Texto © 2021 Os Autores Copyright da Edição © 2021 Editora Científica Digital
Revisão Os autores	Acesso Livre - Open Access

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 pela origem e no formato Acesso Livre (Open Access) com os créditos atribuídos aos respectivos autores, mas sem a possibilidade de alteração de nenhuma forma, catalogação em plataformas de acesso restrito e utilização para fins comerciais.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M181

Madeiras nativas e plantadas do Brasil [livro eletrônico] : qualidade, pesquisas e atualidades: volume 2 / Organizador Wescley Viana Evangelista. – Guarujá, SP: Científica Digital, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5360-041-6

DOI 10.37885/978-65-5360-041-6

1. Madeira – Anatomia – Brasil. 2. Madeira – Identificação – Brasil. I. Evangelista, Wescley Viana.

CDD 582.160981

Elaborado por Janaina Karina Alves Trigo Ramos – CRB8/9166

E-BOOK

ACESSO LIVRE ON-LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2021

CORPO EDITORIAL

Direção Editorial

Reinaldo Cardoso

João Batista Quintela

Editor Científico

Prof. Dr. Robson José de Oliveira

Assistentes Editoriais

Erick Braga Freire

Bianca Moreira

Sandra Cardoso

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior - CRB6/2422

Jurídico

Dr. Alandelon Cardoso Lima - OAB/SP-307852



CONSELHO EDITORIAL

MESTRES, MESTRAS, DOUTORES E DOUTORAS

Robson José de Oliveira

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Eloisa Rosotti Navarro

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Rogério de Melo Grillo

Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Carlos Alberto Martins Cordeiro

Universidade Federal do Pará, Brasil

Ernane Rosa Martins

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

Rossano Sartori Dal Molin

FSG Centro Universitário, Brasil

Domingos Bombo Damião

Universidade Agostinho Neto, Angola

Carlos Alexandre Oelke

Universidade Federal do Pampa, Brasil

Patrício Francisco da Silva

Universidade CEUMA, Brasil

Reinaldo Eduardo da Silva Sales

Instituto 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 Unaí, Brasil

Flávio Aparecido De Almeida

Faculdade Unida de Vitória, Brasil

Mauro Vinicius Dutra Girão

Centro Universitário Ita, Brasil

Clóvis Luciano Giacomet

Universidade Federal do Amapá, Brasil

Giovanna Moraes

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

André Cutrim Carvalho

Universidade Federal do Pará, Brasil

Silvani Verruck

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Auristela Correa Castro

Universidade Federal do Pará, Brasil

Oswaldo Contador Junior

Faculdade de Tecnologia de Jahu, Brasil

Claudia Maria Rinhel-Silva

Universidade Paulista, Brasil

Dennis Soares Leite

Universidade de São Paulo, 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

Juliana Campos Pinheiro

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Cristiano Marins

Universidade Federal Fluminense, Brasil

Silvio Almeida Junior

Universidade de Franca, Brasil

Raimundo Nonato Ferreira Do Nascimento

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva

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

Carlos Roberto de Lima

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil



Daniel Luciano Gevehr

Faculdades Integradas de Taquara, Brasil

Maria Cristina Zago

Centro Universitário UNIFAAT, Brasil

Wesley Viana Evangelista

Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil

Samylla Maira Costa Siqueira

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Gloria Maria de Franca

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Antônio Marcos Mota Miranda

Instituto Evandro Chagas, 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

Francisco de Sousa Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Reginaldo da Silva Sales

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

Mário Celso Neves De Andrade

Universidade de São Paulo, Brasil

Maria do Carmo de Sousa

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Mauro Luiz Costa Campello

Universidade Paulista, Brasil

Sayonara Cotrim Sabioni

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Ricardo Pereira Sepini

Universidade Federal de São João Del-Rei, Brasil

Flávio Campos de Moraes

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Sonia Aparecida Cabral

Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, Brasil

Jonatas Brito de Alencar Neto

Universidade Federal do Ceará, Brasil

Moisés de Souza Mendonça

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

Pedro Afonso Cortez

Universidade Metodista de São Paulo, Brasil

Iara Margolis Ribeiro

Universidade do Minho, Brasil

Julianno Pizzano Ayoub

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

Vitor Afonso Hoeflich

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Bianca Anacleto Araújo de Sousa

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

Bianca Cerqueira Martins

Universidade Federal do Acre, Brasil

Daniela Remião de Macedo

Faculdade de Belas Artes da Universidade de Lisboa, Portugal

Dioniso de Souza Sampaio

Universidade Federal do Pará, Brasil

Rosemary Laís Galati

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Maria Fernanda Soares Queiroz

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Leonardo Augusto Couto Finelli

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

Thais Ranielle Souza de Oliveira

Centro Universitário Euroamericano, Brasil

Alessandra de Souza Martins

Universidade Estadual de Ponta Grossa, 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

Danielly de Sousa Nóbrega

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

Livia Fernandes dos Santos

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

Liege Coutinho Goulart Dornellas

Universidade Presidente Antônio Carlos, Brasil

Ticiano Azevedo Bastos

Secretaria de Estado da Educação de MG, Brasil



Walmir Fernandes Pereira
Miami University of Science and Technology, Estados Unidos da América

Jónata Ferreira De Moura
Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Camila de Moura Vogt
Universidade Federal do Pará, Brasil

José Martins Juliano Eustaquio
Universidade de Uberaba, Brasil

Adriana Leite de Andrade
Universidade Católica de Petrópolis, Brasil

Francisco Carlos Alberto Fonteles Holanda
Universidade Federal do Pará, Brasil

Bruna Almeida da Silva
Universidade do Estado do Pará, Brasil

Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Instituto Federal do Sertão Pernambucano, 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

Thadeu Borges Souza Santos
Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho
Universidade Federal do Cariri, 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

Irlane Maia de Oliveira
Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Lívia Silveira Duarte Aquino
Universidade Federal do Cariri, 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

Carlos Alberto da Silva
Universidade Federal do Ceara, Brasil

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

Arinaldo Pereira Silva
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil

Laís Conceição Tavares
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

Ana Maria Aguiar Frias
Universidade de Évora, Brasil

Willian Douglas Guilherme
Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Evaldo Martins da Silva
Universidade Federal do Pará, Brasil

Biano Alves de Melo Neto
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Antônio Bernardo Mendes de Seica da Providência Santarém
Universidade do Minho, Portugal

Valdemir Pereira de Sousa
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Sheylla Susan Moreira da Silva de Almeida
Universidade Federal do Amapá, Brasil

Miriam Aparecida Rosa
Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil

Rayme Tiago Rodrigues Costa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil



Priscyla Lima de Andrade

Centro Universitário UniFBV, Brasil

Andre Muniz Afonso

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

Gabriel Jesus Alves de Melo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Brasil

Deise Keller Cavalcante

Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro

Larissa Carvalho de Sousa

Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal

Daniel dos Reis Pedrosa

Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil

Wiaslan Figueiredo Martins

Instituto Federal Goiano, Brasil

Lênio José Guerreiro de Faria

Universidade Federal do Pará, Brasil

Tamara Rocha dos Santos

Universidade Federal de Goiás, Brasil

Marcos Vinicius Winckler Caldeira

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Gustavo Soares de Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Brasil

Adriana Cristina Bordignon

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Norma Suely Evangelista-Barreto

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil

Larry Oscar Chañi Paucar

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Peru

Pedro Andrés Chira Oliva

Universidade Federal do Pará, Brasil

Daniel Augusto da Silva

Fundação Educacional do Município de Assis, Brasil

Aleteia Hummes Thaines

Faculdades Integradas de Taquara, Brasil

Elisângela Lima Andrade

Universidade Federal do Pará, Brasil

Reinaldo Pacheco Santos

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil

Cláudia Catarina Agostinho

Hospital Lusíadas Lisboa, Portugal

Carla Cristina Bauermann Brasil

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Humberto Costa

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Ana Paula Felipe Ferreira da Silva

Universidade Potiguar, Brasil

Ernane José Xavier Costa

Universidade de São Paulo, Brasil

Fabricia Zanelato Bertolde

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Eliomar Viana Amorim

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Nássarah Jabur Lot Rodrigues

Universidade Estadual Paulista, Brasil

José Aderval Aragão

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

Caroline Muñoz Cevada Jeronymo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil

Aline Silva De Aguiar

Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil

Renato Moreira Nunes

Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil

Júlio Nonato Silva Nascimento

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

Cybelle Pereira de Oliveira

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Cristianne Kalinne Santos Medeiros

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Fernanda Rezende

Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Estudo em Educação Ambiental, Brasil

Clara Mockdece Neves

Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil



APRESENTAÇÃO

Esta obra, em seu volume 2, constitui-se de uma coletânea de 17 trabalhos de pesquisas científicas e de referencial teórico sobre madeiras nativas e plantadas do Brasil, desenvolvidos por pesquisadores de Universidades, Centros de Pesquisa e Empresas. Este segundo volume conta também com trabalhos científicos sobre manejo florestal de espécies de importância comercial do setor madeireiro do País.

A organização deste livro objetivou apresentar a comunidade científica e demais interessados os resultados de estudos e pesquisas mais atuais sobre madeiras de espécies cultivadas ou exploradas no Brasil, com temas envolvendo suas propriedades tecnológicas, avaliação da qualidade para usos industriais, processamento mecânico de toras etc., além de mostrar trabalhos de manejo florestal de espécies de interesse econômico.

O conhecimento mais aprofundado da madeira é sempre importante para a academia e para a indústria, como, por exemplo, da estrutura químico-anatômica, suas propriedades físico-mecânicas, variabilidade, qualidade, processamento mecânico, geração de produtos e subprodutos etc. A diversidade e oferta de espécies comerciais nativas devidamente manejadas; a silvicultura avançada e surgimento de novas espécies e híbridos clonais de espécies exóticas, o melhoramento genético etc. são também fatores importantes que justificam o estudo e avaliação contínua das suas propriedades e qualidade da madeira.

A madeira é uma excelente matéria-prima para obtenção de multiprodutos e o principal produto florestal extraído de florestas naturais e plantios florestais do País, tanto do ponto de vista econômico, quanto de produção volumétrica. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2020, o País registrou uma produção florestal de R\$ 23,6 bilhões, sendo 90,1% deste valor correspondente a produtos madeireiros. No Brasil, os seus usos tem-se destinado basicamente a produção de celulose, carvão vegetal, madeira serrada, painéis reconstituídos, lenha etc.

Considerando tudo isto, torna-se importante o conhecer a madeira, suas propriedades e qualidade, bem como as necessidades das indústrias que a consomem como matéria-prima. Por isso, a madeira é sempre estudada e avaliada, e os resultados obtidos publicados em periódicos especializados.

Com isso, espera-se que os trabalhos apresentados no volume 2 deste livro possam contribuir com a literatura e de forma relevante no aprendizado e fonte bibliográfica significativa para estudantes, professores, profissionais e demais interessados no setor florestal. Agradeço a todos os autores que contribuíram para que essa obra, em seu volume 2, pudesse ser concretizada. Desejo que os trabalhos aqui publicados se tornem fonte de dados, informações e de conhecimento para todos que tiverem acesso ao seu conteúdo.

A todos os autores, meus sinceros agradecimentos, votos de grandes conquistas profissionais e que continuem publicando ainda mais trabalhos científicos sobre madeiras nativas e plantadas do Brasil, de forma a se conhecer ainda mais essa espetacular matéria-prima de origem florestal.

E a todos os leitores, desejo uma ótima leitura!

Muito obrigado.

Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista

Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado (UNEMAT)

Campus Universitário de Alta Floresta-MT.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01

CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E SUAS INFLUÊNCIAS NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA: UM REFERENCIAL TEÓRICO

Pedro Augusto Fonseca Lima; Valéria Souza Dias; Amanda Nathália Melo de Jesus; Aldeniza Miranda Santos; Tiago Souza Vieira; José Augusto Silva de Melo; Juciane Fernandes de Lima; Thamyres Silva Alves; Késia Graciely Alves de Sousa; Vinícius de Melo Silva

doi 10.37885/211006363 14

CAPÍTULO 02

VARIAÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA DE CLONES DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA

Ricardo Marques Barreiros; Gabriela Lima dos Anjos; Cantídio Fernando Gouvêa; Vinícius Gontijo Rodrigues Roque; Kelly Bossardi Dias; Alessandra Maria Ferreira Reis; Gilmar Correia Silva

doi 10.37885/210604950 32

CAPÍTULO 03

MORFOLOGIA DAS ESTRUTURAS ANATÔMICAS DA MADEIRA DE DUAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS COM VISTAS À PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

Mayara de Lima Ferreira; Washington Duarte Silva da Silva; Pamella Carolline Marques dos Reis Reis; Leonardo Pequeno Reis; Adriane dos Santos Santos; Fernanda Ilkiu Borges de Souza

doi 10.37885/211106849 50

CAPÍTULO 04

QUALIDADE DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS DUNNII* VISANDO A PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA

Marina Sbardella; Magnos Alan Vivian; Karina Soares Modes,

doi 10.37885/211106693 67

CAPÍTULO 05

ANISOTROPIA DA CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA: UMA ABORDAGEM TECNOLÓGICA

Erick Phelipe Amorim; Juarez Benigno Paes; Marcos Alves Nicácio

doi 10.37885/211006537 81

CAPÍTULO 06

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DAS MADEIRAS DE PINUS E DE ITAÚBA

Ana Carolina Costa Viana; Poliana Dias de Moraes; Walter Lindolfo Weingaertner; Cristiane Pedrazzi; Igor Peres Cordeiro; Matheus Redel Finger

doi 10.37885/211106621 101

SUMÁRIO

CAPÍTULO 07

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO APLICADA EM ESPÉCIES MADEIREIRAS NATIVAS AMAZÔNICAS PARA AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES BIOFÍSICAS

Cezar Dias Cardoso Júnior; Diego Lima Aguiar; Alessandra Silva Batista; Bruno Monteiro Balboni; Lucieta Guerreiro Martorano

doi 10.37885/211106825117

CAPÍTULO 08

INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NA DENSIDADE E RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DA MADEIRA DE QUATRO ESPÉCIES NATIVAS DO PLANALTO SERRANO CATARINENSE

Débora Caline de Mello; Karina Soares Modes; Magnos Alan Vivian

doi 10.37885/211106780 131

CAPÍTULO 09

RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE BÁSICA E RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DAS MADEIRAS DE TRÊS ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO

Josefa Andressa da Silva Miranda; Raquel Marchesan; Meire Cirqueira Santos; Renata Carvalho da Silva; Mateus Almeida Silva; Jessica Viana Ferreira; André Orathes do Rêgo Barros; André Ferreira dos Santos; Rodrigo Araújo Fortes; Morgana Cristina França

doi 10.37885/211206968 144

CAPÍTULO 10

RENDIMENTO E GERAÇÃO DE SUBPRODUTOS NO DESDOBRAMENTO PRINCIPAL DE TORAS COM SERRA FITA DE TRÊS ESPÉCIES DA AMAZÔNIA

Raquel Marchesan; Jean Marcel Costa Ludke; Meire Cirqueira Santos; Thatiele Pereira Eufrazio de Moraes; Julia Gabriela Nascimento Mendes; Karolayne Ferreira Saraiva; Guilherme Henrique Carvalho Vieira; Renata Carvalho da Silva; Pedro Lício Loiola; Morgana Cristina França

doi 10.37885/211106711154

CAPÍTULO 11

COEFICIENTE DE RENDIMENTO VOLUMÉTRICO DE TRÊS ESPÉCIES FLORESTAIS DA AMAZÔNIA

Felipe Susin; Jullielly Virginia de Lima Rossetto; Wesley Viana Evangelista; Laura Araujo Sanches

doi 10.37885/211106856167

SUMÁRIO

CAPÍTULO 12

CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA REFORÇADOS COM LIGNINA

Raquel Marrchesan; Renata Carvalho da Silva; Fernanda Kuffel Meireles; André Orathes do Rêgo Barros; Rodrigo Araújo Fortes; Thatielle Pereira Eufrazio de Moraes; Júlia Gabriela do Nascimento Mendes; Meire Cirqueira Santos; Guilherme Henrique Carvalho Vieira; André Ferreira do Santos

doi 10.37885/210906040 183

CAPÍTULO 13

EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DE ADITIVO SINTÉTICO POR ADITIVOS NATURAIS NAS CARACTERÍSTICAS DA ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND

Thaiury Oliveira Sousa; Raquel Marchesan; Meire Cirqueira Santos; Renata Carvalho da Silva; Amanda Stephany Dutra de Oliveira; Samara Farias de Melo; André Orathes do Rêgo Barros; Rodrigo Araújo Fortes; Floriano Pastore Júnior; Carla Jovania Gomes Colares

doi 10.37885/211206966 196

CAPÍTULO 14

LOG-VEROSSIMILHANÇA COMBINADA PARA COMPARAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONTINUIDADE ESPACIAL EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL

Julio Cesar Wojciechowski; Julio Eduardo Arce; Saulo Henrique Weber; Paulo Justiniano Ribeiro Jr.; Carlos Alberto da Fonseca Pires

doi 10.37885/211106796 210

CAPÍTULO 15

INFLUÊNCIA DO MANEJO NO DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL

Cezarina do Socorro de Souza Carvalho; Daniela Pauletto; Ádria Fernandes da Silva; Thiago Gomes de Sousa Oliveira; Verena Santos de Sousa; Orlanilson da Silva Brito; Lucas Sérgio de Sousa Lopes

doi 10.37885/211106625 229

CAPÍTULO 16

VOLUME DE GALHOS DE COPAS DE ESPÉCIES MANEJADAS NA AMAZÔNIA SUL-OCIDENTAL

Scheila Cristina Biazatti; Rômulo Môra; Marta Silvana Volpato Scototi; Cyro Matheus Cometti Favalessa; Gilson Fernandes da Silva; Ronaldo Drescher

doi 10.37885/211106674 247

SUMÁRIO

CAPÍTULO 17

VARIÁVEIS AMBIENTAIS E ESTRUTURA ARBÓREA DO PNMCBIO: CONHECIMENTOS PARA A MANUTENÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Samuel Coelho; Ana Carolina Devides Castello; Eliana Cardoso-Leite

 [10.37885/211106752](https://doi.org/10.37885/211106752).....264

SOBRE O ORGANIZADOR..... 281

ÍNDICE REMISSIVO282

Características anatômicas e suas influências nas propriedades da madeira: um referencial teórico

| **Pedro Augusto Fonseca Lima**
UERR

| **José Augusto Silva de Melo**
UERR

| **Valéria Souza Dias**
UERR

| **Juciane Fernandes de Lima**
UERR

| **Amanda Nathália Melo de Jesus**
UERR

| **Thamyres Silva Alves**
UERR

| **Aldeniza Miranda Santos**
UERR

| **Késia Graciely Alves de Sousa**
UERR

| **Tiago Souza Vieira**
UERR

| **Vinícius de Melo Silva**
UERR

RESUMO

A madeira é uma das principais fontes de matéria-prima industrial e é utilizada para diversos fins como, por exemplo, para a geração de energia, construção civil, transporte, fabricação de móveis e pisos, fabricação de papel e celulose, dentre outros. No entanto, para a utilização correta da madeira, deve-se avaliar sua qualidade para determinar sua melhor aplicabilidade tecnológica. Uma das formas para determinar a qualidade da madeira é através da avaliação das suas características anatômicas, tanto em aspecto macroscópico quanto microscópico. As características anatômicas que podem influenciar na qualidade da madeira são: casca, câmbio, anéis de crescimento (ocorrência de lenho inicial e lenho tardio), proporção de cerne e alburno, raios, medula, traqueíde/fibras, vasos, parênquima axial, dentre outros. Essas características vão influenciar diretamente, por exemplo, na densidade básica, instabilidade dimensional, resistência mecânica, durabilidade natural, permeabilidade e trabalhabilidade. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi elencar alguns tópicos importantes sobre as características anatômicas do lenho de Angiospermas e Gimnospermas. Além disso, determinar como características anatômicas podem influenciar nas propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Palavras-chave: Anatomia da Madeira, Propriedades Anatômicas da Madeira, Componentes Anatômicos da Madeira.

■ INTRODUÇÃO

A madeira é utilizada desde os primórdios da história devida suas propriedades e disponibilidade. No Brasil, a madeira é amplamente utilizada para geração de energia, construção civil, transporte, fabricação de móveis e pisos, fabricação de papel e celulose, dentre outros. Além disso, pode-se afirmar que as plantações florestais estão em constante crescimento no país, com uma área de 9,0 milhões de hectares de florestas plantadas em 2019, representadas, em sua maioria, pelos gêneros *Eucalyptus* (Angiosperma) e *Pinus* (Gimnosperma) (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2020).

No entanto, para a utilização da madeira, nas suas diversas formas, é necessário que ela atenda a um grau de qualidade no momento da sua utilização (LIMA *et al.*, 2021). Qualidade é a classificação dos componentes estruturais da madeira quando eles são analisados para determinado objetivo. Isto quer dizer que uma madeira de determinada espécie possa ser considerada de boa qualidade para a produção de papel e celulose, por exemplo, por possuir características desejáveis que resultassem em um produto de alta qualidade, ao mesmo tempo em que, essa mesma espécie não seja de boa qualidade para geração de energia. Dessa forma, é essencial a avaliação da composição, estrutura e dos elementos anatômicos da madeira para determinar sua aptidão comercial (BURGER e RICHTER, 1991).

Dentre as características anatômicas, tanto em aspecto macroscópico quanto microscópico, Lima *et al.* (2019; 2021) e Burger e Richter (1991) citam as que podem influenciar na qualidade da madeira: casca, câmbio, anéis de crescimento (lenho inicial e lenho tardio), proporção de cerne e alburno, raios, medula, traqueídes/fibras, vasos, parênquima axial, dentre outros. Essas características influenciam diretamente na densidade básica, instabilidade dimensional, resistência mecânica, durabilidade natural, permeabilidade e trabalhabilidade.

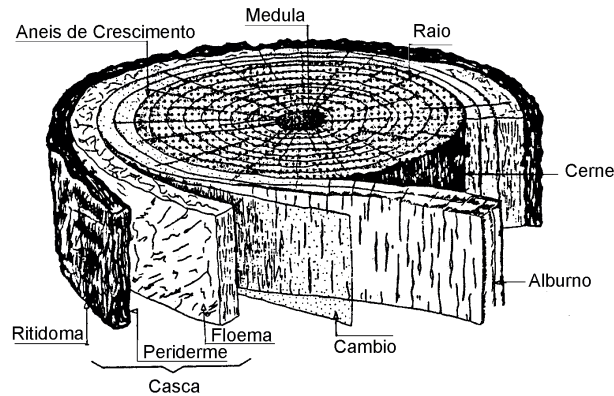
Desta forma, o objetivo desse trabalho foi elencar alguns tópicos importantes sobre as características anatômicas de madeiras de Angiospermas e Gimnospermas. Além disso, determinar como características anatômicas podem influenciar nas propriedades físicas e mecânicas da madeira.

■ DESENVOLVIMENTO

Estrutura macroscópica do tronco de Gimnospermas e Angiospermas

Em seção radial de um tronco típico, se destacam macroscopicamente (Figura 1): casca, câmbio, alburno, cerne, raio, medula e anéis de crescimento. Essas estruturas desempenham funções vitais na madeira e elas serão discutidas a seguir.

Figura 1. Seção macroscópica de um tronco.



Fonte: Adaptado de Burger e Richter (1991).

Casca

A casca é constituída internamente pelo floema e externamente pelo ritidoma e periderme (Figura 1). O revestimento da casca por esses tecidos afere uma condição isolante nas árvores, impedindo que pragas e doenças se estabeleçam nos troncos (FILIZOLA e SAMPAIO, 2015). Burger e Richter (1991) citam algumas das funções da casca: i) injúrias mecânicas, ii) proteção biológica contra agentes deterioradores, iii) proteção contra adversidades climáticas e iv) auxiliar na identificação de espécies, dentre outros.

Vale ressaltar que, por muito tempo, a casca foi desprezada como um componente econômico da árvore. Atualmente, a casca é aproveitada para alimento de gado, colas, produtos farmacêuticos e perfumaria (BURGER e RICHTER, 1991), bem como para a geração de energia (SETTE JÚNIOR *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2021).

Câmbio

O câmbio vascular se localiza entre a casca e o lenho (Figura 1) e é visível somente em laboratório (BURGER e RICHTER, 1991). Ainda de acordo com esses autores, é um tecido vivo e estreito, formado por células que estão em constantes transformações. O câmbio é formado por uma camada de células e é caracterizado por possuir paredes delgadas, vacúolos pequenos e protoplasto vivo em sua estrutura (VEIGA e COSTA, 2018). Além disso, de acordo com esses autores, o câmbio é considerado um tecido meristemático secundário, ou seja, apto para gerar novos elementos celulares.

O câmbio vascular permanece ativo por toda a vida do vegetal e é responsável pela produção do xilema e floema secundários (BURGER e RICHTER, 1991). A produção do xilema secundário é mais acentuada que a do floema secundário (CANHOTO, 2018) e, além disso, está localizado em uma porção mais interna do tronco.

Desta forma, pode-se afirmar que o câmbio vascular é considerado uma das principais estruturas para o crescimento das árvores, tanto em altura, quanto em diâmetro, principalmente pelas sucessivas divisões para a geração de novos elementos celulares. Além disso, a atividade cambial é sensivelmente influenciada pelas condições climáticas (BURGER e RICHTER, 1991; ANDREACCI *et al.*, 2017), que pode influenciar nas diversas propriedades da madeira.

Anéis de Crescimento (lenho inicial e lenho tardio)

Anéis de crescimento são estruturas presentes no tronco da madeira que, em regiões de climas temperados, representam o incremento anual da árvore, onde um novo anel é acrescentado a cada ano (BURGER e RICHTER, 1991). No entanto, pesquisas tem revelado situações diferentes em regiões tropicais e subtropicais, principalmente devido ao variado ritmo de crescimento das árvores (BOTOSSO e MATTOS, 2002; ROQUETTE *et al.*, 2019). Os anéis de crescimento são formados pelo lenho inicial e pelo lenho tardio.

O lenho inicial representa o início do crescimento vegetativo da árvores. A atividade cambial, que conduz a formação do lenho inicial e do lenho tardio, sofre influência direta dos fatores climáticos (ROQUETTE *et al.*, 2019). A formação do lenho inicial ocorre geralmente no período chuvoso – primavera, onde as plantas despertam de sua dormência e readquirem suas atividades fisiológicas, apresentando células de paredes finas e lumes grandes (BURGER e RICHTER, 1991; BOTOSSO e MATTOS, 2002). Esses autores ainda afirmam que, quando o período vegetativo chega ao fim com o término do período chuvoso, as células diminuem pouco a pouco suas atividades fisiológicas, tornando as paredes celulares mais espessas, com pequenas cavidades (lumes pequenos), formando, desta forma, o lenho tardio. O lenho inicial se caracteriza pela sua coloração clara e menor densidade, já o lenho tardio pela sua coloração escura e maior densidade.

O contraste de cores ajuda na visualização dos anéis de crescimento em diversas espécies, principalmente nas Gimnospermas, como, por exemplo, em madeira de pinus em plantio comerciais. Nas Angiospermas, os anéis de crescimento têm diferentes padrões de características anatômicas, com maior complexidade e variação na formação das camadas de crescimento (BOTOSSO e MATTOS, 2002).

Burger e Richter (1991) afirmam que os anéis de crescimento, nas Angiospermas, podem se destacar por algumas características, tais como: i) Presença de uma faixa de células parenquimáticas nos limites dos anéis de crescimento; ii) Alargamento dos raios nos limites dos anéis de crescimento; e iii) concentração ou maior dimensão dos poros no início do período vegetativo.

Além disso, Roquette *et al.* 2019 afirmam que os anéis de crescimento podem variar dentro de um mesmo indivíduo, entre espécies, por fatores ambientais adversos, entre outros. Também podem ocorrer algumas deformidades nas árvores em relação aos anéis de crescimento, como por exemplo, a existência de anéis que não formam um círculo completo em torno da medula e falsos anéis – situação que ocorre quando há formação de mais um anel no período vegetativo (BOTOSSO e MATTOS, 2002).

Cerne e Alburno

O cerne e o alburno são duas estruturas macroscópicas da madeira que estão relacionadas à fisiologia da árvore, bem como, na sua futura utilização do ponto de vista tecnológico. O alburno é formado por células fisiologicamente ativas e, quando se tornam inativas, formam o cerne (LIMA *et al.*, 2021). Ainda de acordo com esses autores, o alburno possui como características: baixa durabilidade natural, coloração clara e função de condução ascendente de água e solutos; enquanto o cerne possui uma coloração mais escura, de maior densidade e, por possuir resinas, gomas, compostas fenólicas e óleos em sua estrutura, apresenta maior durabilidade natural ao ataque de xilófagos.

Para produção de móveis e pisos de alta densidade, é desejável maior quantidade de cerne, enquanto para o tratamento preservativo da madeira para sua utilização na sua forma sólida, como mourão de cercas, é desejável maior quantidade de alburno (por ser a parte permeável/tratável da madeira) (PEREIRA *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2019). Burger e Richter (1991) afirmam que a proporção de cerne e alburno varia entre as gimnospermas e as angiospermas, bem como, dentro da própria árvore, mesma espécie, idade, sítio, solo e clima.

Raios

Os raios são faixas horizontais de comprimento indefinido, ajustadas radialmente no tronco e formadas por células parenquimáticas (BURGER e RICHTER, 1991; BOTOSSO, 2011; ARAÚJO, 2020). De acordo com esses autores, sua função é servir de depósito e deslocamento de substâncias nutritivas do floema para o xilema e de água do xilema para o floema. Os raios que se localizam próximo a medula são chamados de raio medular e são formados nos primeiros anos de crescimento (BURGER e RICHTER, 1991).

No entanto, apesar dos raios fazerem parte da estrutura macroscópica da planta, são observáveis a olho nu somente quando são extremamente largos e altos (BURGER e RICHTER, 1991). Na identificação macroscópica, os raios são mais perceptíveis através de cortes nos planos radial e tangencial (BOTOSSO, 2011). Há grande variação nas espécies quanto à altura dos raios. Burger e Richter (1991) cita algumas espécies de raios altos e largos: *Quercus* sp (carvalho), *Ilex paraguariensis* (erva-mate), *Roupala* sp. (louro-faia), etc.

Quando comparado às células da medula, as células dos raios e dos outros componentes parenquimáticos possuem maior durabilidade (BURGER e RICHTER, 1991). Além disso, os raios, juntamente com os vasos, são determinantes para a textura madeira (BOTOSSO, 2011) e, conseqüentemente, no desdobro da madeira.

Medula

A medula é a estrutura que ocupa a parte central da árvore (Burger e Richter, 1991), caracterizada como a região inicial do crescimento vertical da árvore. De acordo com Coradin (2002) quando as plantas são jovens, novas camadas lenhosas são adicionadas em torno da medula e esse fato só ocorre quando há crescimento do lenho pelo xilema secundário.

A medula tem a função de armazenar substâncias nutritivas e por esse motivo, de acordo com Rezende (2018), é altamente suscetível a apodrecimento por fungos e outros agentes deterioradores, podendo originar em toras ocas. Seu tamanho, coloração e forma são variáveis.

Estrutura microscópica da madeira de Gimnospermas: Traqueídes longitudinais

Nas Gimnospermas, os traqueídes (Figura 2) exercem a função de sustentação mecânica e condução ascendente de líquido, ao mesmo tempo em que nas Angiospermas, essas funções são exercidas pelas fibras e vasos. São células alongadas e estreitas, pontiagudas e ocupam 95% do volume da madeira (BURGER e RICHTER, 1991).

Figura 2. Traqueídes.



Fonte: Adaptado de Castro (2021)

Além disso, é caracterizado por possuírem paredes secundárias espessadas (GODOFREDO, 2009) e pontuações areoladas, pelos quais os líquidos passam de célula a célula. Quando comparado aos vasos, os traqueídes são tidos como mais primitivos (EITELVEN *et al.*, 2017).

A dimensão dos traqueídes pode variar conforme a espécie, idade da árvore e localização da célula no tronco (BURGER e RICHTER, 1991) e é essencial sua determinação para melhor direcionamento tecnológico da madeira. Estudos tem revelado variações nas dimensões dos traqueídes: Vivian *et al.* (2015), analisando os traqueídes para a produção de polpa celulósica kraft, encontraram comprimento médio de 3,50 mm para *Pinus taeda* L. aos 21 anos de idade e 3,10 mm para *Pinus sylvestris* L. aos 45 anos. Tomazello Filho (1987)

analisando o comprimento de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. aos 11 anos, encontraram média de 3,86 mm. Corrêa e Bellote (2011) analisando o comprimento de traqueídes de *Pinus caribaea* Morelet em várias idades, obtiveram variação de 3,8 a 4,6 mm. Ampessa *et al.* (2015) avaliando o comprimento de traqueídes de *Pinus taeda* L. em diferentes idades, encontraram média de 3,7 mm. De forma geral, pode-se afirmar que o comprimento dos traqueídes variam entre 2 a 5 mm (BURGER e RICHTER, 1991). Além do comprimento, esses autores determinaram medidas de largura, diâmetro do lume e espessura da parede. Nesses trabalhos, foram encontrados variações de 40,55 µm a 46,25 µm para largura, de 26,03 µm a 33 µm para diâmetro do lume e de 6,08 µm a 7,59 µm para espessura da parede.

Estrutura microscópica da madeira de Gimnospermas: Parênquima radial (raios)

Os raios nas Gimnospermas são faixas de células, de dimensões variáveis que se estendem radialmente no lenho, em sentido perpendicular aos traqueídes (BURGER e RICHTER, 1991). Ainda de acordo com esses autores, nas Gimnospermas podem se apresentar de duas maneiras: i) raios homogêneos, constituídos de unicamente de células parenquimáticas; ii) raios heterogêneos, com a presença de traqueídes associadas ao parênquima. Além disso, pode-se afirmar que os raios nas gimnospermas são finos, unisseriados e essenciais para identificação de madeiras.

Estrutura microscópica da madeira de Gimnospermas: Células epiteliais e canais resiníferos

As células epiteliais delimitam os canais resiníferos e são responsáveis pela produção de resinas na árvore (BURGER e RICHTER, 1991). De acordo com esses autores, essas células são morfologicamente curtas, hexagonais e contém um núcleo grande e um denso citoplasma. Os canais resiníferos podem ser definidos como canais que armazenam resina.

Os canais resiníferos longitudinais ocupam o lenho na posição vertical, enquanto que os radiais ocupam o lenho na posição horizontal. Estão presentes principalmente nas gimnospermas e podem ser visto a olho nu em algumas espécies. Para Oliveira (2011) as resinas são compostos químicos formados por processo metabólicos na maioria das Gimnospermas e possuem a função de proteção contra animais e insetos. Além disso, as resinas são aproveitadas comercialmente como matéria-prima na produção de tintas, vernizes, inseticidas e etc.

Estrutura microscópica da madeira de Angiospermas: Vasos

São estruturas que ocorrem nas espécies das Angiospermas e constituem como o principal elemento de diferenciação entre as Gimnospermas (BURGER e RICHTER, 1991;

BOTTOSSO, 2011). Ainda de acordo com esses autores, os vasos (Figura 3) são um conjunto de células sobrepostas, longitudinalmente, com função de condução ascendente de líquido. Esse conjunto de células vão influenciar nos usos da madeira, por exemplo, na secagem da madeira, impregnação de produtos preservativos, entre outros (LIMA *et al.*, 2021).

Figura 3. Elementos de vaso.



Fonte: Adaptado de Castro (2021).

Para fazer a condução ascendente de líquidos, os vasos possuem elementos em suas extremidades denominados placas de perfuração, classificadas em simples ou múltiplas (esalariforme, reticulada e foraminada) (BURGER e RICHTER, 1991). De acordo com esses autores, além das placas de perfuração, os vasos possuem pontuações em suas paredes laterais, cuja função é de comunicação com as células vizinhas.

Deve ser salientado que as dimensões dos vasos influencia diretamente nos processos fisiológicos de transporte de líquidos e em diversas propriedades da madeira, como por exemplo, na sua densidade (SETTE *et al.*, 2012). Desta forma, as dimensões dos vasos, como diâmetro tangencial, frequência e área ocupada devem ser determinados na avaliação da qualidade da madeira. Diâmetro tangencial é considerado pequeno quando for menor que 100 μm ; médio entre 100 μm a 200 μm ; e grande acima de 200 μm (BOTOSSO, 2011). Ainda de acordo com esse autor, a frequência dos vasos pode ser classificado em quatro classes: i) Muito poucos: menos de 5 poros/ mm^2 ; ii) Poucos: de 5 a 20/ mm^2 , iii) Numerosos: de 20 a 40/ mm^2 e iii) Muito numerosos: mais de 40/ mm^2 .

Na seção transversal, os vasos recebem o nome de poros (BURGER e RICHTER, 1991) e podem ser classificados de acordo com seu agrupamento e disposição em relação aos anéis de crescimento. Quanto ao agrupamento, os poros podem ser classificados em simples e múltiplos (radiais, tangenciais ou racemiformes), enquanto para sua disposição em relação aos anéis de crescimento, podem ser classificados em difusa (uniforme e não uniforme) e em anel (circular e semicircular) (BURGER e RICHTER, 1991).

Alguns trabalhos evidenciaram a importância dos estudos da caracterização anatômica dos vasos para avaliar a qualidade da madeira para sua aplicação tecnológica, como por exemplo, para aplicação como mourão e para geração de energia (SETTE *et al.*, 2012; FREITAS *et al.*, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2018; GIL *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018; LIMA

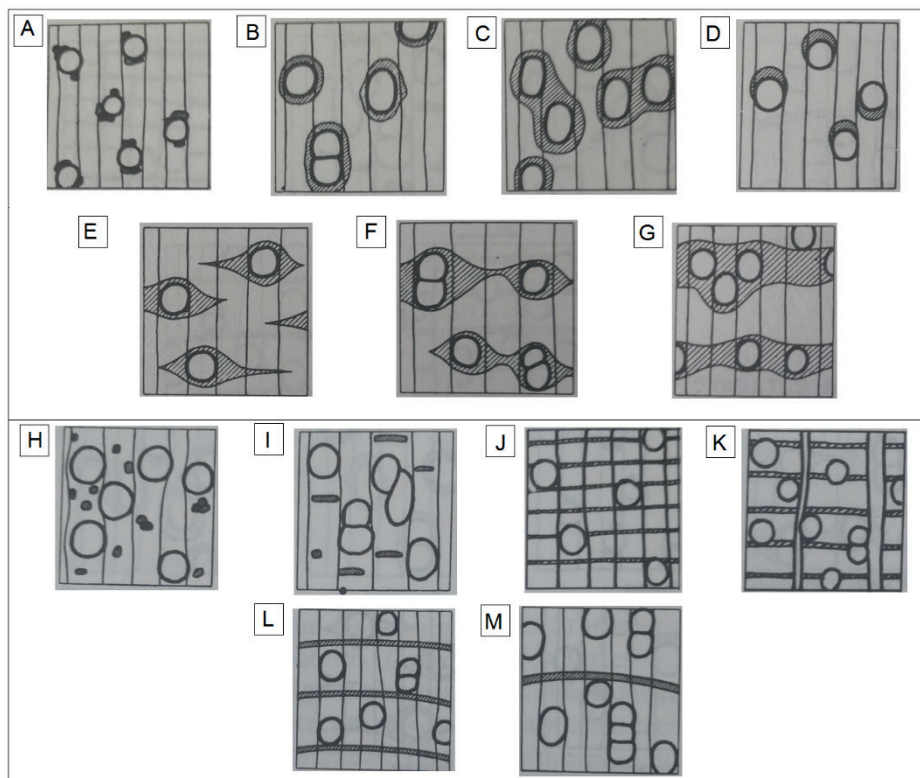
et al., 2019). As dimensões dos vasos podem variar conforme a idade, material genético, local de crescimento, entre gêneros, espécies de um mesmo gênero, árvores dentro de uma mesma espécie; e em diferentes posições longitudinais e radiais na árvore (LIMA *et al.*, 2021).

Estrutura microscópica da madeira de Angiospermas: Parênquima axial

O parênquima axial apresenta a função de armazenamento e é mais abundante nas Angiospermas do que nas Gimnospermas (BURGER e RICHTER, 1991). Ainda de acordo com esses autores, o parênquima axial apresenta paredes finas e não lignificadas, pontuações simples e, no plano longitudinal, possui forma retangular ou fusiforme. Botosso (2011) afirma que o parênquima axial pode ser distribuídos em dois tipos: i) apotraqueal, quando não está associado ao vaso e ii) paratraqueal, quando está associado aos vasos.

Burger e Richter (1991) classifica o parênquima axial paratraqueal em sete tipos: i) escasso (Figura 4A), ii) vasicêntrico (Figura 4B), iii) vasicêntrico confluyente (Figura 4C), iv) unilateral (Figura 4D), v) aliforme (Figura 4E), vi) aliforme confluyente (Figura 4F) e vii) em faixas (Figura 4G); enquanto o parênquima apotraqueal é classificado em seis tipos: i) difuso (Figura 4H), ii) difuso em agregados (Figura 4I), iii) reticulado (Figura 4J), iv) escalariforme (Figura 4K), v) em faixas (Figura 4L) e vi) marginal (Figura 4M). Alguns trabalhos descrevem o parênquima axial para avaliar a qualidade da madeira para sua aplicação tecnológica (SOUSA, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2006; VALENTE *et al.*, 2013).

Figura 4. Tipos de parênquima axial paratraqueal (A, B, C, D, E, F e G) e apotraqueal (H, I, J, K, L e M) em seção transversal.



Onde: A: escasso, B: vasicêntrico, C: vasicêntrico confluyente, D: unilateral, E: aliforme, F: aliforme confluyente, G: em faixas, H: difuso, I: difuso em agregados, J: reticulado, K: escalariforme, L: em faixas e M: marginal. Fonte: Adaptado de Burger e Richter (1991).

Estrutura microscópica da madeira de Angiospermas: Fibras

As fibras (Figura 5) são células esbeltas, com extremidades afiladas, mais curtas que os traqueídes, pontiagudos, com poucas pontoações (BURGER e RICHTER, 1991) e possuem como principal função a de sustentação mecânica do tronco da árvore (RIBEIRO *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2019). De acordo com esses autores, a morfologia das fibras variam entre espécies, árvores, dentro de uma mesma árvore e influencias ambientais, influenciando diretamente na utilização da madeira.

Figura 5. Fibras.



Fonte: Adaptado de Castro (2021).

As fibras produzidas na região cambial são largas com acentuados diâmetros de lume (RIBEIRO *et al.*, 2011) e sua variação no sentido medula-casca é crescente (SILVA *et al.*, 2005). No sentido longitudinal, alguns autores sugerem aumento do comprimento, espessura da parede, largura e diâmetro do lume das fibras sentido base-topo (LIMA *et al.*, 2019; GONÇALEZ *et al.*, 2014).

Dentre as propriedades da madeira, a densidade básica e a resistência mecânica são fortemente influenciadas pelas dimensões das fibras. Alguns trabalhos avaliaram o comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras para determinar a qualidade da madeira e determinar o melhor tipo de uso (ROCHA *et al.*, 2004; QUILHÓ *et al.*, 2006; FLORSHEIM *et al.*, 2009; SETTE *et al.*, 2012; FREITAS *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019). BURGER e RICHTER (1991) afirmam que o comprimento das fibras varia de 0,5 a 2,5 mm.

Estrutura microscópica da madeira de Angiospermas: Parênquima radial (raios)

Assim como nas Gimnospermas, o parênquima radial nas Angiospermas tem a função armazenamento e condução radial de substâncias. Se diferenciam do parênquima radial das Gimnospermas pois apresentam uma morfologia mais complexa, variando em tipo, número e tamanho de célula (BURGER e RICHTER, 1991). Nas Angiospermas, o parênquima radial é organizado no sentido horizontal do câmbio para a medula e faz parte do xilema secundário (BOTOSSO, 2011; ARAÚJO 2020).

O parênquima radial pode ser classificado em homogêneos e heterogêneos. De acordo com Burger e Richter (1991), são homogêneos quando são formados por células de um único formato enquanto heterogêneos são constituídos por células de mais de um formato. Assim

como nas Gimnospermas, tecidos parenquimáticos possuem influencia direta na densidade e resistência mecânica da madeira.

Anatomia da madeira x Densidade da madeira

A densidade é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira do ponto de vista tecnológico e os componentes anatômicos influenciam diretamente nessa propriedade, conforme observado por Lima *et al.* (2019). Densidade básica pode ser definida como quantidade de material lenhoso por unidade de volume, geralmente expressa por g.cm^{-3} .

Dentre os componentes anatômicos, os que mais influenciam na densidade básica são as fibras/traqueídes, raios e a proporção de lenho inicial e tardio nos anéis de crescimento (BURGER e RICHTER, 1991). Conforme observado por esses autores, existe uma relação direta entre volume de fibras/traqueídes com a densidade: quanto maior o volume de fibras/traqueídes, maior a densidade. Além disso, a densidade da madeira varia de 0,13 a 1,4 g.cm^{-3} (BURGER e RICHTER, 1991). Alguns trabalhos determinaram a densidade para avaliar a qualidade da madeira e determinar sua melhor forma de utilização (CARNEIRO *et al.*, 2014; PEREIRA *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2019).

Anatomia da madeira x Instabilidade dimensional

A madeira é um material altamente higroscópico e, por isso, pode absorver ou perder umidade para o ambiente, apresentando fenômenos de inchamento e contração (BURGER e RICHTER, 1991; MELO, 2013). De acordo com esses autores, quando a madeira absorve água ocorre o processo de inchamento e quando libera, ocorre a contração.

Em relação aos componentes anatômicos, madeiras de alta densidade que possuem paredes de fibras/traqueídes mais espessas, apresentam maior instabilidade dimensional (Burger e Richter, 1991). Além desses fatores, vale ressaltar que a instabilidade dimensional ocorre, também, devido ao teor de umidade, espécie, direção da grã, entre outros (MELO, 2013).

Dessa forma, é essencial o estudo da instabilidade dimensional na madeira para determinar sua finalidade (LIMA *et al.*, 2021). De acordo com esses autores, a partir de estudos é possível fazer uso inteligente da madeira na confecção de produtos que necessitam de menor instabilidade. Além disso, diferentes técnicas de desdobros de toras podem auxiliar na instabilidade dimensional da madeira.

Anatomia da madeira x Resistência mecânica

A maior ou menor resistência mecânica da madeira está diretamente relacionada com sua densidade, conforme observado por Dias e Lahr (2004), Moreira e Moutinho (2018) e Mustefaga *et al.* (2019). Além da densidade, a resistência mecânica se modifica a partir das características dos componentes anatômicos da madeira, como por exemplo, pelo comprimento e largura de fibras/traqueídes, dimensão e distribuição dos vasos, abundância e distribuição de parênquima axial, entre outros (BURGER e RICHTER, 1991; ARAÚJO, 2020). As relações entre densidade, componentes anatômicos e a resistência mecânica é um fato comprovado pela literatura (COSTA *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2019). Burger e Richter (1991) citam outros elementos anatômicos que influenciam na resistência mecânica: porcentagem de lenho tardio e inicial, regularidade na largura dos anéis de crescimento e disposição dos elementos anatômicos em relação ao eixo longitudinal do tronco.

Anatomia da madeira x Durabilidade natural

Durabilidade natural é definida como a resistência, ou vida útil da madeira, quando exposta a fatores bióticos e abióticos, como, por exemplo, a ataques de fungos e insetos, bem como à ação de intemperes (LIMA *et al.*, 2021). De acordo com esses autores, esses fatores influenciam diretamente na qualidade da madeira. Alguns estudos demonstram que a durabilidade natural está diretamente associada à densidade da madeira (GONÇALVES *et al.*, 2013; PALMA *et al.*, 2018).

De maneira geral, madeiras de alta densidade apresentam maior durabilidade, devido à presença de substâncias especiais, como sílica, alcaloides e taninos impregnados nas paredes de suas células, que impedem a ação de agentes degradadores da madeira (BURGER e RICHTER, 1991). Por outro lado, esses autores afirmam que maior quantidade de tecido parenquimático, como raios e parênquima axial, proporciona menor durabilidade natural à madeira. Esse fato é explicado uma vez que esses tecidos são ricos em amidos, açúcares e proteína, atraindo agentes deterioradores para a madeira.

Anatomia da madeira x Permeabilidade e Trabalhabilidade

A permeabilidade é uma propriedade essencial no tratamento preservativo da madeira (LIMA *et al.*, 2019), fabricação de polpa e papel e na secagem (Burger e Richter, 1991) e pode ser entendido como a maior ou menor facilidade de fluxo de líquido ou gases na madeira. Burger e Richter (1991) afirmam que o tamanho, abundância e distribuição dos vasos nas Angiospermas, dos traqueídes nas Gimnospermas e dos raios em ambas, influenciam diretamente na penetração ou eliminam de líquidos na madeira. Além dessas estruturas,

esses autores citam algumas particularidades que influenciam na permeabilidade da madeira: i) lenho inicial com porosidade em anel é mais permeável que o lenho tardio, ii) parênquima é mais permeável que a fibra e iii) alborno é mais permeável que o cerne.

A trabalhabilidade é o grau de facilidade de se processar a madeira. Os fatores que influenciam na trabalhabilidade (desdobro) são: direção dos componentes anatômicos em relação ao eixo do tronco, madeiras de baixas densidade e presença de substâncias especiais, etc (Burger e Richter, 1991).

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização anatômica é requisito essencial para a utilização adequada da madeira. Cada elemento anatômico que compõe a madeira influencia nas suas diversas propriedades, sejam elas físicas ou mecânicas. Em outras palavras, para estabelecer a melhor aplicabilidade de uma madeira é preciso conhecer a relação entre os componentes anatômicos e suas propriedades, resultando no aumento da eficiência e produtividade em seus diversos usos.

■ REFERÊNCIAS

1. AMPESSA, C. G. M.; RIOS, P. D.; VIEIRA, H. C.; BRAND, M. A.; BUSS, R.; KNISS, D. D. C.; MORI, F. A.; AMARAL, R. S. Qualidade dos traqueídeos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades para a indústria de celulose e papel. In: II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, 2015, Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte: CBCTEM, 2015, p. 1-8.
2. ANDREACCI, F.; BOTOSSO, P. C.; GALVÃO, F. Fenologia Vegetativa e Crescimento de *Cedrela fissilis* na Floresta Atlântica, Paraná, Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, s/n., p. 1-11, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.024115>.
3. ARAÚJO, H. J. B. Caracterização do material madeira. In: SEABRA, G. (Ed.). **Educação Ambiental - o Desenvolvimento Sustentável na Economia Globalizada**. Ituiutaba: Barlavento, 2020. p. 31-44.
4. BOTOSSO, P. C. **Identificação macroscópica de madeiras**: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 65 p.
5. BOTOSSO, P. C.; MATTOS, P. P. **Conhecer a Idade das Árvores**: Importância e Aplicação. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 25 p.
6. BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p
7. CANHOTO, J. M. Madeira. **Revista Elementar**, v. 6, n. 4, s/p., 2018. <http://doi.org/10.24927/rce2018.074>

8. CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P. VITAL, B. R. P. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-6762201400020001>
9. CASTRO, N. M. Xilema. Disponível em: < http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/Xilema_texto.htm>. Acesso em 08 nov 2021.
10. CORADIN, V. T. R. **A Estrutura Anatômica da Madeira e Princípios para a sua Identificação**. Brasília: LPF, 2002. 28 p.
11. CORRÊA, R. S.; BELLOTE, A. F. J. Influência do solo na dimensão dos traqueídeos e densidade da madeira de *Pinus caribaea* var. hondurensis. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 93-102, 2011.
12. COSTA, L. J.; LOPES, C. B. S.; REIS, M. F. C.; CÂNDIDO, W. L.; FARIA, B. F. H.; PAULA, M. O. Caracterização anatômica e descrição físico-química e mecânica da madeira de *Mimosa schomburgkii*. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 4, p. 383 -390, 2017. <https://doi.org/10.5380/rf.v47i4.54471>
13. DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 65, s/n., p. 102-113, 2004.
14. EITELVEN, T.; LUVISON, F.; SEVERO, T. C. Xilema: fatores externos que influenciam no seu funcionamento, conectando o cotidiano ao científico. **Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada**, Caxias do Sul, v. 3, n. 3, p. 1-5, 2017.
15. FILIZOLA, B. C.; SAMPAIO, M. B. **Boas Práticas de Manejo para o Extrativismo Sustentável de Cascas**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza, 2015. 108 p.
16. FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z.; LIMA, I. L.; LONGUI, E. L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 79-91, 2009.
17. FREITAS, P. C. E.; SETTE JUNIOR, C. R.; CASTRO, V. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAIX, G.; LACLAU, J.P. Efeito da disponibilidade hídrica e da aplicação de potássio e sódio nas características anatômicas do lenho juvenil de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, p. 405-416, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000200020>
18. GIL, J.; BARBOZA, F.; CONEGLIAN, A.; SILVA, M. F.; MORAES, M. D. A.; SETTE JÚNIOR, C.R. Características físicas e anatômicas da madeira de *Tectona grandis* L.f. aos 7 anos de idade. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, p. 529-538, 2018. <https://doi.org/10.19084/RCA17149>
19. GODOFREDO, V. R. **Ontogênese, função e evolução das traqueídes vasculares em cactaceae, tendo como modelo o cacto colunar Pilosocereus Aurisetus (Wedern.) Byles & G. D. Rowley**. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 103. 2009.
20. GONÇALEZ, J. C.; SANTOS, G. L.; SILVA JÚNIOR, F. G.; MARTINS, I. S.; COSTA, J.A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

21. GONÇALVES, F. G.; PINHEIRO, D. T. C.; PAES, J. B.; CARVALHO, A. G.; OLIVEIRA, G. L. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 1, p. 110-116, 2013. <https://doi.org/10.4322/flo-ram.2012.063>
22. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório anual 2020**, ano base 2019. São Paulo: IBÁ, 2020. 66 p.
23. LIMA, P. A. F. L.; SIQUEIRA, B. L.; SETTE JÚNIOR, C. R. Qualidade da madeira de eucalipto antes e após o tratamento preservativo para uso como mourões de cerca. In: EVANGELISTA, W. V. (Ed.). **Madeiras Nativas e Plantadas do Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades**. Guarujá: Editora Científica, 2021. p. 319-339.
24. LIMA, P. A. F.; DEMARCHI, J.; SILVA, M. F.; MORAES, M. D. A.; CALDAS, D. J.; SETTE JÚNIOR, C. R. Qualidade da madeira de eucalipto para aplicação como mourão tratado. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42, n. 2, p. 509-519, 2019.
25. MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 2, p. 152-175, 2013.
26. MOREIRA, L. S.; MOUTINHO, V. H. P. Densidade básica e resistência mecânica de madeiras de resíduos florestais da região amazônica. **Agroecossistemas**, Belém, v. 10, n. 2, p. 64-81, 2018. <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v10i2.5160>
27. MUSTEFAGA, E. C.; HILLING, E.; TAVARES, E. L.; SOZIM, P. C. L.; RUSCH, F. Caracterização físico-mecânica da madeira juvenil de *Pinus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 47, n. 123, p. 472-481, 2019. <http://doi.org/10.18671/scifor.v47n123.09>
28. OLIVEIRA, E.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; LUCIA, R. M. D.; LADEIRA, A. M. M.; CARNEIRO, A. C. O. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 311-318, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000200018>
29. OLIVEIRA, J. N. B. **Anatomia das plantas superiores**. Ponta Delgada: Universidade de Açores, 2011. 513 p.
30. PALMA, V. L.; SANTINI, E. J.; SILVEIRA, A. G.; TALGATTI, M. Durabilidade natural e resistência mecânica de madeiras de rápido crescimento após ensaios de campo. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 3, p. 339-343, 2018.
31. PEREIRA, B. L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; OLIVEIRA, A. C.; SANTOS, L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; MAGALHÃES, M. A. Efeito da carbonização da madeira na estrutura anatômica e densidade do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 545-557, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509822755>
32. PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, L. C. Correlações entre a relação Cerne/Alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.41, n.98, p.217-225, 2013.
33. QUILHÓ, T.; MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). **IAWA Journal**, s/loc., v. 27, n. 3, p. 243-254, 2006. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000152>

34. REZENDE, S. S. **Dimensionamento de estruturas de madeira tropical utilizando a densidade básica - madeira verde método DePaula&Bessa**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC em Engenharia Civil), Centro Universitário de Brasília. Brasília, p. 177. 2018.
35. RIBEIRO, A. O.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Características das dimensões das fibras e análise do ângulo microfibrilar de *Toona ciliata* cultivada em diferentes localidades. **Floresta**, Curitiba v. 41, n. 1, p. 47-56, jan./mar, 2011. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i1.21179>
36. ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-45, 2004.
37. RODRIGUES, P. M. M.; CONEGLIAN, A.; SILVA, M. F.; MORAES, M. D. A.; SETTE JUNIOR, C.R. Characterization of *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake and *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake juvenile wood in Brazilian Savanna soil. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 2, p. 539-547, 2018. <https://doi.org/10.19084/RCA17276>
38. ROQUETTE, J. G.; LOBO, F. A.; CURADO, L. F. A. Dendroclimatologia na Amazônia: aplicações e potencialidades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n 1, p. 451-462, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509831995>
39. SETTE JÚNIOR, C. R.; CUNHA, T. Q. G.; CONEGLIAN, A.; HANSTED, A. L. S.; SILVA, D. A.; LIMA, P. A. F.; SILVA, M. F.; YAMAJI, F. Does the presence of bark in the wood of fast-growing forest species significantly change the energy potential?. **BioEnergy Research**, s/loc., v. 13, p. 1-7, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10115-w>
40. SETTE JÚNIOR, C. R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000600019>
41. SILVA, J. R. M.; MUÑIZ, G. I. B; LIMA, T. J.; BONDUELLE A. F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa v. 29, n. 3, p. 479-487, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000300016>
42. SILVA, M. F.; FORTES, M.; SETTE JUNIOR, C.R. Characteristics of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 25, s/n., p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.035016>
43. SOUSA, L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 93. 2004.
44. SOUZA, B. R.; MORAES, M. D. A.; BARBOZA, F. S.; CONEGLIAN, A.; SETTE JÚNIOR, C. R. The presence of bark in *Acacia mangium* wood improves its energetic potential. **Floresta**, Curitiba, v. 51, n. 1, p. 54-60, 2021. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v51i1.67299>
45. TOMAZELLO FILHO, M. Análise da madeira de compressão em *Pinus oocarpa* estrutura anatômica e quantificação. **IPEF**, v. 37, s/n., p. 61-68, 1987.
46. VALENTE, B. M. R. T.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; LUCIA, R. M. D. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia Forestales**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 485-496, 2013.

47. VEIGA, M. G.; COSTA, L. T. Bases de anatomia para compreensão de aspectos funcionais da madeira. In: DELLA, A. P. (Ed). **VIII Botânica no Inverno 2018**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica, 2018. P. 168-174
48. VIVIAN, M. A.; SEGURA, T. E. S.; BONFATTI JÚNIOR, E. A.; SARTO, C.; SCHMIDT, F.; SILVA JÚNIOR, F. G.; GABOV, K.; FARDIM, P. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 183-191, 2015.

Variação anatômica da madeira de clones de eucalipto sob diferentes condições de temperatura

| **Ricardo Marques Barreiros**
UNESP

| **Gabriela Lima dos Anjos**
UNESP

| **Cantídio Fernando Gouvêa**
UFS

| **Vinícius Gontijo Rodrigues Roque**
Grupo RB

| **Kelly Bossardi Dias**
UNESP

| **Alessandra Maria Ferreira Reis**
UFS

| **Gilmar Correia Silva**
UESB

RESUMO

Devido à escassez de madeira para usos mais nobres, torna-se necessário o uso de espécies alternativas de origem plantada como o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, em função de suas características permitirem vantagens para a produção industrial. Agregado a isso, o processo de termorreificação pode trazer melhorias na estrutura anatômica da madeira. **Objetivo:** Este trabalho consistiu na termorreificação da madeira de dois clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, nas temperaturas de 140, 160, 180, 200 e 220 °C, e na análise quantitativa das propriedades anatômicas (comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras; número de vasos/mm², diâmetro dos vasos; altura, largura e número de células de raio) da madeira *in natura* e termorreificada. **Método:** A termorreificação ocorreu em peças de madeira de toras basais, conforme Rousset *et al.* (2004) e Calonego (2009), até a temperatura final para cada tratamento; a maceração ocorreu conforme Franklin (1945); e a microtomia foi segundo Kraus e Arduin (1997); as medições dos elementos celulares ocorreram conforme Ceccantini (1996); as análises estatísticas foram realizadas pelo software R, versão 3.5.1. **Resultados:** A análise de variância mostrou que somente algumas variáveis diferenciaram significativamente entre os clones e/ou as temperaturas, tais como: comprimento e diâmetro do lume das fibras; altura, largura e número de células dos raios; e, número de vasos/mm². **Conclusão:** À 5% de confiança, tanto para os clones quanto para as temperaturas, não houve diferença significativa em relação às variáveis de madeira uniforme, constatando-se na necessidade de mais pesquisas sobre o assunto.

Palavras-chave: *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, Termorreificação da Madeira, Anatomia da Madeira.

■ INTRODUÇÃO

A madeira é um conjunto heterogêneo formado por diferentes tipos de células com propriedades específicas para desempenhar funções e ainda a sustentar a planta. Devido à formação complexa da madeira, torna-se necessário aprofundar o seu estudo para entender melhor o que constitui o lenho e o seu comportamento no que diz respeito à sua utilização (BURGER; RICHTER, 1991).

Coradin (2002) afirma que o que torna a madeira atrativa para o seu uso é o fato da variação em sua estrutura, o que possibilita grande diversidade para seu uso e agrega valor à mesma.

A estrutura anatômica da madeira pode ser dividida em macroscópica, a qual confere as características do tronco, que é a casca, o câmbio, os anéis de crescimento, cerne e alburno etc. e microscópica, a qual confere a estrutura da parede celular da madeira. Como também, divide-se em angiospermas e gimnospermas, que possuem diferenças em relação à sua estrutura (BURGER; RICHTER, 1991; KLOCK, 2012).

As angiospermas são vegetais mais evoluídos, sendo assim, sua estrutura anatômica é mais complexa do que as gimnospermas, oferecendo um maior número de características para a sua identificação. Os aspectos microscópicos da madeira constituem na anatomia caracteres que desempenham as funções de resistência, crescimento e divisão, proteção contra agentes xilófagos, e transporte de substâncias nutritivas dela, dentre outras funções (BURGER; RICHTER, 1991).

Dentre esses caracteres, nas angiospermas, as fibras são células de parede grossa, com vazio interior chamado de lume e são responsáveis pela resistência mecânica da madeira. Os vasos ou poros são células tubulares alongadas, ligadas transversalmente, as quais conduzem a água (seiva bruta) e nutrientes das raízes para a copa. Os raios são células parenquimáticas que possuem função de armazenar, transformar e conduzir a seiva elaborada (GONZAGA, 2006).

De acordo com Filho e Santos (2011), a madeira de eucalipto tem como destino a produção de celulose e papel, geração de energia, biorredutores na siderurgia, manufatura de painéis à base de madeira reconstituída, produção de sólidos madeiráveis a partir de serrados, laminados dentre outros.

A grande vantagem do uso da madeira de *Eucalyptus* é o fato deste gênero apresentar rápido crescimento, excelente forma, ótimos incrementos volumétricos, grande adaptação em diferentes sítios com diferentes condições edafoclimáticas, precocidade e ciclos culturais curtos, além de demonstrar uma silvicultura de bom nível tecnológico que permite adequar a madeira ao fim desejado (IBÁ, 2016).

Segundo Wilcken *et al.* (2008), devido à escassez da madeira para uso nobre advinda de florestas nativas, tornou-se necessária uma alternativa que substituísse de maneira flexível o uso delas, sendo, dessa forma, introduzido o Eucalipto para essa finalidade.

De acordo com o Congresso Brasileiro de Informações sobre Biotecnologia (2008), devido à evolução do plantio do eucalipto no Brasil, tornou-se necessário o desenvolvimento de árvores mais adaptadas a diferentes solos e condições climáticas, que agregassem maior produção, capacidade de adaptação, resistência a algumas doenças e pragas, dentre outras características. Sendo assim, o Eucalipto oferece facilidade para o cruzamento entre diferentes espécies, processo esse conhecido como hibridação.

Assis (1996) afirma que as empresas de celulose têm trabalhado com o *E. grandis* e *E. urophylla* para produção de híbridos, por conta do *E. grandis* possuir rápido crescimento e bom formato do tronco, e do *E. urophylla* possuir boa adaptação e resistência a doenças, em especial ao cancro, com boa capacidade de brotação. Diante disso, a combinação desses fatores torna esse híbrido muito utilizado na indústria.

Em muitos casos, algumas madeiras de eucalipto apresentam certas peculiaridades, como a alta higroscopicidade, anisotropia e degradação biológica, das quais derivam grande parte dos problemas encontrados em seu uso. Devido a essas características, ocorre a necessidade de aplicar tratamentos que permitem a melhoria tecnológica do Eucalipto, a fim de aumentar o leque de utilização do material (CONTE, 2015).

A termorreificação ou retificação térmica é um processo alternativo de agregação de valor à madeira. A madeira termorreificada adquire colorações semelhantes àsquelas de madeiras tropicais de maior valor econômico, além de apresentar melhoria na estabilidade dimensional e resistência aos fungos xilófagos (MOURA; BRITO, 2011).

Segundo Militz (2002), as diferenças entre os processos de termorreificação se dão devido a diferentes variáveis, como por exemplo a temperatura, teor de umidade inicial da madeira, utilização de oxigênio ou nitrogênio, utilização de óleos e/ou processo seco e úmido.

Uma das etapas mais importantes do tratamento térmico é a seleção da faixa de temperatura. Para madeira de folhosas, *Eucalyptus grandis* por exemplo, temperaturas de 120, 140, 160, 180 e 200 °C foram testadas por Pessoa *et al.* (2006), apresentando efeito favorável aquelas de maiores temperaturas.

Ainda, de acordo com esses mesmos autores, o produto obtido através da termorreificação pode ter diversos fins, tais como a construção civil, fabricação de móveis, decorações e pode substituir o tratamento de espécies cuja impregnação com compostos químicos é proibida de acordo com a natureza do uso final da madeira. Complementando, a termorreificação da madeira tem mostrado que o processo operacional e os custos em termos industriais têm-se apresentado compatíveis com o mercado.

A termorretificação faz com que ocorram modificações químicas na madeira, isso porque ocasiona a diminuição do teor de umidade de equilíbrio, com consequente redução de sua higroscopicidade. Sendo assim, ocorre a degradação térmica das hemiceluloses e celulose amorfa concomitante à condensação de lignina; dessa forma, promove-se o aumento, em termos proporcionais, de componentes hidrofóbicos nas amostras pela redução dos hidrofílicos (WINDEISEN *et al.*, 2007).

Neste contexto, setores industriais estão tentando desenvolver protocolos eficientes de termorretificação da madeira de eucalipto de diferentes espécies e de seus híbridos, considerando os clones plantados em cada região. Este estudo deve contribuir para a caracterização da madeira termorretificada, além de avaliar diferentes condições industriais deste processo, provocando de forma geral a redução no conteúdo de hemicelulose, aumento na cristalinidade da celulose e um ligeiro aumento no conteúdo de lignina devido à degradação das hemiceluloses e celulose, sendo que estes componentes sofrem diferentes mudanças dependendo do tipo de molécula e do nível de temperatura (SILVA, 2012).

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a madeira, *in natura* e modificada termicamente, de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, quanto às propriedades anatômicas (comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras; altura, largura e número de células de raio; diâmetro e número de vasos/mm²).

■ MÉTODOS

Material

No presente estudo foram amostradas doze toras basais de árvores de dois clones híbridos (clone H e clone L) de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, sendo seis toras de cada clone (Figura 1). Os clones foram desenvolvidos por polinização aberta, melhorados geneticamente e se adaptaram bem na região, logo são altamente produtivos. Tinham 9 anos de idade e foram plantados por empresa do setor florestal em espaçamento 3,00 m x 1,70 m no município de Buri-SP, Brasil.

Nessa região, o clima predominante é o subtropical úmido Cfa, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger; temperatura média do mês mais quente de 23 °C e temperatura média do mês mais frio de 17 °C; precipitação de 191 mm no verão e 43 mm no inverno; altitude de 600 metros; relevo ondulado; e solo tipo Podzólico (Argissolo) Vermelho-amarelo (PV) predominante e Regossolo (Neossolo).

Figura 1. Toras basais do clone H.



Fonte: A autoria própria (2021).

As árvores escolhidas com maior diâmetro foram abatidas com motosserra. O primeiro seguimento basal de cada árvore, com 200 mm de comprimento, foi transportado em caminhão até uma serraria ainda com casca e coberto com lona, para maior proteção contra o vento, evitando, assim, uma secagem mais rápida.

Na serraria, as toras foram desdobradas, retirando-se tábuas centralizadas em relação à medula, uma de cada lado desta (entre a medula e a periferia para aumentar a carga na estufa), secas ao ar e desempenadas, na espessura de 25,4 mm e largura variada em relação ao diâmetro dessas toras (Figura 2).

Figura 2. Tábuas retiradas das toras dos clones H e L em secagem ao ar.



Fonte: A autoria própria (2021).

Termorretificação

De cada uma das tábuas, foram retiradas as suas extremidades, pois continham rachaduras, e depois cortadas em duas peças de 700 mm de comprimento (repetições), que tiveram seus topos selados com pasta silicone (Figura 3A), apropriada para alta temperatura, sendo posteriormente acomodadas em estufa elétrica para a termorretificação (Figura

3B), com exceção das testemunhas, as quais permaneceram “in natura” para comparação àquelas que receberam os tratamentos de termorretificação.

Figura 3. Preparo (A) e acomodação (B) das peças de madeira para a termorretificação.



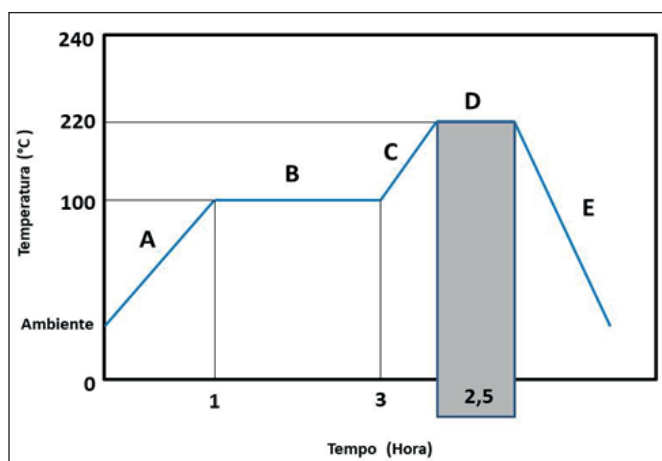
Fonte: Autorial própria (2021).

Foram definidos seis tratamentos de temperatura para cada clone, sendo eles: *in natura* (103 °C), 140, 160, 180, 200 e 220 °C; onde, duas peças de cada tábua e de cada clone foram empilhadas de modo gradeado com tabiques dentro da estufa elétrica.

Após a definição dos tratamentos e conforme as recomendações de Rousset *et al.* (2004) e Calonego (2009) (Figura 4), porém com algumas modificações nas etapas A e B, a carga foi aquecida inicialmente até a temperatura de 103 ± 2 °C (A), onde permaneceu por 14 horas (B). Depois, a carga de madeira seguiu uma taxa de elevação de temperatura de 1,34 °C/min, até a temperatura final desejada para cada tratamento (C), onde permaneceu nessa temperatura por 2,5 horas (D). Logo após, a estufa foi desligada e a carga esfriada até a temperatura ambiente (E).

Considerando a afirmação de Bhuiyan *et al.* (2001), após a primeira hora de termorretificação é que ocorre a cristalização da celulose.

Figura 4. Exemplo de termorretificação da madeira para a temperatura final de 220 °C.



Fonte: Rousset et al. (2004) e Calonego (2009).

Das peças centrais das toras, foram retirados dois sarrafos, um de cada lado da medula, centralizados entre esta e a periferia, na região de transição entre cerne e alburno, e orientados em função dos três planos anatômicos (radial, tangencial e transversal), com medidas de 25 x 25 x 700 mm, que em seguida foram cortados em corpos de prova suficientes para os processos de microtomia e maceração para as determinações anatômicas: comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras; altura, largura e número de células de raio; diâmetro e número de vasos/mm².

Maceração

De cada material e tratamento, foi cortado uma pequena peça de madeira, na qual foi toda picada em pequenos cavacos com espessura e tamanho reduzidos para a dissociação dos elementos celulares, segundo Franklin (1945).

Esses cavacos foram colocados em frascos de vidro contendo solução de ácido acético glacial e água oxigenada 30 volumes, na proporção 1:1. Cada frasco foi vedado e levado à estufa a 60 °C até ficarem transparentes e os cavacos esbranquiçados.

Após esfriar, o material foi lavado em água corrente até a solução ser retirada por completo e com muito cuidado, a fim de evitar rupturas e perdas desse material, ou seja, as fibras dissociadas, e coradas com safranina (1%) em etanol 50%.

Medição das fibras

Com um estilete, foram retiradas algumas dessas fibras e dispostas em lâmina histológica (semipermanente) juntamente com uma gota de glicerina 50% e sob a pressão de uma lamínula. Dessa forma, foram elaboradas 5 lâminas para cada secção e em cada lâmina histológica, com o uso de um microscópio óptico DM2500, câmera DCF295 e *Software Qwin*, todos da marca *Leica*, foram medidas 10 fibras quanto ao comprimento, largura e espessura da parede celular e diâmetro do lume por secção, de modo que foram medidas um total de 50 fibras, conforme Iowa Committee (1989).

Microtomia

De cada material e tratamento, também foram extraído corpos de prova com aproximadamente 1,5 cm³, os quais tiveram suas arestas devidamente orientadas nos planos transversal, radial e tangencial e, em seguida, foram amolecidos em água fervente e detergente na pressão, por aproximadamente 20h, conforme Kraus e Arduin (1997) e Burger e Richter (1991), até atingirem a consistência adequada para os cortes histológicos em micrótomo de deslize *Leica*.

Medição dos raios e vasos

Dos corpos de prova, foram obtidos cortes entre 15 e 20 μm de espessura dos planos transversal e tangencial e colocados em lâminas histológicas semipermanentes. Nessas lâminas, conforme Ceccantini (1996), foram realizadas medições dos elementos celulares: número de vasos/ mm^2 , diâmetro dos vasos e altura e largura dos raios. Para essas medições, também foram utilizados microscópio óptico DM2500, câmera DCF295 e *Software Qwin*, todos da marca *Leica*.

Análise estatística

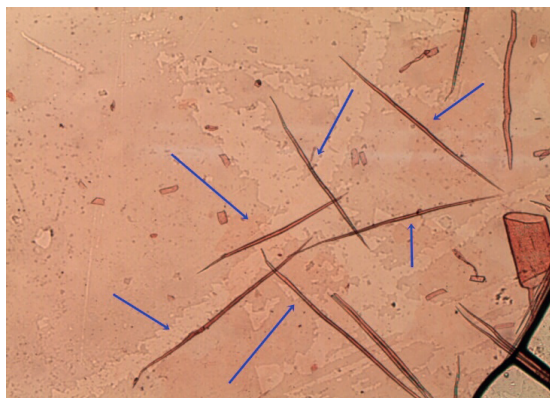
A análise estatística foi feita pelo *software* R versão 3.5.1, onde realizou-se análise de variância fatorial, com significância de 5%.

■ RESULTADOS

Fibras

A Figura 5 apresenta a imagem microscópica dos elementos celulares e destaca as fibras da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* com um aumento de 25 vezes, obtida através da maceração.

Figura 5. Fibras da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* com aumento de 25 vezes.



Fonte: A autoria própria (2021).

A Tabela 1 apresenta os resultados referentes à análise de variância sobre o modelo de fatores para o comprimento das fibras.

Tabela 1. Análise de variância – variável: comprimento de fibra.

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios	F	Valor p
Clone	1	2311222	231222	15,640	0,000137
Temperatura	5	147307	29461	1,993	0,085407
Interação clone e temperatura	5	74149	14830	1,003	0,419540
Resíduos	108	1596625	14784	-	-

A Tabela 2 apresenta os resultados referentes à análise de variância para a largura das fibras.

Tabela 2. Análise de variância – variável: largura de fibra.

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	F	Valor P
Clone	1	1,20	1,220	0,090	0,765
Temperatura	5	89,80	17,969	1,325	0,259
Interação clone e temperatura	5	26,60	5,311	0,392	0,854
Resíduos	108	1464,60	13,561	-	-

A Tabela 3 apresenta os resultados referentes à análise de variância para o diâmetro do lume.

Tabela 3. Análise de variância – variável: diâmetro do lume.

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	F	Valor P
Clone	1	32,10	32,07	4,677	0,032781
Temperatura	5	103,00	20,59	3,003	0,014103
Interação clone e temperatura	5	161,80	32,35	4,718	0,000617
Resíduos	108	740,70	6,86	-	-

A Tabela 4 apresenta os resultados referentes à análise de variância para a espessura da parede celular.

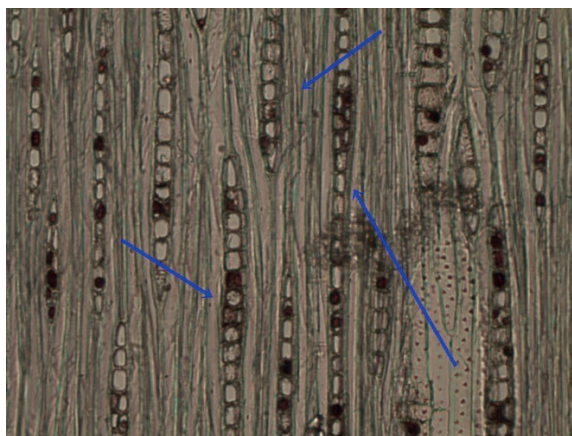
Tabela 4. Análise de variância – variável: espessura da parede celular.

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	F	Valor P
Clone	1	5,20	5,196	2,590	0,110
Temperatura	5	12,68	2,535	1,264	0,285
Resíduos	113	226,69	2,006	-	-

Raios

A Figura 6 apresenta a imagem microscópica de raios unisseriados com um aumento de 200 vezes obtida através da microtomia no plano tangencial da madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*.

Figura 6. Raios unisseriados no plano tangencial da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* com aumento microscópico de 200 vezes.



Fonte: Autoria própria (2021).

A Tabela 5 apresenta os resultados referentes à análise de variância para a altura dos raios.

Tabela 5. Análise de variância – variável: altura dos raios.

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	F	Valor P
Clone	1	1879	1879	0,839	0,3606
Temperatura	5	116083	23217	10,366	5,67e-09
Interação clone e temperatura	5	29943	5989	2,674	0,0227
Resíduos	228	510637	2240	-	-

A Tabela 6 apresenta os resultados referentes à análise de variância para a largura dos raios.

Tabela 6. Análise de variância – variável: largura dos raios.

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	F	Valor P
Clone	1	2169,6	2169,6	201,27	2e-16
Temperatura	5	903,1	180,6	16,76	4,31e-14
Interação clone e temperatura	5	1035,6	207,1	19,21	6,05e-16
Resíduos	228	2457,6	10,8	-	-

A Tabela 7 apresenta os resultados referentes à análise de variância sobre o modelo de fatores para o número de células de raio.

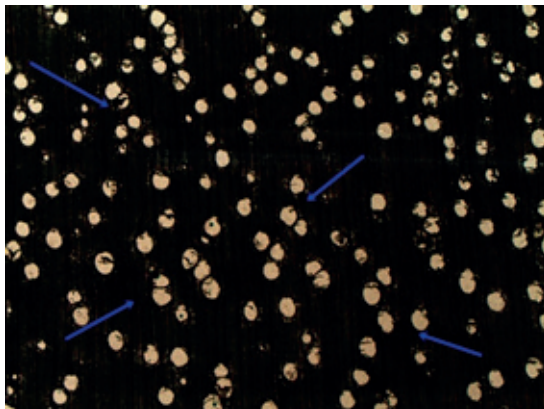
Tabela 7. Análise de variância – variável: número de células de raio.

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	F	Valor P
Clone	1	0,00	0,00	0,001	0,977
Temperatura	5	243,00	48,61	9,923	1,33e-08
Interação clone e temperatura	5	224,60	44,91	9,169	5,77e-08
Resíduos	228	1116,90	4,90	-	-

Vasos

A Figura 7 apresenta os vasos vistos microscopicamente no plano transversal da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* com um aumento de 25 vezes obtida através da microtomia.

Figura 7. Plano transversal da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* - vasos com um aumento microscópico de 25 vezes.



Fonte: Autoria própria (2021).

A Tabela 8 apresenta os resultados referentes à análise de variância para o diâmetro dos vasos.

Tabela 8. Análise de variância – variável: diâmetro dos vasos.

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	F	Valor P
Clone	1	1281	1281,2	2,283	0,13217
Temperatura	5	3930	786,10	1,401	0,22484
Interação clone e temperatura	5	11115	2223,0	3,962	0,00183
Resíduos	228	127943	561,20	-	-

A Tabela 9 apresenta os resultados referentes à análise de variância para o número de vasos/mm².

Tabela 9. Análise de variância – variável: número de vasos/mm².

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	F	Valor P
Clone	1	6,72	6,722	2,909	0,09328
Temperatura	5	101,44	20,289	8,779	2,71e-06
Interação clone e temperatura	5	46,94	9,389	4,062	0,00305
Resíduos	60	138,67	2,311	-	-

■ DISCUSSÃO

Fibras

Conforme os resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que para o comprimento das fibras houve diferença significativa entre os clones H e L (valor $p < 0,05$). Já para o fator temperatura e para a interação entre clone e temperatura não houve diferença significativa (valor $p > 0,05$).

De acordo com a Tabela 2, não houve diferença significativa entre os clones, nem efeito da temperatura, e não houve efeito da interação entre os fatores clone e temperatura para a largura das fibras.

De acordo com a Tabela 3, notou-se que existiu diferença significativa para o diâmetro do lume das fibras entre os clones, bem como efeito significativo da temperatura para os fatores apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Análise de variância – desdobramento da soma de quadrados da temperatura dentro dos clones.

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	F	Valor P
Clone	1	32,10	32,07	4,677	0,032781
Interação clone e temperatura	10	264,70	26,47	3,860	0,000172
A temperatura dentro do clone H	5	46,70	9,34	1,362	0,244189
A temperatura dentro do clone L	5	218,00	43,60	6,358	3,27e-05
Resíduos	108	740,70	6,86	-	-

O desdobramento da soma de quadrados da temperatura dentro dos clones mostra que o efeito da temperatura foi observado apenas para o clone L em virtude das grandes diferenças das médias das temperaturas 140 e 220 °C. O desdobramento do efeito dos graus polinomiais da temperatura dentro dos clones indica que um modelo de segundo grau é significativo para explicar o fenômeno, mas a qualidade da previsão é baixa ($R^2 = 0,2125401$).

Conforme os resultados apresentados na Tabela 4, não houve diferença significativa entre os clones e nem sob o efeito da temperatura para a espessura da parede celular das fibras.

Raios

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, não ocorreu diferença significativa sobre o efeito dos clones na altura dos raios, no entanto existiu diferença significativa para o fator temperatura e para a interação entre clone e temperatura.

A Tabela 11 apresenta o desdobramento das temperaturas para cada tipo de clone.

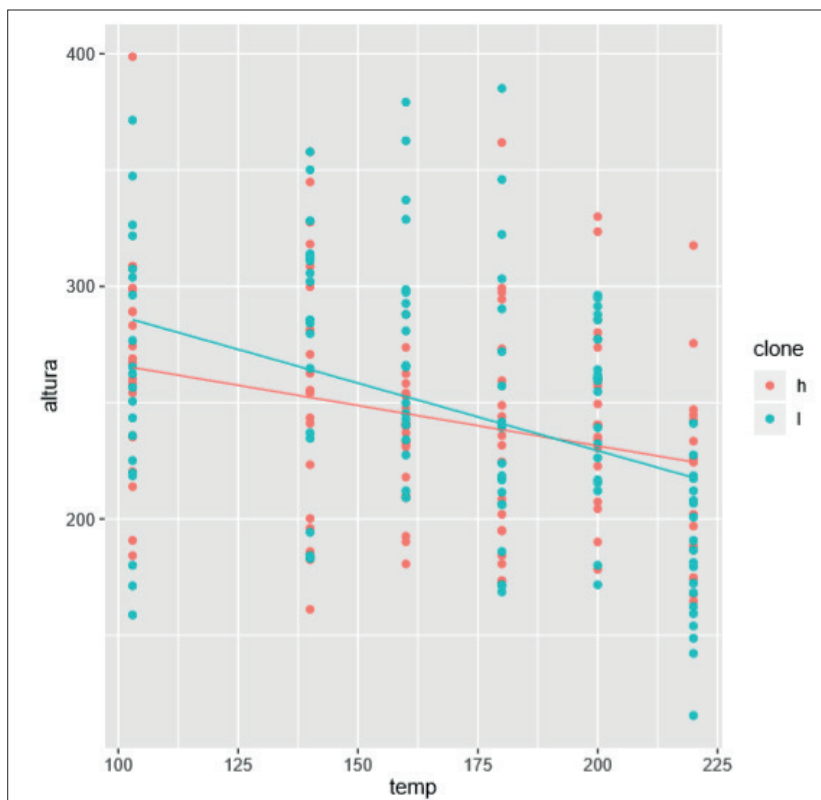
Tabela 11. Análise de variância – desdobramento da temperatura dentro dos clones.

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	F	Valor P
Clone	1	1879	1879	0,839	0,3606
Interação clone e temperatura	10	146025	14603	6,520	7,51e-09
A temperatura dentro do clone H	5	31687	6337	2,830	0,0168
A temperatura dentro do clone L	5	114338	22868	10,210	7,65e-09
Resíduos	228	510637	2240	-	-

O desdobramento das somas de quadrados do efeito da temperatura dentro dos clones indicou a presença de efeito significativo da temperatura nas duas variedades de clone.

Modelo linear simples para o clone H: $y = 300,8670 - 0,3471x$; $R^2 = 0,68$; Modelo linear simples para o clone L: $y = 345,4244 - 0,5802x$; $R^2 = 0,53$; A Figura 8 apresenta o modelo linear para as duas variedades de clone.

Figura 8. Representação do modelo linear para os clones H e L.



De acordo com a Tabela 6, ocorreu diferença significativa para todos os fatores quanto à largura dos raios. Existiu efeito da temperatura, e interação entre os clones e a temperatura evidenciado pela diferença da largura dos raios nas temperaturas 180, 200 e 220 °C no clone L.

De acordo com a Tabela 7, não houve diferença significativa entre os clones quanto ao número de células de raio. No entanto, teve efeito da temperatura, e interação entre clone e temperatura. A interação foi evidenciada devido a diferença do número de células por raio entre as temperaturas de 160 e 220 °C no clone L.

Vasos

De acordo com a Tabela 8, não houve diferença significativa para os clones e nem para o efeito da temperatura quanto ao diâmetro dos vasos.

Número de vasos por milímetro quadrado

De acordo com a Tabela 9, não existiu diferença significativa entre os clones em relação ao número de vasos por milímetro quadrado. Teve efeito da temperatura, e interação entre os clones e a temperatura evidenciado pela diferença do número de vasos/mm² nas temperaturas 160 e 220 °C no clone H. O ajuste de um possível modelo de 2º grau apresentou baixa capacidade preditiva pois os coeficientes de determinação foram muito baixos para ambos os clones ($R^2 = 0,63$ e $0,55$).

A Tabela 12 traz uma síntese geral dos efeitos encontrados em cada variável estudada.

Tabela 12. Resumo dos efeitos encontrados na análise de variância para as fibras, raios e vasos.

Variável	Efeito significativo
Fibras	
Comprimento	Entre clones
Largura	Não houve
Diâmetro do lume	Entre clones Temperatura Interação entre clones e temperatura
Espessura da parede	Não houve
Raios	
Altura	Temperatura Interação entre clones e temperatura
Largura	Entre clones Temperatura Interação entre clones e temperatura
Número de células	Temperatura Interação entre clones e temperatura
Vasos	
Diâmetro	Não houve
Número de vasos / mm ²	Temperatura Interação entre clone e temperatura

Como esta pesquisa foi inédita, não foram observados trabalhos científicos similares de outros pesquisadores com a madeira desse híbrido para que pudesse comparar os resultados obtidos.

■ CONCLUSÃO

Tanto para os dois clones estudados (H e L), bem como para as temperaturas utilizadas no experimento (140, 160, 180, 200 e 220 °C), as diferenças significativas em termos anatômicos à 5% de confiança para a análise de variância fatorial não ocorreram para as variáveis de maneira uniforme.

Para as fibras da madeira, constatou-se que para o comprimento, houve diferença entre somente entre os clones; para a largura não houve nenhum tipo de diferença significativa; para o diâmetro do lume, houve diferença significativa para todos os fatores, sendo que, o

clone L teve diferença significativa em relação à temperatura; para a espessura da parede celular, não houve diferença significativa para nenhum fator.

Em relação aos raios, para a altura, houve diferença significativa para o fator temperatura e também para a interação entre clone e temperatura, o que mostrou o efeito da temperatura nas duas variedades de clone; para a largura, teve efeito da temperatura e interação entre os clones e temperatura evidenciado pela diferença da largura dos raios nas temperaturas 180, 200 e 220 °C no clone L e para o número de células por raio, o clone L apresentou diferença significativa entre às temperaturas de 160 e 220 °C.

Para os vasos, em relação ao diâmetro não houve efeito de nenhum dos fatores, e para o número de vasos/mm², o clone H apresentou diferenças no número de vasos para as temperaturas de 160 e 220 °C.

Portanto, verificou-se que houve uma grande variação em termos de análise exploratória dos dados, fato esse explicado pelas diversas variáveis atribuídas a realização do trabalho, que se iniciam desde o plantio dos clones híbridos até as técnicas da microtomia.

Evidencia-se, portanto que, é necessária a continuidade de trabalhos sobre propriedades anatômicas, bem como da termorreificação em híbridos de Eucalipto.

■ AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao assistente de suporte acadêmico Sr. Waldecir de Araújo e ao professor Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos pela colaboração na realização deste trabalho.

■ FINANCIAMENTO

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica (Pibic) da Pró-Reitoria de Pesquisa (Prope) da Universidade Estadual Paulista (Unesp).

■ REFERÊNCIAS

1. ASSIS, T. F. de. **Melhoramento genético do eucalipto**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 32-51, 1996.
2. BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
3. CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Guia do Eucalipto – Oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. 2008. 20p.
4. BHUIYAN, T. R.; HIRAI, N.; SOBUE, N. Effect of intermittent heat treatment on crystallinity in wood cellulose. **Journal of Wood Science**, Tóquio, v.47, n.5, p.336-341, 2001.

5. CALONEGO, F. W. **Efeito da termorreificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.** 2009. 149 f. Tese (Doutor em Agronomia) – UNESP/Câmpus de Botucatu – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2009.
6. CECCANTINI, G. 1996. **Anatomia ecológica do lenho de espécies de cerrado e mata: *Casearia sylvestris* Sw. e *Machaerium villosum* Vog.** 1996. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
7. CONTE, B. **Propriedades tecnológicas de madeiras do gênero *Eucalyptus* submetida a termorreificação em óleo vegetal.** Santa Maria, RS, 2015, 122p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal.
8. CORADIN, V.T.R.; CAMARGOS, J. A. A. **A estrutura anatômica da madeira e princípios para a sua identificação.** Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA; Laboratório de Produtos Florestais LPF, 2002.
9. FILHO, E. P. SANTOS, P. E. T. dos. **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas.** Dados eletrônicos. – Colombo: Embrapa Florestas, 2011.
10. FRANKLIN, G.L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, p. 51, 1945.
11. GONZAGA, A. L. **Madeira: Uso e conservação.** Brasília, DF. IPHAN, MONUMENTA. 2006, 246p.
12. IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification. **Iawa Bulletin**, Leiden, v.10, p.219–332, 1989.
13. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2016.** Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf . Acesso em: 06 de julho de 2019.
14. KLOCK, U. **Madeira – Um material heterogêneo.** Química da madeira. Notas de Aula. 2012. 63p.
15. KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. Manual básico de métodos em morfologia vegetal. Seropédica - RJ: Edur, 1997.198p.
16. MILITZ, R. **Heat treatment technologies in Europe: Scientific background and technological state-of-art. Proceedings... Conference on Enhancing the durability of lumber and engineered wood products.** February 11-13, 2002, Kissimmee, Orlando, For. Prod. Soc., Madison, US.
17. MOURA, L. F; BRITO, J. O. Effect of thermal rectification on colorimetric properties of *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* woods. **Scientia Forestalis**, 2011. Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 069-076.
18. PESSOA, A. M. C.; FILHO, E. B.; BRITO, J. O. **Avaliação da madeira termorreificada de *Eucalyptus grandis* submetida ao ataque de cupim de madeira seca *Cryptotermes brevis*.** *Scientia Forestalis*, v.1, n.72, p.11-16, 2006.
19. ROUSSET, P.; PERRÉ, P.; GIRARD, P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by thermal treatment at high temperature. **Holz als Roh - und Werkstoff**, Berlin, v.62, n.2, p.113-119, 2004.

20. SILVA, M. R.; **Efeito de tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de *Corymbia citriodora* e *Pinus taeda***. 223p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
21. WILCKEN et. al. **Guia prático de manejo de plantações de Eucalipto**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais (FEPAF). Botucatu. 2008.
22. WINDEISEN, E.; STROBEL, C.; WEGENER, G. Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood. **Wood Science Technology**, Berlin, v. 41, p. 523-536, 2007.

Morfologia das estruturas anatômicas da madeira de duas espécies amazônicas com vistas à produção de celulose e papel

| **Mayara de Lima Ferreira**
UFRA

| **Washington Duarte Silva da Silva**
UFRA

| **Pamella Caroline Marques dos Reis Reis**
UFRA

| **Leonardo Pequeno Reis**
IDSM

| **Adriane dos Santos Santos**
UFRA

| **Fernanda Ilkiu Borges de Souza**
Embrapa Amazônia Oriental

RESUMO

As espécies *Hevea guianensis* Aubl. e *Glycydendron amazonicum* Ducke são nativas da região amazônica e utilizadas em diversas formas no mercado comercial. **Objetivo:** no intuito de atribuir uma nova utilização para as espécies, o objetivo da pesquisa foi caracterizar e analisar as propriedades morfológicas das madeiras de *Hevea guianensis* e *Glycydendron amazonicum* visando a produção de papel. **Método:** Os materiais botânicos foram obtidos da Xiloteca da Embrapa Amazônia Oriental. Foram feitas análises de caracterização macroscópica e organoléptica da madeira e análise da morfologia das fibras para a determinação do índice de Runkel, coeficiente de flexibilidade, índice de enfiamento e fração parede. **Resultados:** A descrição macroscópica demonstrou que ambas as espécies apresentaram parênquima axial, raios e vasos visível a olho nu seção transversal e com lente de 10x na seção tangencial. O *H. guianensis* apresentou índice de Runkel de 0,38, coeficiente de flexibilidade de 62,42%, índice de enfiamento de 50,93 e fração parede de 37,58%. Já a espécie *G. amazonicum* apresentou índice de Runkel de 1,33, coeficiente de flexibilidade de 42,53%, índice de enfiamento de 62,76 e fração parede de 56,7%. **Conclusão:** De acordo com o índice de Runkel as fibras da madeira de *G. amazonicum* foram consideradas regulares para produção de papel, enquanto o coeficiente de flexibilidade e a fração parede apresentaram resultados insatisfatórios. O índice mais satisfatório foi o de enfiamento, que obteve resultados de acordo com indicado para a produção de papel.

Palavras-chave: Morfologia Vegetal, Índices de Resistência do Papel, Anatomia da Madeira, *Hevea Guianensis* Aubl., *Glycydendron Amazonicum* Ducke.

■ INTRODUÇÃO

As espécies *Hevea guianensis* Aubl. e *Glycydendron amazonicum* Ducke, conhecidas popularmente como seringueira e glícia, respectivamente, pertencem à família Euphorbiaceae. Originárias da região amazônica, as espécies têm ampla utilização no mercado comercial. A madeira de glícia é muito utilizada na construção pesada e leve, como em embarcações, móveis e artigos domésticos. Enquanto da seringueira é extraído o látex para produção da borracha natural, por meio de processos químicos e industriais (SECCO; BIGIO, 2020; REMADE, 2021).

O estudo da anatomia da madeira das espécies da Amazônia é importante, pois este ecossistema possui uma biodiversidade imensurável e ainda pouco conhecida (REIS, A. *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2015). Segundo Firmino (2016), as espécies que ocorrem em florestas com características distintas, podem apresentar a formação estrutural do lenho das árvores com elementos diferentes, ocasionado em função da sua área de crescimento.

Para atender a grande variedade de usos da madeira, é de fundamental importância o conhecimento da sua estrutura anatômica, evitando-se desperdício e emprego inadequado (PAULA, 2003), pois seu uso pode variar devido às características anatômicas específicas (REIS, P. *et al.*, 2014). Segundo Motta *et al.* (2014), o potencial tecnológico de uma espécie florestal é observado por meio de estudos que envolvem as características anatômicas, físicas, mecânicas e químicas, podendo servir como indicativo para identificação e classificação das espécies e seus usos.

A análise das dimensões das fibras é relevante para avaliar a qualidade da madeira, pois fornece informações importantes para determinar possíveis usos (SILVA, 2011). A interligação das propriedades das fibras da madeira e a produção do papel, mostram-se dependentes (DIAS; SIMONELLI, 2013), levando em consideração que as medidas das fibras variam no sentido radial (medula-casca) e longitudinal (base-topo) do tronco da árvore (MIRANDA; CASTELO, 2012).

Para auxiliar na avaliação da qualidade da madeira para produção de papel são necessários estudos que determinam alguns índices. Dentre os principais índices estão os de enfiamento, coeficiente de flexibilidade, fração parede e o índice de Runkel, que consideram o comprimento e espessura das fibras, ligações entre as mesmas e flexibilidade (VIDAL; HORA, 2014; MIRANDA; CASTELO, 2012; CAMPOS *et al.*, 2000).

Nesse sentido o objetivo da pesquisa foi caracterizar e analisar as propriedades morfológicas das madeiras de *Hevea guianensis* e *Glycydendron amazonicum* visando a produção de celulose e papel.

■ MÉTODO

Material botânico

As amostras das espécies (Tabela 1) foram obtidas da Xiloteca, situada no Laboratório de Botânica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Amazônia Oriental, Belém, estado do Pará.

Tabela 1. Amostras das espécies *H. guianensis* e *G. amazonicum*, depositadas na xiloteca da Embrapa Amazônia Oriental.

Espécie	Registro	Procedência	Coletor	Número de coleta
<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	X-4840	Humaitá-Amazonas	Krukoff, B. A.	6923
	X-1092	Margem da estrada de Santarém-Pará, km 67, Reserva Florestal do IBDF	Cordeiro, M. R.	1419
<i>Glycydendron ama- zonicum</i> Ducke	X-1065	Serra do Buriti - PA	Pires, M. J.	7390
	X-1067	Serra do Buriti - PA	Pires, M. J.	12710

Caracterização macroscópica e organoléptica da madeira

Para melhor visualização e interpretação das estruturas anatômicas da madeira da seringueira e do glícia foi utilizado uma lupa conta-fios de 10x de aumento. Nesta fase, além da análise macroscópica, foi realizada a caracterização das propriedades organolépticas como: cor, textura, grã, desenho, dureza, etc.

As estruturas anatômicas macroscópicas e organolépticas da madeira foram descritas de acordo com as normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA, 1992). O registro digital fotográfico da macroscópica foi realizado na superfície transversal das amostras de madeira de seringueira, com uma lupa acoplada a uma câmera, a escala das imagens foram feitas no *software* ImageJ.

Preparo do material macerado

Para o preparo do material macerado retirou-se pequenos fragmentos de madeira, os quais foram transferidos para tubos de ensaio com solução macerante composto por peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial na proporção de 1:1 (DADSWELL, 1972). Em seguida, o material foi levado para estufa a 60 °C por 48 horas, lavou-se com água corrente e foram corados com corante safranina alcoólica 1%, posteriormente as lâminas semipermanentes foram montadas com glicerina.

Para o estudo da morfologia e a avaliação das dimensões, as células dissociadas do lenho montadas em lâminas semipermanentes foram visualizadas sob microscópio, acoplado à câmera de vídeo e sistema de análise de imagens, no qual foi realizado a mensuração 50

unidades de fibras e 30 unidades de elementos de vaso de cada amostra de madeira, as variáveis anatômicas mensuradas foram o comprimento (mm), espessura da parede (μm) e largura do lume das fibras (μm), o comprimento e o diâmetro dos elementos de vasos (μm). O estudo foi conduzido no Laboratório de Anatomia e Tecnologia da Madeira (LANTOM) da Universidade Federal Rural da Amazônia – *Campus Capitão Poço* (UFRA/CCP).

Cálculo dos índices de resistência

Os índices indicativos analisados foram propostos por Foelkel e Barrichelo (1975), considerou-se o índice de Runkel (Equação 1), coeficiente de flexibilidade (Equação 2), índice de enfiamento (Equação 3) e fração parede (Equação 4). Os índices indicativos da qualidade da fibra da madeira foram calculados no *Software Excel*.

$$IR = 2e/d \quad (1)$$

Em que: e = espessura da parede; d = diâmetro do lume.

$$CF = (d/D) \times 100 \quad (2)$$

Em que: d = diâmetro do lume; D = largura da fibra.

$$IE = C/D \quad (3)$$

Em que: C = comprimento da fibra; D = largura da fibra.

$$FP = (2e/D) \times 100 \quad (4)$$

Em que: e = espessura da parede; D = largura da fibra.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características macroscópicas

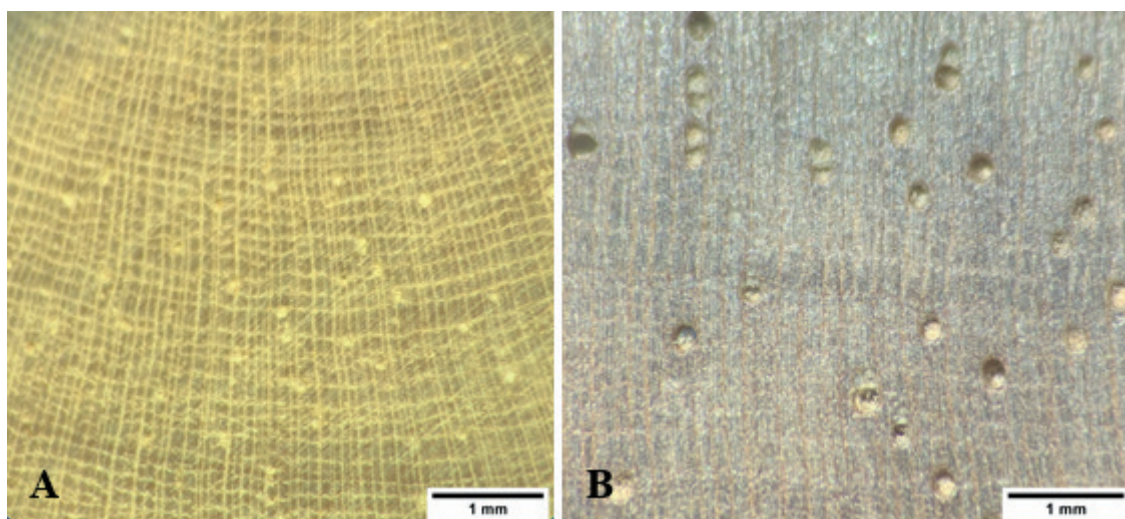
Hevea guianensis

A caracterização anatômica da madeira de *H. guianensis* demonstrou que a espécie apresenta as seguintes características: parênquima axial visível a olho nu, apotraqueal em faixas. Raios visíveis a olho nu na seção transversal e com lente de 10x na seção tangencial, não estratificados. Vasos visíveis a olho nu com baixa frequência, porosidade difusa não uniforme, agrupamento solitário e com placas de perfuração simples (Figura 1).

Nos estudos de Gomes e Silva (1992) e Ramos *et al.* (2018) ambos apresentaram resultados semelhantes a esta pesquisa na descrição macroscópica de espécies do gênero

Hevea Aubl. como vasos, parênquima e raios visíveis a olho nu na seção transversal, baixa frequência de vasos e placas de perfuração simples.

Figura 1. Seção transversal macroscópica das amostras 1 (A) e 2 (B) de *Hevea guianensis*.

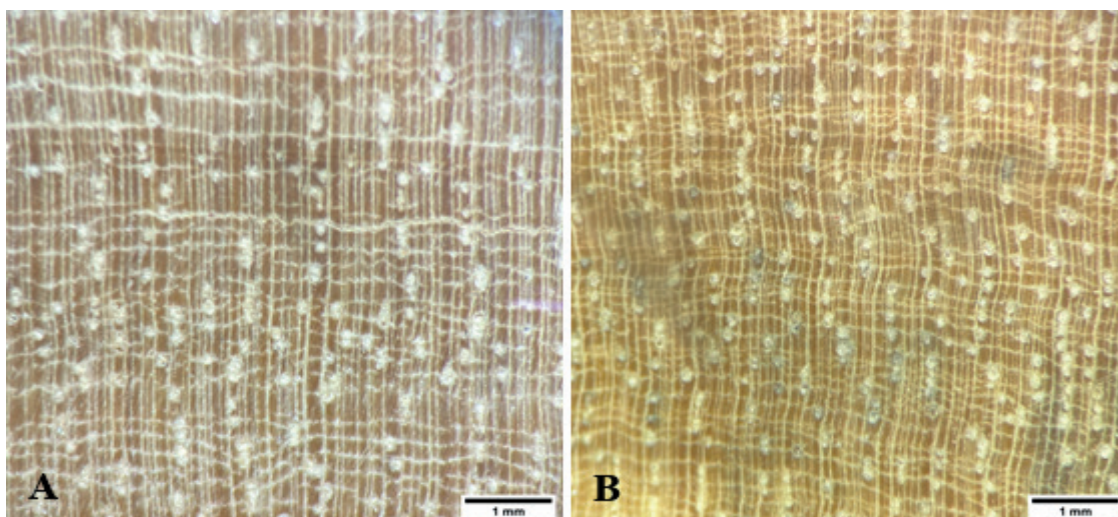


As propriedades organolépticas da madeira de *H. guianensis* foram caracterizadas com coloração amarelo claro a amarelo acinzentado, brilho moderado, cheiro imperceptível, grã direita, textura média, desenho verificado (presença de manchas, linha acentuada e destaque para o topo e lateral dos raios) e camadas de crescimento distintas. Características semelhantes foram verificadas na madeira de *H. brasiliensis* (Willd. Ex A. Juss) Mull. Arg. como cheiro imperceptível, textura média e figura presente, causada por manchas ou faixas de cores distintas, contudo a espécie difere-se por não apresentar brilho nas superfícies longitudinais e ser caracterizada com grã entrecruzada ou revessa (LPF, 2021).

Glycydendron amazonicum

A descrição anatômica da madeira de *G. amazonicum* demonstrou as seguintes características: parênquima axial visível a olho nu, apotraqueal em faixas finas. Raios visíveis a olho nu na seção transversal e com lente de 10x na seção radial, não estratificados na seção tangencial. Vasos visíveis a olho nu, porosidade difusa não uniforme, agrupamento geralmente em grupos radiais e com placas de perfuração simples (Figura 2).

Figura 2. Seção transversal macroscópica das amostras 1 (A) e 2 (B) de *Glycydendron amazonicum*.



Estudos realizados por Trevizor (2011) também apresentaram resultados semelhantes na pesquisa de descrição macroscópica para a mesma espécie, onde os vasos estão em cadeias radiais curtas com porosidade difusa não uniforme, parênquima axial em linhas finas e raios com estratificação ausente.

A madeira de *G. amazonicum* foi caracterizada com coloração castanho claro rosado, brilho moderado, textura fina, grã direita, cheiro e gosto imperceptível. Essas mesmas características foram encontradas por Santini Junior (2013) para a espécie de *G. amazonicum*.

Morfologia das fibras e elementos de vasos

Hevea guianensis

A média do comprimento da fibra do estudo foi de 1,28 mm (Tabela 2; Figura 3A), classificando-a como fibra curta segundo Robert (2007). Valores semelhantes foram verificados em *H. brasiliensis* nos estudos de Ferreira *et al.* (2011) com madeira juvenil obtendo o comprimento médio de 1,24 mm e Faria *et al.* (2019) verificou o comprimento da fibra de 1,33 mm em um povoamento com cerca de 20 anos de idade.

Tabela 2. Medidas descritivas das dimensões das fibras e vasos de *Hevea guianensis*.

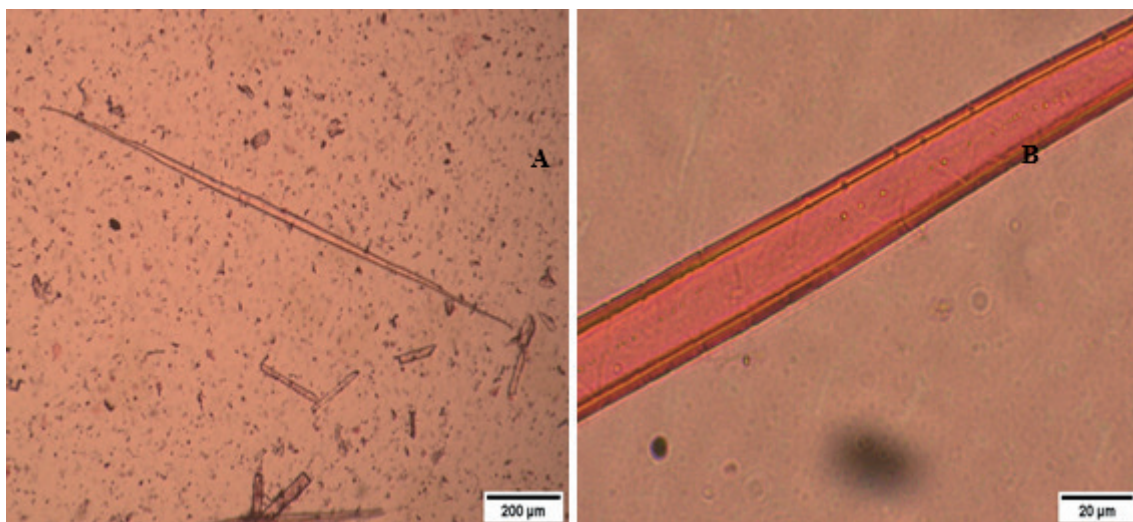
	Comprimento da fibra (mm)	Largura da fibra (μm)	Largura do Lume da fibra (μm)	Espessura da Parede da fibra (μm)	Comprimento do vaso (μm)	Largura do vaso (μm)
Média	1,28	25,19	15,72	4,73	125,48	45,16
Desvio padrão	0,23	4,17	4,02	1,03	150,94	35,90
Coefficiente de variação (%)	18,06	16,55	25,54	21,76	120,29	79,50

Algumas propriedades do papel podem ser afetadas pelo comprimento da fibra, principalmente as resistências ao rasgo e a dobras, as fibras mais curtas são inferiores nestas propriedades em comparação com as de maior comprimento, como as de conífera (SANTOS, 2005), que possibilitam maior entrelaçamento das fibras, aumentando a resistência do papel

(BENITES *et al.*, 2015). Segundo Faria *et al.* (2019), madeiras com fibras curtas possuem maior capacidade absorvente.

A largura média das fibras de *H. guianensis* foi de 25,19 μm (Tabela 2; Figura 3B). Izani e Hamami (2008), caracterizando quatro espécies do gênero *Hevea* Aubl., observaram que a *H. guianensis* apresentou maior largura das fibras (24,9 μm) entre as espécies estudadas. Quanto mais larga as fibras, menor a resistência do papel ao rasgo e arrebentamento, fato observado no índice de enfiamento e no coeficiente de flexibilidade, que tendem a diminuir com o aumento da largura da fibra (SANTOS, 2005; FARIA *et al.*, 2019).

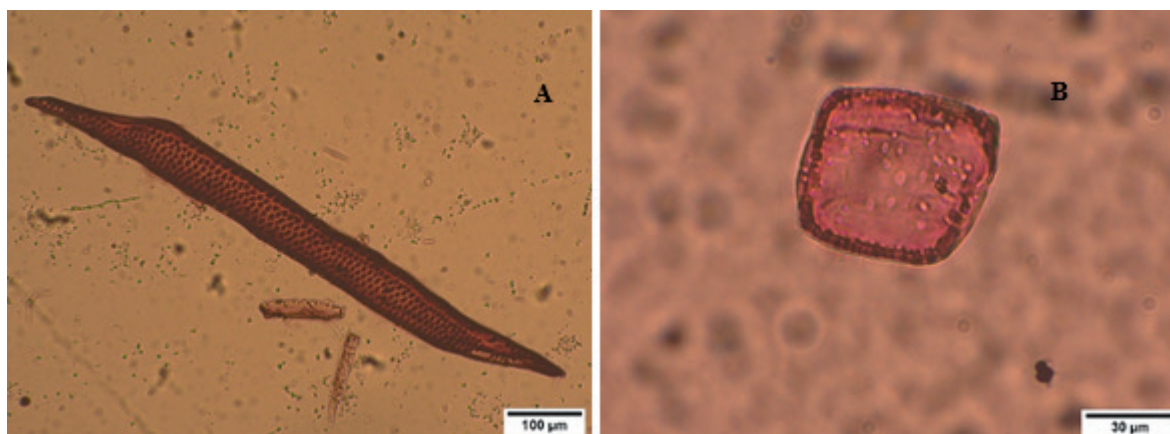
Figura 3. Visualização da fibra (A) de *Hevea guianensis* com destaque para a espessura da parede (B).



A espessura média da parede da espécie do estudo foi de 4,73 μm (Tabela 2; Figura 3B). Valores semelhantes foram verificados na espessura da parede de *H. brasiliensis* nos estudos de Ramos *et al.* (2018) e Faria *et al.* (2019) com 5 e 5,75 μm , respectivamente. Fibras de parede mais espessa são mais adequadas para a produção de papeis com a finalidade de absorção, onde a matéria prima utilizada resulta em papeis de alto volume específico e baixa densidade (MOKFIENSKI *et al.*, 2008).

A média do comprimento e largura dos vasos da *H. guianensis* foram respectivamente, 125,48 e 45,16 μm (Tabela 2), verificou-se a presença de elementos de vasos com características distintas (Figura 4A e 4B). O estágio evolutivo da espécie e a adaptação desta às condições ambientais podem explicar os diferentes aspectos dos elementos de vasos e o tipo de placa de perfuração (BURGER; RICHTER, 1991). Segundo Boschetti *et al.* (2015), a elevada presença de vasos tende a diminuir a percentagem de fibras, diminuindo a densidade da madeira. Ademais, madeiras que apresentam maior porosidade facilitam a impregnação de reagentes no cozimento na polpação kraft (SOUZA, 2014).

Figura 4. Elementos de vaso (A e B) presentes na espécie *Hevea guianensis Glycydendron amazonicum*.



A média do comprimento da fibra do estudo foi de 1,51 mm (Tabela 3; Figura 5A), apresentando valor próximo com relação aos valores médios relatados para as espécies de folhosas (comprimento médio < 1,5 mm; Menegazzo, 2012). Trevizor (2011) encontrou o comprimento da fibra de *G. amazonicum* com 1,33 mm.

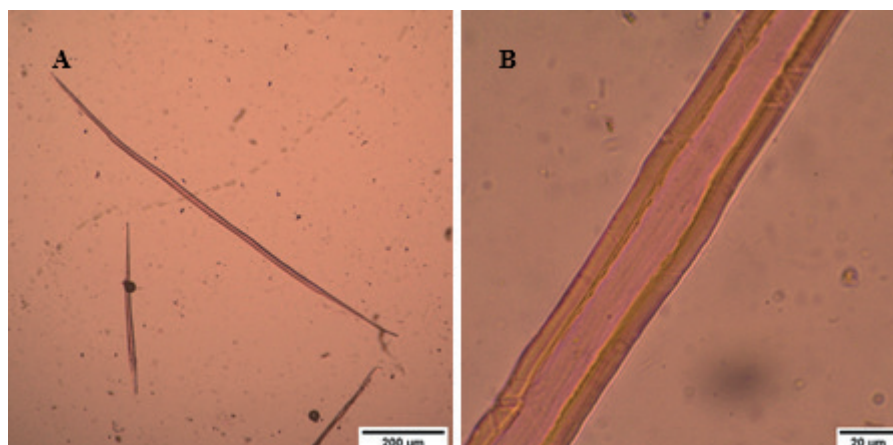
Tabela 3. Medidas descritivas das dimensões das fibras e vasos de *Glycydendron amazonicum*

	Comprimento da fibra (mm)	Largura da fibra (µm)	Largura do Lume da fibra (µm)	Espessura da Parede da fibra (µm)	Comprimento do vaso (µm)	Largura do vaso (µm)
Média	1,51	24,1	10,25	6,83	79,28	43,87
Desvio padrão	0,19	6,13	2,49	2,36	36,96	14,51
Coefficiente de variação (%)	12,89	25,43	24,25	34,51	46,63	33,07

Fibras de folhosas mais longas são uma vantagem quando comparado com outras folhosas, visto que o comprimento da fibra é uma característica significativa, devido à relação com as resistências das fibras celulósicas e influência na resistência do papel à tração e ao arrebatamento (FREITAS *et al.*, 2017).

Os valores médios da largura das fibras e do lúmen foram de 24,1 e 10,25 µm (Tabela 3; Figura 5B). Estudos de Guma *et al.* (2015) e Sieglloch *et al.* (2011), caracterizaram uma espécie pertencente à família Euphorbiaceae, no qual foi possível encontrar valores superiores para a largura das fibras (25-80 µm) e o diâmetro do lúmen (17,5 e 28,7 µm). O diâmetro do lúmen influencia tanto no coeficiente de flexibilidade, quanto no índice de Runkel e a largura está relacionada com o índice de enfiamento e coeficiente de flexibilidade (FOGLIATTO, 2018).

Figura 5. Visualização da fibra (A) de *Glycydendron amazonicum* com destaque para a espessura da parede (B).



A espessura média da parede celular da espécie de *G. amazonicum* é de 6,83 µm (Tabela 3), superior ao valor encontrado na literatura por Sieglloch *et al.* (2013), com 5,1 µm para a espécie *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzch, pertencente a mesma família. Esse parâmetro tem relação com a flexibilidade das fibras, sendo que paredes mais finas conferem maior flexibilidade e menor resistência mecânica (MENEGAZZO, 2012).

A média do comprimento e largura dos vasos da *G. amazonicum* foram 79,28 e 43,87 µm (Tabela 3), respectivamente, observou-se a presença de elementos de vasos primitivos e vasos mais evoluídos (Figura 6A e 6B). Santini Junior (2013), encontrou valores superiores para a largura dos vasos (73 – 112 µm). A presença de vasos na celulose pode ser considerada uma desvantagem, visto que alguns papéis podem apresenta problemas na fabricação ou no uso, o caso mais conhecido é o fenômeno “picking”, onde acontece o arrancamento de vasos da superfície de papéis de impressão que recebem pouca colagem superficial ou revestimento (FOELKEL, 2009).

Figura 6. Elementos de vaso (A e B) presentes na espécie *Glycydendron amazonicum*.



Os aspectos anatômicos, físicos e químicos da madeira apresentam forte influência na qualidade da produção de celulose e papel, sendo considerados mutuamente dependentes, pois dificilmente se consegue alterar uma propriedade sem afetar outra (DIAS; SIMONELLI, 2013). Analisar a relação da dimensão das fibras da madeira é mais pertinente do que observar as dimensões isoladamente (MIRANDA *et al.*, 2012). Segundo Vivian *et al.* (2015),

o conhecimento da morfologia das fibras é importante para determinar o diagnóstico prévio sobre a qualidade final do papel, na qual essa caracterização das fibras pode ser utilizada nos parâmetros de qualidade, sendo eles, o índice de Runkel, coeficiente de flexibilidade, fração parede e índice de enfieltramento.

Índices de resistência

Hevea guianensis

A relação entre a rigidez e a capacidade de interligação da fibra pode ser estabelecida pelo índice de Runkel (IR; FOELKEL, 1978). Este é classificado em cinco grupos, estabelecidos como, grupo I (até 0,25) – excelentes para papel, grupo II (0,26 – 0,5) – muito boas para papel, grupo III (0,6 – 1,0) – boas para papel, grupo IV (1,1 – 2,0) – regulares para papel e grupo V (> 2,0) – não devem ser utilizadas para produção de papel, pois o grau de colapso é considerado muito baixo (RUNKEL, 1952).

O índice de Runkel obtido para a *H. guianensis* foi de 0,38 (Tabela 4), classificando-a no grupo II, considerada muito boa para produção de papel. A seringueira mostrou-se viável, quando comparada a espécies do gênero *Eucalyptus* L'Hér. que são consolidadas no mercado brasileiro de papel e celulose. Nos estudos de Carvalho (2000) e Duarte (2007) a espécie apresentou IR de 0,95 e 0,70, respectivamente. Vieira (2017) observou média acima de 1 para o IR de *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch.

Tabela 4. Índices de resistência das dimensões das fibras de *H. guianensis* Aubl.

Índice de Runkel	Coeficiente de Flexibilidade (%)	Índice de Enfieltramento	Fração Parede (%)
0,38	62,42	50,93	37,58

A flexibilidade das fibras e a sua capacidade de se entrelaçar são fatores importantes para fabricação de celulose e papel, dessa forma o coeficiente de flexibilidade (CF) é um parâmetro que quantifica esses fatores (CASTELO, 2007). A faixa recomendada para o CF são valores entorno de 79 % (NISGOSKI *et al.*, 2012), pois quanto maior o valor desse índice, mais flexível tornam-se as fibras, aumentando a resistência ao arrebentamento (FOELKEL; BARRICHELO, 1975). O CF da seringueira observado nesse estudo foi de 62,42 % (Tabela 4), superior ao encontrado para o *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. (53,23 %; TALGATTI *et al.*, 2020), mas abaixo do recomendado.

O índice de enfieltramento (IE) da fibra de *H. guianensis* foi de 50,93 (Tabela 4), podendo ser considerado como um bom resultado quando comparado ao *Eucalyptus grandis* que obteve média de 28,09 (TALGATTI *et al.*, 2020) e resultados semelhantes foram verificados na espécie *H. brasiliensis* com IE de 54,08. Valores de IE superiores a 50 são mais

adequados, pois apresentam boas características do papel, estando relacionada as dobras duplas e ao rasgo (BALDI, 2001; MOGOLLÓN; AGUILERA, 2002; TRUGILHO *et al.*, 2005).

Segundo Boschetti *et al.* (2015), a rigidez da fibra associado a flexibilidade para ligação e o colapso podem ser compreendidos pelo valor da fração parede (FP). A seringueira apresentou o valor de FP igual a 37,58 % (Tabela 4), sendo considerado fibras com baixa rigidez, assim favorecendo a interligação destas. Valores superiores de FP foram encontrados para *E. grandis*, apresentando 46,74 % (TALGATTI *et al.*, 2020). Segundo Foelkel e Barrichelo (1975), as indústrias não desejam valores de FP superiores a 40 %, pois a produção de celulose não é de boa qualidade, devido a extrema rigidez das fibras, baixa flexibilidade e difícil interligação.

Glycydendron amazonicum

O IR obtido para a espécie *G. amazonicum* foi de 1,33 (Tabela 5) classificando-a no grupo IV, considerada regular para produção de papel. Nos estudos de Carvalho (2000) a espécie apresentou IR de 0,79 de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Resultados com valores altos não são desejados, visto que a fibra se torna rígida e com maior dificuldade de acomodação e união na folha de papel (NISGOSKI *et al.*, 2012).

Tabela 5. Índices de resistência das dimensões das fibras de *Glycydendron amazonicum*.

Índice de Runkel	Coefficiente de Flexibilidade (%)	Índice de Enfeltramento	Fração Parede (%)
1,33	42,53	62,76	56,7

O CF é a relação entre o diâmetro do lúmen e a largura da fibra, esse parametro influencia na resistência à tração e o estouro do papel (FOELKEL; BARRICHELO, 1975). O CF da *G. amazonicum* foi de 42,53 % (Tabela 5), abaixo do recomendado por Nisgoski *et al.* (2012) recomenda-se resultados em torno de 79 %. Alencar (2002) encontrou resultados abaixo do recomendado para o híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, com o coeficiente de flexibilidade de 48,72 %. Quanto maior o valor do coeficiente de flexibilidade, mais fácil será a ligação entre as fibras, conferindo assim melhor resistência ao papel (FOELKEL; BARRICHELO, 1975).

O IE também está associado à flexibilidade da fibra, representado pela relação entre o comprimento e a largura da fibra, quanto maior esse índice mais flexíveis e melhores serão as propriedades do papel (MIRANDA; CASTELO, 2012). A espécie *G. amazonicum* apresentou uma média de 62,76 (Tabela 5), apresentando fibras longas em relação à média para folhosas. Suas fibras são largas, o que se reflete em um IE alto se comparado à *E. grandis* e *E. saligna*, com IE de aproximadamente de 54,01 e 52,08, respectivamente (MARTINS, 1983; SILVA, 2002).

A FP indica a rigidez da fibra e sua influência na qualidade da celulose, estando relacionada à resistência ao rasgo. Valores superiores a 40 % não produzem celulose de boa qualidade porque as fibras são extremamente rígidas, pouco flexíveis e com dificuldades nas interligações das mesmas de acordo com Foelkel e Barrichelo (1975). O valor médio obtido para fração parede da espécie *G. amazonicum* foi de 56,7 % (Tabela 5), encontrando-se acima da faixa ideal para a produção de papel (FOELKEL; BARRICHELO, 1975). Resultados semelhante de FP foram encontrados para *E. dunnii*, apresentando 58,18 % (SBARDELLA, 2018).

■ CONCLUSÕES

A espécie *H. guianensis* não apresenta características marcantes na caracterização macroscópica e organoléptica, dificultando a identificação da espécie a nível macroscópico. A espécie *G. amazonicum* pode ser identificada a nível macroscópico pela presença de parênquima axial apotraqueal em faixas finas e pelos raios visíveis a olho nu no plano transversal e não estratificados na seção tangencial.

Baseado nos resultados do índice de Runkel, índice de enfiamento e fração parede, as fibras da madeira de seringueira apresentaram características viáveis para a produção de celulose e papel. Somente o coeficiente de flexibilidade apresentou-se abaixo do recomendado.

As fibras da madeira de glúcia foram consideradas regulares para produção de papel de acordo com o índice de Runkel. O coeficiente de flexibilidade e a fração parede apresentaram resultados insatisfatórios. Apenas o índice de enfiamento obteve resultados de acordo com indicado para a produção de papel.

■ REFERÊNCIAS

1. ALENCAR, G. S. B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada a precocidade na seleção de um híbrido *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla***. Dissertação (Mestrado em Ciências), ESALQ, Piracicaba-SP. 2002.
2. BALDI, F. II Processo di produzione dele paste chimiche e il loro trattamento. In: CORSO DI TECNOLOGIA PER TECNICI CARTARI, Verona: Scuola Grafica Cartaria, 2001.
3. BENITES, P. K. R. M.; GOUVEA, A. F. G.; CARVALHO, A. M. M. L.; SILVA, F. C. Caracterização anatômica das fibras de oito espécies florestais do Cerrado de Mato Grosso do Sul para a produção de papel. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 2, p. 88-93, 2015.
4. BOSCHETTI, W. T. N.; PAES, J. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; DUDECKI, L. Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 50, n. 6, p. 459-467, 2015.

5. CAMPOS, E. S.; MARTINS, M. A. L.; FOELKEL, C. E. B.; FRIZZO, S. M. B. Seleção de critérios para a especificação de pastas celulósicas branqueadas de eucaliptos na fabricação de papéis para impressão “offset”. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 57 - 75, 2000.
6. CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
7. CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios e espaçamentos através do método não destrutivo de ondas de tensão**. 151p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
8. DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalyptus wood. **CSIRO Forest Products Laboratory**, Melbourne, n. 66, p. 1-28, 1972.
9. DIAS, O. A.; SIMONELLI, G. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p. 3632-3646, 2013.
10. DUARTE, F. A. S. **Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas a produção de polpa celulósica Kraft**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
11. FARIA, D. L.; SANTOS, C. A.; FURTINI, A. C. C.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Qualidade da madeira de *Hevea brasiliensis* visando a produção de celulose e papel. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer, v. 6, n. 11, p. 303-314, 2019.
12. FERREIRA, A. L.; SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W. Determination of fiber length and juvenile and mature wood zones from *Hevea brasiliensis* trees grown in Brazil. **Eur. J. Wood Prod.** v. 69, p. 659–662, 2011. DOI: 10.1007/s00107-010-0510-2
13. FIRMINO, A. V. **Qualidade da madeira de andiroba em floresta de terra firme e várzea da Amazônia Oriental**. 49p. Dissertação (Mestrado em Ciências florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Espírito Santo, 2016.
14. FOELKEL, C. E. B. Elementos de vaso e celulosas de eucalipto. **Grau Celsius**, 2009.
15. FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP – Semana do Papel, 8. São Paulo, 1975.
16. FOELKEL, C.E.B. Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. **Boletim Informativo IPEF**, v. 6, n. 20, 1978.
17. FOGLIATTO, M. M. **Qualidade da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de polpa celulósica**. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos- PR, 2018.
18. FREITAS, T. P.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; SILVA, J. G. M.; PEREIRA, M. P. D. C. F.; FERREIRA, J. C. Potencial de uso da madeira de Liquidâmbar sp. Para a produção de polpa celulósica e papel. **Ciências Agrárias, Amazônia**, v. 60, n. 4, p. 328-334, 2017.
19. GOMES, J. I.; SILVA, E. M. S. da. Estudo anatômico da madeira do gênero *Hevea*. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, v. 8, n. 1, p. 03-44, 1992.

20. GUMA, R.; BALDIN, T.; DENARDI, L.; HASELEIN, C.R.; MARCHIORI, J.N.C. Anatomia da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* Poepp. ex Endl. (Euphorbiaceae). **Balduinia**, Santa Maria, n. 47, p. 12-18, 2015.
21. IBAMA-Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Normas para procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I.angiospermae, II.gimnospermae**. Brasília: 19 p. (Série Técnica, 15), 1992.
22. LPF-LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS. Madeiras Brasileiras. Disponível em: <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/bd-madeiras-brasileiras>. Acesso em: 19 ago. 2021.
23. MARTINS, M. A. L. **Estudo tecnológico da polpação Kraft de *Acacia mearnsii* De Wild**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1983.
24. MENEGAZZO, M. L. **Características morfológicas de celuloses branqueadas de *Pinus* e *Eucalyptus* em analisador óptico automático de fibras**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2012.
25. MIRANDA, M. C. de; CASTELO, P. A. R. Avaliações anatômicas das fibras da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 03, n. 02, p. 80-88, 2012.
26. MOGOLLÓN, G.; AGUILERA, A. **Guía teórica y práctica de morfología de la fibra**. Mérida: Universidad de Los Andes, 2002. 48p.
27. MOKFIENSKI, A.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento da polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, v.18, p. 401-413. 2008.
28. MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; BRAZ, R. L.; DUARTE, A. P. C.; ALVES, R. C. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais. **Rev. Ciências rural**, Santa Maria, v.44, n.12, p.2186-2192, 2014.
29. NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; VENSON, I. Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 203-211, 2012.
30. PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da Amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**, v. 33, n. 2, p. 243-262, 2003.
31. RAMOS, L. M. A.; LATORRACA, J. V. de F.; LIMA, H. R. P.; SANTOS, G. C. V. dos. Variação intraespecífica na anatomia do lenho de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Mull. Arg. relacionada à extração de látex. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 255-264, 2018. DOI: 10.5380/ufv.v48i2.55584
32. REIS, A. R. S.; ABREU, J. L. L. de; PINHO, D. M.; LISBOA, P. L. B.; URBINATI, C. V. Caracterização anatômica da madeira de mandioqueira (*Qualea* Aubl.) comercializada no mercado madeireiro do estado do Pará. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 10, n. 19, p. 448-462, 2014.
33. REIS, P. C. M. dos; REIS, A. R. S.; LISBOA, P. L. B.; REIS, L. P. Anatomia do lenho de seis espécies do gênero *Cecropia* Loefl. (Urticaceae). **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.**, Belém, v. 9, n. 1, p. 169-181, jan.-abr. 2014.

34. REMADE. **Madeiras brasileiras e exóticas – Glícia**. Disponível em: <http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/383/madeiras-brasileiras-e-exoticas/glicia> Acesso em: 08/08/2021.
35. ROBERT, N. T. F. **Produção de Embalagem de Papel**. Dossiê Técnico. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT, p. 16, 2007.
36. RUNKEL, R. O. H. Pulp from tropical wood. **TAAP**, v. 35, n. 4, p. 174-178. 1952.
37. SANTINI JUNIOR, L. **Descrição macroscópica e microscópica da Madeira aplicada na identificação das principais espécies comercializadas no Estado de São Paulo – Programas “São Paulo Amigo da Amazônia” e “Cadmadeira”**. Dissertação (Mestrado em Ciências), ESALQ, Piracicaba-SP, 2013.
38. SANTOS, S. R. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade de polpa branqueada**. 160 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior d agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2005.
39. SBARDELLA, M. **Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii* visando a produção de polpa celulósica**. Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos- PR, 2018.
40. SECCO, R. S; BIGIO, N. C. 2020. **Hevea in Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB22705> >. Acesso em: 18 jul. 2021.
41. SIEGLOCH, A.M.; MARCHIORI, J.N.C.; SANTOS, S.R. Estudos comparativos do xilema secundário de três espécies ornamentais de *Euphorbia*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 4, p. 643 - 652, 2013
42. SIEGLOCH, A.M.; SANTOS, S.R.; MARCHIORI, J.N.C. Estudo anatômico do lenho de *Colliguaya brasiliensis* Klotzsch EX Baill. (Euphorbiaceae). **Balduinia**, Santa Maria, n. 27, p. 27-33, 2011.
43. SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2002.
44. SILVA, M. G. **Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
45. SILVA, R. E.; SOUZA, R. R.; BONFIM, F. S. A extração do látex e a coleta de sementes em comunidades da FLONA do Tapajós: bases empíricas para a discussão da racionalidade ambiental. **Gaia Scientia**, Edição Especial Cultura, Sociedade & Ambiente, v. 10, n. 1, p. 126-132, 2016.
46. SOUZA, M. J. C. de; SILVA, K. S. da; PERDIGÃO, C. R. V.; SILVA, G. R. da; MELO, L. E. de L. **Anatomia do lenho carbonizado de espécies madeireiras comercializadas na Amazônia**. Boletim Técnico nº 8 – Fundação Casa da Cultura de Marabá, 2015.
47. SOUZA, W. M. de; DALVI, L. C.; CAUX, L. S. de. Impregnação de cavacos de eucalipto com efluentes setoriais. **O Papel**, v. 75, p. 67-73, 2014.

48. TALGATTI, M.; SILVEIRA, A. G. da; BALDIN, T.; OLIVEIRA, L. H. de; SANTINI, E. J.; PASA, D. L. Caracterização anatômica de clones comerciais de *Eucalyptus* para a produção de papel. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 5 n. 1 p. 65-70, 2020. DOI: dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i1.67625.
49. TREVIZOR, T. T. **Anatomia comparada do lenho de 64 espécies arbóreas de ocorrência natural na floresta tropical Amazônia no Estado do Pará**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.
50. TRUGILHO, P. F.; BIANCHI, M. L.; GOMIDE, J. L.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MORI, F. A., GOMES, D. F. F. Clones de *Eucalyptus* versus a produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n2, p.145-155, 2005.
51. VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. **Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira?** BNDES Setorial 39, p. 281-342, 2014.
52. VIEIRA, H. C.; DANIELLI, D.; BUSS, R.; BORGES, D. W.; ROSA, T. O.; CARVALHO, C. A.; GAA, A.; RIOS, P. D. Características anatômicas da madeira e índices de resistência do Papel da espécie de *Eucalyptus badjensis*. In: III Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, Florianópolis, 2017
53. VIVIAN, M. A.; SEGURA, T. E. S.; BONFATTI JUNIOR, E. A.; SARTO, C.; SCHMIDT, F.; SILVA JUNIOR, F. G.; GABOV, K.; FARDIM, P. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 183-191, 2015.

Qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii* visando a produção de polpa celulósica

| **Marina Sbardella**
UFSC

| **Magnos Alan Vivian**
UFSC

| **Karina Soares Modes,**
UFSC

RESUMO

Objetivo: O objetivo do estudo foi avaliar a densidade básica e a morfologia das fibras da madeira de *Eucalyptus dunnii* visando a produção de polpa celulósica. **Método:** Foram abatidas três árvores, com 7 anos de idade, de um plantio localizado no município de Papanduva, estado de Santa Catarina, Brasil. De cada árvore foram retirados discos com aproximadamente 3,0 cm de espessura para a determinação da densidade básica e da morfologia das fibras da madeira. Em relação a morfologia das fibras avaliou-se o comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular, bem como dos índices de qualidade para produção de celulose e papel: fração parede, índice de Runkel, índice de flexibilidade e índice de enfiamento, e sua variação radial (sentido medula-casca). **Resultados:** A densidade básica média observada para a madeira de *E. dunnii* foi 0,511 g/cm³, valor que se encontra dentro dos padrões requeridos para a produção de celulose fibra curta. As fibras apresentaram os valores médios de: 0,97 mm de comprimento; 17,00 µm de largura; 9,98 µm de diâmetro do lume e 3,51 µm de espessura de parede. Apenas o comprimento de fibras e espessura de parede apresentaram tendência de aumento no sentido medula-casca. Os valores médios obtidos para parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica foram: 0,79 para o índice de Runkel; 41,81% de fração parede; 58,18% de coeficiente de flexibilidade e 56,79 de índice de enfiamento. **Conclusão:** Os resultados encontrados indicam que a madeira de *E. dunnii* tem bom potencial para produção de celulose de fibra curta.

Palavras-chave: Celulose e Papel, Fibra Curta, Densidade Básica, Anatomia da Madeira.

■ INTRODUÇÃO

O Brasil é um país altamente eficiente na produção de celulose e papel. A fabricação e o comércio destes colaboram para o desenvolvimento da economia nacional e mundial. O constante desenvolvimento e elevada produtividade do setor são oriundos de longos anos de pesquisa e dos altos investimentos, aliados às condições edafoclimáticas bastante favoráveis (IBÁ, 2017).

Atualmente o país conta com uma área de 9 milhões de hectares de árvores plantadas, sendo 35% pertencentes a empresas do segmento de celulose e papel, gerando uma produção de 19,7 milhões de toneladas, consolidando o Brasil como o segundo maior produtor mundial (IBA, 2020).

A grande demanda de produção exigida dentro do setor de celulose e papel requer o desenvolvimento de novas tecnologias e estudos utilizando matérias-primas que resultem no aumento da produção e conciliem a isto, o manejo sustentável (IBÁ, 2017).

Segundo Fantuzzi Neto (2012), a produção de celulose de alta qualidade requer matéria-prima com as características adequadas a esta finalidade, visto que quanto maior a variabilidade da madeira, maior será a tendência a prejuízos futuros, que poderão vir a reduzir o faturamento. A constante busca por matérias-primas com características de interesse tornou-se fato entre as empresas do ramo da celulose e papel, com vista a aumentar a produção, o rendimento e de melhorar as propriedades do produto final (JARDIM *et al.*, 2017).

A espécie *Eucalyptus dunnii* tornou-se atrativa para empresas do setor de celulose e papel na região Sul devido seu excelente desenvolvimento silvicultural, resistência ao frio e tolerância à geadas. Destaca-se o bom desenvolvimento da espécie em regiões do planalto e serra dos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Em Santa Catarina, os plantios comerciais são recomendados em locais com altitude inferior a 1000 metros, devido aos cuidados relacionados à ocorrência de geadas severas (EMBRAPA, 1988; RAMOS *et al.*, 2006).

Dentre as principais características que são consideradas na escolha de espécies para a produção de celulose estão as físicas e anatômicas. Das características físicas, a densidade é a mais importante por influenciar na qualidade da polpa, do papel e na quantidade de produto final. Quanto às características anatômicas da madeira, destacam-se as dimensões das fibras, que são indicadores importantes da qualidade de uma madeira para a fabricação de papel.

De acordo com Nisgoski *et al.* (2012), as propriedades desejadas do papel são influenciadas pelas características morfológicas das fibras como a largura, comprimento, espessura da parede e o diâmetro do lume. Por meio desses valores é possível estabelecer

o comportamento e a capacidade papeleira, estimando parâmetros como fração parede, índice de flexibilidade, índice de enfiamento e índice de Runkel.

A partir do conhecimento destas características é possível inferir sobre o real potencial da espécie para tal fim, comparando-a com as principais espécies/híbridos do gênero *Eucalyptus* utilizadas no Brasil. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi avaliar as características físicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* visando à produção de polpa celulósica.

■ MÉTODO

Coleta e preparo do material

Para a realização do presente estudo foi utilizada a madeira de *Eucalyptus dunnii*, com 7 anos de idade, proveniente de um plantio localizado no município de Papanduva (26°22'S e 50°08'O), estado de Santa Catarina, Brasil. O clima da região é Cfa, de acordo com a classificação de Köppen, com verão quente e temperatura média anual entre 14 e 16 °C (ALVARES *et al.*, 2013).

Foram coletadas três árvores médias do povoamento, das quais foram amostrados discos com aproximadamente 3,0 cm de espessura das seguintes posições: 0 (base), diâmetro a altura do peito (DAP), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, considerando 6,0 cm na ponta fina. Os discos da base foram utilizados para avaliação da morfologia das fibras e os discos das demais posições para determinação da densidade básica da madeira. Estes discos foram devidamente identificados, por árvore e altura, e encaminhados ao Laboratório de Recursos Florestais, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), campus de Curitibanos.

Determinação da densidade básica

A densidade básica foi determinada seguindo o método do máximo teor de umidade, conforme descrito na norma ABNT 11941, (2003) (Equação 1). Para isso, os discos de cada posição amostrada foram transformados em cavacos, sendo posteriormente misturados, gerando amostra composta por árvore. Utilizou-se 10 repetições de 100g de cavacos cada.

$$Db = \frac{1}{\frac{Mu}{Ms} - 0,346} \quad (1)$$

Em que: Db – densidade básica, g/cm³; Mu – massa úmida, g; Ms – massa seca, g.

Caracterização morfológica das fibras

Para determinação das propriedades morfológicas das fibras da madeira foi utilizado um disco da base de cada árvore. Primeiramente os discos foram lixados, para melhor visualização e na sequência foram marcadas baguetas centrais no sentido medula-casca. A partir do conhecimento do comprimento radial dos discos foram calculadas as posições 0, 50 e 100% da distância medula-casca (Figura 1). Destas posições foram confeccionados pequenos fragmentos (palitos) visando a maceração.

Figura 1. Representação da marcação radial da bagueta com as posições 0 (P1), 50 (P2) e 100% (P3).



Fonte: Os autores.

O processo de maceração seguiu a metodologia descrita por Sarto (2012), sendo realizado em uma solução contendo ácido acético, ácido nítrico e água (proporção 5:2:1) (Figura 2A). Para isso, os fragmentos foram dispostos em tubos de ensaio e submetidos a solução de maceração em banho-maria (a 100°C), por aproximadamente uma hora, até individualização das fibras. Finalizado esse período as fibras foram retiradas, lavadas e mantidas em tudo de ensaio com água destilada (Figuras 2B e 2C).

Figura 2. Processo de maceração: A) Processo de maceração; B) Procedimento de lavagem das fibras; C) Fibras armazenadas em tudo de ensaio com água destilada.



Fonte: Os autores.

A partir do material macerado foram montadas lâminas, sendo adicionada uma gota de safranina, uma de glicerina e uma de água. De cada lâmina foram obtidas imagens em microscópio com câmera digital acoplada e software específico para aquisição das mesmas. Para captura das imagens de comprimento foi utilizado aumento de 40x, já para largura e diâmetro do lume utilizou-se o aumento de 400x. No total, foram mensuradas as dimensões de 35 fibras para cada posição radial medula-casca, baseando-se nas normas da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989).

Com base nos valores de comprimento, largura e diâmetro do lume, determinaram-se os seguintes parâmetros: espessura da parede celular, índice de Runkel, índice de flexibilidade, índice de enfiamento e fração parede, conforme as equações 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Estes podem ser considerados indicadores de qualidade da polpa celulósica, visando avaliar o potencial da madeira para essa finalidade.

$$EP = \frac{L - DL}{2} \quad (2)$$

$$IR = \frac{2 \times EP}{DL} \quad (3)$$

$$IF = \frac{DL}{L} \times 100 \quad (4)$$

$$IE = \frac{C}{\frac{L}{100}} \quad (5)$$

$$FP = \frac{2 \times EP}{L} \times 100 \quad (6)$$

Em que: C – comprimento da fibra, mm; L – largura da fibra, μm ; DL – diâmetro do lume da fibra, μm ; EP – espessura da parede celular, μm ; IR – índice de Runkel; IF – índice de flexibilidade, %; IE – índice de enfiamento; FR – fração parede, %.

Análise estatística

Os dados obtidos no presente estudo foram armazenados e analisados com o auxílio de planilhas eletrônicas, utilizando os programas Excel® 2013 e o software SPSS 15.0. A avaliação da densidade básica consistiu em uma análise estatística. Já para a morfologia das fibras foi aplicada uma análise de variância (ANOVA), com teste de Tukey, a 5% de probabilidade para avaliar a variação radial da dimensão das fibras.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade básica

Os valores de densidade básica obtidos para a madeira de *E. dunnii* podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Densidade básica da madeira de *E. dunnii*.

Árvore	Densidade básica (g/cm ³)
1	0,514
2	0,491
3	0,527
Média	0,511
DP ¹	0,02
CV (%)	3,98

¹ DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Os autores

A densidade básica média da madeira de *E. dunnii* foi de 0,511 g/cm³, estando dentro dos padrões requeridos para a produção de celulose, que de acordo com Silva *et al.* (2001), deve ser entre 0,400 a 0,550 g/cm³. A utilização de madeiras com densidades inferiores a 0,400 g/cm³ resulta no aumento do consumo específico do material, o que torna o processo de produção pouco vantajoso, em virtude de limitações em relação ao fornecimento de matéria-prima. Enquanto que, utilizar madeiras com densidades superiores a 0,550 g/cm³ acarreta em maior desgaste das facas picadoras e em cavacos de maiores dimensões, o que dificulta a impregnação do licor nos mesmos, levando ao aumento no teor de rejeitos, resultando na queda do rendimento depurado (SILVA *et al.*, 2001).

Gonçalez *et al.* (2014) estudando as características da madeira de *Eucalyptus urograndis* com 8 anos de idade, que é uma das principais fontes de madeira para produção de celulose de fibra curta no Brasil, encontraram a densidade de 0,510 g/cm³, muito similar ao encontrado para o *E. dunnii* no presente estudo.

Milagres (2009) relata que a densidade básica pode variar entre indivíduos da mesma espécie e até mesmo dentro da própria árvore. Essas variações são ocasionadas por

mudanças nas proporções dos vasos e espessuras das paredes celulares das fibras. O aumento da densidade básica da madeira tem forte relação com a espessura da parede celular, sendo que quanto mais espessa, maior será o valor da densidade básica. Isso também ocorre de maneira inversa, sendo que o aumento na proporção dos vasos leva à redução da densidade da madeira (SOUZA, 2012).

Morfologia das fibras

Os valores médios encontrados para a morfologia das fibras da madeira de *E. dunnii* podem ser observados na Tabela 2. Já a variação radial (sentido medula-casca) pode ser observada na Figura 3.

Tabela 2. Dimensões médias das fibras de *Eucalyptus dunnii*.

Árvore	C (mm) ¹	L (μm)	DL (μm)	EP (μm)
1	0,94	16,20	3,11	9,98
2	1,00	16,74	3,58	9,58
3	0,97	18,05	3,83	10,39
Média	0,97	17,00	9,98	3,51
DP	0,16	3,20	2,95	0,94
CV (%)	16,77	18,83	29,57	26,83

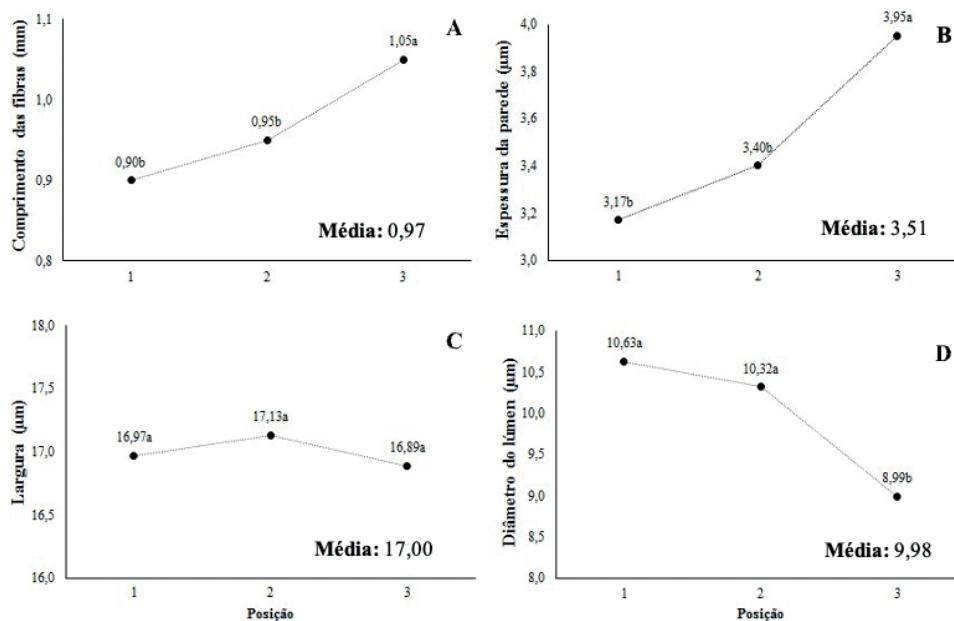
¹ C – comprimento; L – largura; DL – diâmetro do lume; EP – espessura da Parede; DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Os autores.

As fibras apresentaram os valores médios de: 0,97 mm de comprimento; 17,00 μm de largura; 9,98 μm de diâmetro do lume e 3,51 μm de espessura de parede. O comprimento e espessura de parede celular das fibras apresentaram tendência de aumento significativo no sentido medula-casca, enquanto que o diâmetro do lume apresentou comportamento inverso, com redução significativa no sentido medula-casca. Já a largura não apresentou variação significativa no sentido radial.

Com base na classificação proposta por Metcalfe e Chalk (1983), o comprimento das fibras da madeira de *E. dunnii* pode ser considerado médio, pois se enquadra no intervalo de 0,9 a 1,6 mm. Já em relação à espessura da parede celular, o valor observado permite classificá-la como espessa, pois se enquadra na faixa de 3 a 5 μm, de acordo com Manimekalai *et al.* (2002).

Figura 3. Variação radial das dimensões das fibras de *E. dunnii*. A – comprimento; B – espessura de parede celular; C – largura; D – diâmetro do lume.



Fonte: Os autores.

Baldin *et al.* (2017) estudando a variação radial das dimensões das fibras de quatro espécies de *Eucalyptus*, observaram a mesma tendência de aumento no comprimento das fibras e espessura da parede. Essa tendência de variação para diferentes espécies de eucalipto também foi relatada por Tomazello Filho (1985). Este ainda afirma que conforme a árvore aumenta em idade, ocorre o aumento no comprimento das fibras, resultado do acréscimo do comprimento das células que as originam, que são denominadas de fusiformes iniciais. A estabilização desta variação apenas irá ocorrer quando as células do câmbio atingirem comprimento máximo, quando iniciar a formação do lenho adulto.

Observa-se na Figura 3 que a espessura de parede e o diâmetro do lume apresentam comportamentos antagônicos, que somada a estabilidade na largura das fibras, tem lógica, pois quanto maior a espessura da parede, com a mesma largura, vai levar a redução do diâmetro do lume. Brasil e Ferreira (1972), estudando *E. grandis* acreditam que a diminuição do diâmetro do lume no sentido medula-casca pode se ocasionada pela variação da espessura de parede.

Em relação ao comprimento, o aumento significativo no sentido radial, sem tendência de estabilização, indica a presença de lenho juvenil. Um indicativo da presença de lenho adulto é a estabilidade no comprimento, que não foi observado. Deve-se levar em consideração que as árvores avaliadas apresentavam apenas 7 anos de idade, e que foram amostradas três posições radiais.

Na Tabela 3 pode ser observada a comparação das dimensões das fibras da madeira de *E. dunnii* com outras espécies/híbridos de *Eucalyptus* utilizadas para a produção de celulose do segmento de fibras curtas.

Tabela 3. Comparação das dimensões das fibras entre espécies/híbridos de *Eucalyptus*.

	Idade	C (mm) ¹	L (µm)	DL (µm)	EP (µm)
<i>Eucalyptus dunnii</i> ¹	7	0,97	17,00	9,98	3,51
<i>Eucalyptus dunnii</i> ²	5	0,98	17,00	-	4,30
<i>Eucalyptus saligna</i> ³	5	1,00	19,20	13,00	3,10
<i>Eucalyptus urograndis</i> ⁴	8	0,90	16,91	5,59	5,61

¹ C – comprimento; L – largura; DL – diâmetro do lume; EP – espessura da Parede; ¹Presente estudo; ²Baldin et al. (2017); ³Foelkel; Barrichelo (1975); ⁴Gonzalez et al. (2014).

Fonte: Os autores.

De acordo com a Tabela 3, as dimensões observadas para a madeira de *E. dunnii* no presente estudo foram semelhantes aos valores encontrados por Baldin *et al.* (2017) para a mesma espécie. Já em relação aos valores citados para as madeiras de *E. saligna* e do híbrido *E. urograndis*, a madeira estudada apresentou uma pequena diferença. Foelkel (1977) relata que quanto mais longas forem as fibras de uma madeira, maior será a tendência de as mesmas manterem-se unidas quando submetidas a grandes esforços. Para Santos (2005), as fibras curtas são, no geral, recomendadas para produção de papéis de melhores características de formação e lisura superficial.

A largura, juntamente com a espessura da parede das fibras, influencia no diâmetro do lume, ou seja, na quantidade de espaços vazios encontrados na madeira. Quanto mais largo e espesso for esse diâmetro, menor será a densidade da madeira em estudo. O aumento desta dimensão resulta na redução da resistência do papel ao arrebentamento, o que pode ser considerada uma desvantagem (SILVA, 2002; SILVA *et al.*, 2007).

A espessura da parede celular é de grande relevância quando se trata de produzir papel de impressão, com características como maciez e opacidade, sendo que polpas produzidas a partir de fibras que apresentem paredes de maior espessura resultarão em um produto com maior número de fibras por grama e em papéis com maior volume específico aparente (GOMIDE *et al.*, 2005).

Na Tabela 4 podem ser observados os valores médios e a comparação dos parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica da madeira de *E. dunnii* e outras espécies/híbridos de *Eucalyptus*. É possível reparar que existem diferenças consideráveis entre os materiais da mesma espécie e com as demais.

Tabela 4. Comparação dos parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica das fibras de *E. dunnii* com outras espécies/híbridos de *Eucalyptus*.

	Idade	IR1	FP (%)	CF (%)	IE
<i>Eucalyptus dunnii</i> ¹	7	0,79	41,81	58,18	57,09
<i>Eucalyptus dunnii</i> ²	5	1,07	51,53	50,00	58,96
<i>Eucalyptus saligna</i> ³	5	0,55	36,79	66,52	54,01
<i>Eucalyptus urograndis</i> ⁴	8	1,47	59,64	40,35	-

¹ IR – índice de Runkel; FP – fração parede; CF – coeficiente de flexibilidade; IE – índice de enfeltramento; ¹Presente estudo; ²Baldin et al. (2017); ³Foelkel; Barrichelo (1975); ⁴Gonzalez et al. (2014).

Fonte: Os autores.

Conforme a classificação criada por Runkel, e citada por Tostes *et al.* (2013), o valor obtido neste estudo (0,79) permite enquadrá-lo na categoria III (entre 0,5 e 1,0), que indica que as fibras da madeira de *E. dunnii* são boas para fabricação de papel. O índice de Runkel estabelece o grau de colapso entre fibras durante o processo de produção de papel. Quanto menor o valor gerado para o índice, maior será o colapso entre as fibras, aumentando a superfície de contato, resultando em um papel mais resistente ao estouro e à tração. Valores altos para este índice caracterizam fibras mais rígidas e com dificuldade de união na folha de papel (FLORSHEIM *et al.*, 2009).

Em relação a fração parede, o valor obtido (41,81%) está um pouco acima do valor considerado limite, que é 40%. De acordo com Shimoyama e Wiecheteck (1993), o ideal é que a fração parede esteja abaixo de 40%, pois as fibras colapsariam mais facilmente, proporcionando maior resistência ao papel. Diversos autores afirmam valores altos de fração parede indicam que as fibras são rígidas, causando, pela falta de flexibilidade, problemas de ligação entre fibras na produção de papel, afetando sua resistência (FOELKEL, BARRICHELO, 1975; NISGOSKI *et al.*, 2012; GONÇALEZ *et al.*, 2014).

O coeficiente de flexibilidade obtido (58,18%) se enquadra na faixa de 50 a 75%, conforme classificação apresentada por Nisgoski (2005), que indica que as fibras são flexíveis e apresentarão boa superfície de contato e união entre elas. Quanto maior o valor do coeficiente de flexibilidade, mais fácil será a ligação entre as fibras, conferindo assim maior resistência ao papel. No caso de valores baixos para este coeficiente, tem-se a redução na resistência do papel devido à baixa superfície de contato entre as fibras (FOELKEL, BARRICHELO, 1975; SAIKIA *et al.*, 1997).

Por fim, o índice de enfiamento encontrado (57,09) está acima do valor mínimo citado por Nisgoski *et al.* (2012), que é 50, o que é interessante, pois confere boas características ao papel em relação ao rasgo e arrebitamento. De forma geral quanto maior o seu valor, mais resistente.

Comparando os resultados obtidos para as fibras da madeira de *E. dunnii* com as demais espécies/híbridos que constam na Tabela 4, observa-se que a mesma apresenta bom potencial para produção de celulose e papel, em especial para o segmento de fibra curta.

■ CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos conclui-se que a madeira de *E. dunnii* apresenta bom potencial para produção de celulose de fibra curta, com densidade básica dentro dos padrões requeridos, e com indicadores anatômicos que caracterizam fibras de boa qualidade.

■ REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11941**: Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 6p., 2003.
2. ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2013.
3. BALDIN, T.; MARCHIORI, J.N.C.; TALGATTI, M. Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'her. **Ciência da Madeira**. Pelotas, v.8, n.2, p.144-126, 2017.
4. BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ao nível do DAP. **IPEF**, Piracicaba, n.5, p.81- 90, 1972.
5. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento Ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba: Embrapa, 113p., 1988.
6. FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft**. 2012. 105f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.
7. FLORSHEIM, S.M.B., COUTO, H.T.Z., LIMA, I.L., LONGUI, E.L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista Instituto Florestal**. São Paulo, v.2, n.1, p.79-91, 2009.
8. FOELKEL, C. E.; BARRICHELO, L. E. G. Utilização de madeiras de essências florestais nativas na obtenção de celulose: bracatinga (*Mimosa bracatinga*), embaúba (*Cecropiasp.*), caixeta (*Tabebuia cassinoides*) e boleira (*Joannesia princeps*). **IPEF**, n.10, p. 43-56, 1975.
9. FOELKEL, C. E. B. **Estrutura da madeira**. 1977. Disponível em: <<http://www.celsofoelkel.com.br/artigos>>. Acesso em: 04/08/2018.
10. GOMIDE, J. L., 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.
11. GONÇALEZ, J. C.; SANTOS, G. L.; SILVA JUNIOR, F. G.; MARTINS, I. S.; COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.
12. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS - IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Oakland, v.10, n.3, p. 220-332, 1989.
13. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual IBA 2017**, ano base 2016. São Paulo: IBÁ, 2017, 80 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>>, acesso em 08 de out. 2017.
14. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual IBA 2020**, ano base 2019. São Paulo: IBÁ, 66 p, 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>

15. JARDIM, J.M.; GOMES, F.J.G.; COLODETTE, J.L.; BRAHIM, B.P. Avaliação da qualidade e desempenho de clones de eucalipto na produção de celulose. **O Papel**, São Paulo, vol. 78, n.11, p. 122-129, 2017.
16. MANIMEKALAI, V., PAVICHANDRAN, P., BALASUBRAMANIAN, A. Fibres of *Sorghum bicolor* (L.) Moench and their potential use in paper and board making. **Phitomorphology**, v. 52, n. 1, p. 55-59, 2002.
17. METCALFE, C. R., CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: II: Wood structure and conclusion of the general introduction**. v. 2. 2 ed. Oxford: Clarendon Press. 308p, 1983.
18. MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
19. NISGOSKI, S.; MUNIZ, G.I.B.; TRIANOSKI, R.; MATOS, J.L.M.; VENSON, I. Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p.203-211, 2012.
20. NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** Curitiba. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná). 173 f. 2005.
21. RAMOS, M.G.; SERPA, P.N.; SANTOS, C.B. dos; FARIAS, J.C. **Manual de silvicultura: I – Cultivo e manejo de florestas plantadas**. Florianópolis: Epagri, 55p., 2006.
22. SAIKIA, S. N.; GOSWAMI, T.; ALI, F. Evaluation of pulp and paper making characteristics of certain fast growing plants. **Wood Science and Technology**, v. 31, p. 467–475, 1997. DOI:10.1007/BF00702569
23. SANTOS, S. R. dos. **Influência da qualidade de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada**. 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.
24. SARTO, C. **Avaliação do processo SuperBatch para produção de polpa celulósica a partir de *Bambusa vulgaris***. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Curso de Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.
25. SHIMOYAMA, V. R. S., & WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para produção de papel imprensa. **IPEF**, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.
26. SILVA, J. et al, Importância do eucalipto para a indústria de celulose no Brasil. **Revista de madeira**, Curitiba, p.90-92, Suplemento especial, 2001.
27. SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 16f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2002.
28. SILVA, J.C.; FILHO, M.T.; OLIVEIRA, J.T.S.; CASTRO, V.R. Influência de idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 31, n.6, p. 1081-1090, 2007.

29. SOUZA, F. M. L. de. **Estudo comparativo da madeira e polpação de *Eucalyptus urophylla* e o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* em dois modelos silviculturais.** 2012. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012.
30. TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. **IPEF**, Piracicaba, v.30, p. 45-54, 1985.
31. TOSTES, L. C. L., MACHADO, S. R., CARIM, M. J. V., & Guimarães, J. R. S. Morfometria das fibras do sistema radicular de *Philodendron bipinnatifidum* Schott (Família Araceae; subgênero Meconostigma). **Biota Amazônia**, v.3, n.3, p. 15-22, 2013. doi: 10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v3n3p15-22.

Anisotropia da contração e inchamento da madeira: uma abordagem tecnológica

| **Erick Phelipe Amorim**
UFSCar

| **Juarez Benigno Paes**
UFES

| **Marcos Alves Nicácio**
UFES

RESUMO

Por ser um material higroscópico, a madeira absorve e adsorve água do ambiente em que está inserida, sendo dependente da temperatura e da umidade relativa do ar em que está inserida. O aumento ou a diminuição do teor de umidade do ambiente pode alterar as dimensões e, conseqüentemente, as propriedades físicas e mecânicas da madeira. Desta forma, o objetivo do estudo é uma abordagem tecnológica sobre as principais causas do movimento dimensional da madeira, explorando os princípios envolvidos no processo de interações água-madeira e como suas propriedades tecnológicas são afetadas pelos fenômenos de perda e ganho de umidade; e apresentar os principais processos industriais de modificação da madeira disponíveis, a fim de minimizar ou mitigar os efeitos das interações água-madeira e melhorar os seus usos tecnológicos. Assim, as relações que envolvem a água, e os seus efeitos na ciência e tecnologia da madeira compreendem o grande obstáculo à sua utilização tecnológica. Sendo necessário conhecer as formas em que água se encontra na madeira e as inter-relações com este importante material, utilizado de diversas aplicações no dia a dia.

Palavras-chave: Propriedades da Madeira, Interações Água-Madeira, Modificações Térmica e Química da Madeira.

■ INTRODUÇÃO

A madeira é um material amplamente utilizado para atender diversos segmentos industriais, por ser um recurso renovável e insubstituível em certas aplicações. Podendo ser utilizada na produção de materiais de construção, pelas suas propriedades mecânicas, como fonte bioenergética e na produção de painéis reconstituídos (chapas de fibras, aglomerados, compensados, sarrafeados e laminados). Sendo empregada em finalidades industriais que exigem alta transformação química, como celulose e papel e material de reforço mecânico, em materiais termoplásticos (AMORIM *et al.* 2021; LIMA *et al.* 2020; MENUCELLI *et al.* 2019).

Por ser um material higroscópico a madeira absorve água na forma líquida, ou adsorve vapor da atmosfera circundante. Embora a madeira possa absorver ou adsorver outros líquidos e gases, a água é o mais importante. Pela sua higroscopicidade, a madeira, seja como parte da árvore viva ou como produto elaborado, sempre contém umidade. A umidade afeta todas as propriedades da madeira, mas deve-se observar que, apenas a umidade contida nas paredes das células exerce importância tecnológica; a umidade nas cavidades das células apenas adiciona massa (DIAS-JÚNIOR *et al.* 2016).

A quantidade de umidade retida nas paredes das células varia de ≈ 20 a 40%. Mas, para fins práticos, é considerada como 28-30%. O ponto teórico em que as paredes celulares completamente saturadas e as cavidades celulares estão vazias é conhecido como ponto de saturação das fibras (PSF). Além desse ponto, a umidade entra nas cavidades e, quando estão completamente cheias, é atingido o teor máximo de umidade que a madeira pode conter. Esse valor depende, principalmente da densidade da madeira e de sua capacidade de reter água (THYBRING *et al.* 2020).

O teor de umidade da madeira das árvores vivas varia de ≈ 30 a 300%, dependendo da espécie, da posição da madeira na árvore e da estação do ano. Quando a madeira em estado verde é exposta à atmosfera, seu teor de umidade diminui gradualmente. A umidade nas cavidades celulares é perdida primeiro. Com o tempo, o conteúdo de umidade cai para níveis que variam de ≈ 6 a 25%, com uma média de 15%. Condições locais de temperatura e umidade relativa influenciam na umidade da madeira (ENGELAND *et al.* 2013).

As espécies e dimensões da madeira não têm influência prática no nível de umidade final, embora as madeiras refratárias (propensas a colapso) e aquelas de maiores dimensões, necessitam de mais tempo para atingi-lo. É importante frisar que, por causa da higroscopicidade, o teor de umidade da madeira seca não permanece inalterado, mesmo quando mantida sob abrigo ou no interior das construções. Pelo contrário, está sujeito a mudanças contínuas, dentro de certos limites, como resultados da mudança da temperatura e da umidade relativa (ENGELAND *et al.* 2013).

A higroscopicidade é de importância primária, pois a umidade na madeira afeta todas as propriedades da madeira. Por exemplo, o teor de umidade pode aumentar a massa do material lignocelulósico em 100% ou mais, com consequentes efeitos nos custos de transporte. A variação no teor de umidade faz com que a madeira se contraia ou expanda, alterando suas dimensões. A resistência à decomposição e aos insetos é também afetada pelo teor de umidade, fazendo com que os fungos, e a maioria dos insetos, não ataquem a madeira com umidades abaixo de 20% (BATISTA *et al.*, 2013). A trabalhabilidade (usinagem), a colagem e o acabamento da madeira, e suas propriedades mecânicas, térmicas e acústicas são também influenciadas pelo teor de umidade. Sendo as operações de processamento mecânico da madeira como secagem, tratamento com substâncias preservativas e rendimento em polpação também influenciados (MININI *et al.*, 2021).

Desta forma, o objetivo desta abordagem tecnológica é fazer um levantamento bibliográfico sobre a anisotropia de contração e inchamento da madeira, mostrar como este fenômeno ocorre e apresentar os principais processos industriais de modificação da madeira disponíveis, a fim de minimizar ou mitigar os efeitos das interações água-madeira e melhorar os seus usos tecnológicos.

■ DESENVOLVIMENTO

Estrutura da madeira

A madeira é um material celular com uma estrutura hierárquica que abrange desde a escala molecular até células tubulares, que são interligadas para formar a madeira em uma árvore. Para descrever a estrutura da madeira é necessário conhecer os componentes da madeira. Assim, as árvores são divididas em duas subcategorias principais, angiospermas (folhosas) e gimnospermas (coníferas). As gimnospermas possuem sementes que não estão contidas em um óvulo, e possuem folhas modificadas, em forma de acículas. As angiospermas, cuja semente é envolvida pelo óvulo, e a árvore produz flores e folhas largas (PANSKIN e de ZEEUW, 1980; ROWELL, 2013). A distinção principal entre ambos os grupos é dada principalmente pela estrutura celular.

Assim, a madeira é classificada como sendo de folhosa ou de conífera, que se diferem em sua estrutura física. Geralmente as madeiras de folhosas apresentam características anatômicas mais complexas, e maior variação estrutural que as de coníferas, o que resulta em maior gama de permeabilidade e comportamento capilar. Nas madeiras de coníferas, como pinheiro, o transporte de água é realizado por células alongadas, conhecidas como traqueídeos, que são responsáveis tanto pelo transporte de fluidos, quanto pela sustentação

do tronco da árvore. O diâmetro dos traqueídeos variam entre a madeira jovem e adulta, e para o lenho primaveril e outonal (PANSHIN e De ZEEUW, 1980; ROWELL, 2013).

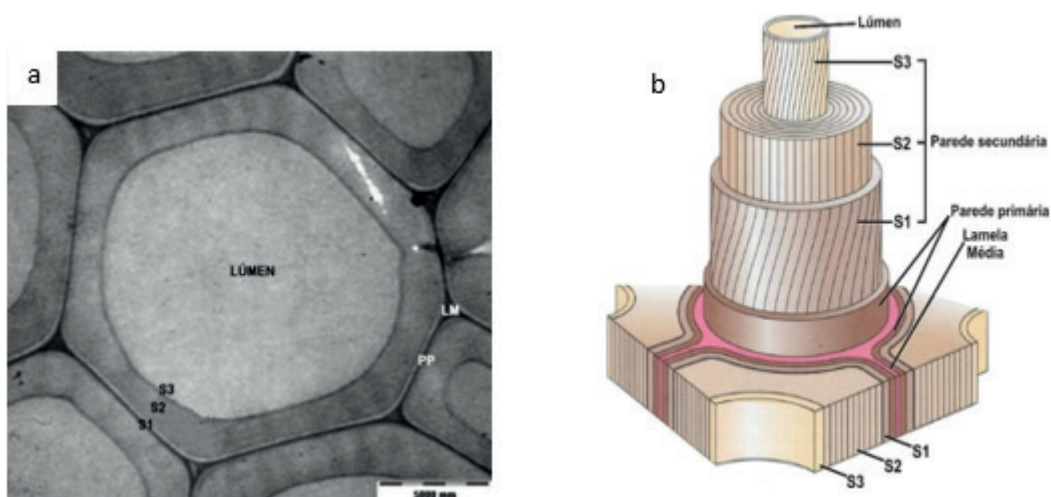
Já nas folhosas, o transporte e a sustentação do vegetal, são realizados por estruturas específicas. Sendo o transporte realizado pelos vasos, enquanto a sustentação é exercida pelas fibras, que são estruturas alongada e de parece espessa (PANSHIN e De ZEEUW, 1980; ROWELL, 2013).

Independentemente do tipo de madeira, sua estrutura anatômica é formada por diferentes tipos de células, que são aderidas umas às outras. A adesão entre as células é fornecida pela camada mais externa, a lamela média. É uma camada composta de lignina com algumas hemiceluloses. Unida à lamela média está a parede primária, que é uma camada fina e flexível (PANSHIN e De ZEEUW, 1980; ROWELL, 2013). A parede primária é, na maioria das vezes, indistinguível da lamela média, e ambas são agrupadas em uma camada chamada lamela intermediária composta. Depois da parede primaria ocorre a parede secundária, que consiste em três camadas: S_1 , S_2 e S_3 . A camada S_1 é intermediária entre a parede primária e as outras duas camadas secundárias. Representa $\approx 5 - 10\%$ da espessura total da parede celular, sendo a camada mais fina da parede secundária (PANSHIN e De ZEEUW, 1980; ROWELL, 2013).

A camada S_2 é a mais espessa da parede secundária e desempenha função dominante nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, sendo responsável por $\approx 75 - 85\%$ da espessura total da parede celular (WIEDENHOEFT, 2010). A última e mais interna camada da parede secundária é a camada S_3 (MÉLAINE, 2013), finalmente, no centro da célula da madeira está localizado um espaço vazio conhecido como lúmen, geralmente preenchido com água ou vapor ou ar.

O conhecimento da orientação e organização das microfibrilas de celulose, na parede celular, contribui com as propriedades físicas da madeira serrada e das fibras processadas. A camada S_2 , por ser mais espessa que as outras camadas, sendo responsável pelas propriedades físicas da parede celular. As camadas S_1 e S_3 , embora menos espessas, têm um papel importante no reforço da célula contra a deformação por forças de tensão da água, dureza lateral e resistência ao esmagamento da madeira. A estrutura cruzada das microfibrilas proporciona à madeira uma alta rigidez axial, além de resistência ao colapso e a ruptura (DONALDSON, 2008). Uma fotomicrografia e o esquema do arranjo estrutural da parede secundária, com a orientação das fibrilas em cada parede, é observado na Figura 1.

Figura 1. Fotomicrografia do arranjo estrutural da parede celular (a) e representação esquemática, contendo a orientação das fibrilas nas camadas da parede secundária (b).



Fonte: Coldbella (2016), com modificações dos autores.

Tipos de água existentes na madeira

A madeira é um material higroscópico e poroso, no qual a distribuição e as interações da água desempenham um papel crucial no processamento e durabilidade da madeira. Em muitas situações e aplicações, a madeira está passando por flutuações no teor de umidade, causado pelo ganho ou perdas periódicas de umidade. Compreender os mecanismos e as consequências dessas flutuações é de importância prática, uma vez que as propriedades mecânicas e a estabilidade dimensional da madeira são influenciadas pelo teor de umidade, podendo resultar em perda de durabilidade, promovido pelo crescimento de fungos e ataque de insetos (BRISCHKE e ALFREDSSEN, 2020).

Na madeira, a água pode estar presente sob três formas: água livre ou de capilaridade, água de adesão ou higroscópica e água de constituição química. A primeira fica localizada nos espaços intracelulares, como em vasos, meatos, canais e lúmen das células e, em espaços intercelulares. Teoricamente é a água que pode ser facilmente retirada. No processo de secagem, essa água passa de uma célula para outra até atingir a superfície externa da madeira, de onde se evapora para o ambiente. A água que fica localizada no interior das paredes celulares, ou seja, a água higroscópica, mantém-se unida, quimicamente às microfibrilas das paredes das células em estado de vapor. A retirada deste tipo de água é mais difícil e o processo geralmente é mais lento, sendo necessário a utilização de energia, na forma de calor, para forçar seu movimento no interior da madeira (ULKER, 2016).

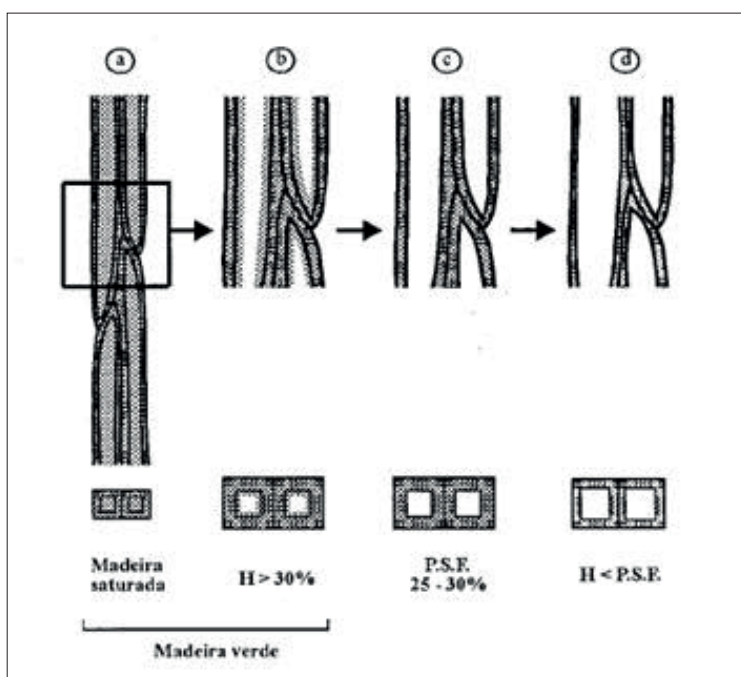
Já a água de constituição química, que faz parte dos grupamentos hidroxílicos (OH⁻) existentes nas moléculas de celulose, hemiceluloses e, também, interliga esses dois tipos de polissacarídeos à lignina, para formar a parede celular, apenas é retirada durante o processo de carbonização ou pirolise da madeira, em que ao final, não existe mais a madeira, e sim

um subproduto derivado da mesma. Esta água, também é removida, em parte, durante a modificação térmica da madeira (KOLLMANN, 1955; KOLLMANN e CÔTÉ JUNIOR, 1968; SKARR, 1988). Assunto a ser tratado no subitem 5.1 deste capítulo.

Assim, quando toda água livre ou de capilaridade foi retirada da madeira, permanecendo apenas a água de adesão, diz-se que a madeira atingiu sua umidade de saturação ao ar ou o seu ponto de saturação das fibras (PSF). Normalmente o PSF, situa-se na faixa de 22 a 30% de umidade, variando de espécie para espécie. O PSF é importante pois é a partir deste ponto, que ocorrem as alterações na estrutura da madeira, tais como: contrações que podem causar defeitos, como empenos e rachaduras e, conseqüentemente alterações na resistência física e mecânica da madeira (JANKOWSKA e KOZAKIEWICZ, 2016).

Na Figura 2 são apresentados os tipos de água existentes na madeira. Na Figura 2a nota-se que as fibras da madeira saturadas de água, ainda em estado fisiológico ativo, antes da madeira começar a perder água para o ambiente (madeira saturada); na Figura 2b a madeira perdeu quase toda água livre (madeira verde), e contém o máximo de água de adesão nas paredes das fibras ($H > 30\%$); Na Figura 2c, a madeira atinge o PSF (25-30%), tendo perdido toda água livre e restando apenas a água de adesão; a Figura 2d, representa a madeira seca, tendo atingido a umidade de equilíbrio higroscópico (UEH) com o ambiente ($H < \text{PSF}$).

Figura 2. Representação esquemática dos tipos de água existentes da madeira e seus estados de saturação.



Fonte: Krabbenhøft e Damkilde (2004).

Contração e Inchamento da madeira

A madeira passa por mudanças dimensionais, quando sua umidade está abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF). A perda de umidade, abaixo do PSF, resulta em retração em suas dimensões e, o ganho em inchamento. É característico que essas mudanças sejam anisotrópicas (diferentes nas direções axial, radial e tangencial da madeira). Os valores médios são de $\approx 0,4\%$, 4% e 8% , respectivamente. A contração em volume é, em média 12% , mas variações maiores podem ser exibidas entre as espécies florestais tropicais. Esses valores referem-se às mudanças do estado verde para a condição de secagem em estufa, e são expressos em porcentagem das dimensões verdes. A contração e o inchamento são diferentes, dependendo das direções de crescimento do tronco da árvore, e são atribuídos principalmente à espessura da parede da estrutura celular (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985, SKARR, 1988).

Mudanças dimensionais na madeira causadas pela contração e inchamento podem resultar na abertura ou fechamento de juntas (formada pela união de duas peças de madeira), mudança da forma da seção transversal, empenamento, formação de fissuras causadas pelo endurecimento superficial, com consequente liberação de tensões internas, durante o desdobro ou usinagem da madeira, o que conduz ao empenamento, ou rachaduras internas na madeira (favo de mel), promovido pelo colapso (distorção das células, causando uma aparência ondulada da superfície da madeira serrada), quando a madeira é seca muito rápido, durante os primeiros estágios da secagem (retirada de água livre ou capilar). Assim, o fato de a madeira contrair ou inchar e as suas inter-relações com a umidade do ar, constituem-se em grande obstáculo à sua utilização tecnológica (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985, SKARR, 1988).

Contração e inchamento volumétricos máximos da madeira

Considerando que a cavidade celular permanece constante em tamanho durante a ocorrência de inchamento. Existe uma relação geral entre o inchamento ou contração total e a densidade da madeira. Assim, quanto mais alta a densidade da madeira, maior o inchamento volumétrico. Porém, ressalta-se que, existem exceções. Assim, em madeiras com alto teor de extrativos essa relação não se aplica, por haver menor espaços para a interação água-madeira, ou seja, menor disponibilidade de grupos hidroxílicos livres (OH^-), para a formação de pontes de hidrogênio entre a madeira e a umidade do ar. O inchamento volumétrico máximo ocorre da condição de madeira anidra para o PSF (SKAAR, 1988), como Equação 1.

$$IV_{\max} = U_{\text{PSF}} \times D_b \quad (1)$$

IV_{max} : inchamento volumétrico máximo; U_{PSF} : umidade no ponto de saturação das fibras (28% de umidade); D_b : densidade básica da madeira ou massa específica básica.

Similarmente, pode ser mostrado que a relação de contração máxima que ocorre do PSF para condição seca (anidra) pode ser obtida, conforme Equação 2.

$$CV_{max} = U_{PSF} \times D_b \quad (2)$$

CV_{max} : contração volumétrica máxima; D_b : densidade básica da madeira ou massa específica básica.

No entanto, a máxima contração e inchamento volumétrico da madeira ocorrida entre o estado seco (anidro) até o PSF, não representa a realidade, quando a madeira está em uso, em que não está sujeita a tais extremos de troca de umidade e o interesse é conhecer que grau de alterações dimensionais que ocorrem no volume da madeira, quando é seca para algum teor de umidade desejado e, durante o ciclo normal de alterações de umidade, nas condições ambientais em que está exposta (SKAAR, 1988).

A madeira é um material que, independentemente da espécie (algumas com maior e outras com menor magnitude), quando submetido à secagem em níveis de umidade inferiores ao PSF reduz de volume, ação denominada contração ou retratibilidade. Ao contrário, o ganho de umidade provoca o processo de inchamento (REZENDE, 2009). Estes são os dois sentidos do fenômeno denominado estabilidade dimensional da madeira (ALMEIDA, 2015).

Contração e inchamento linear da madeira

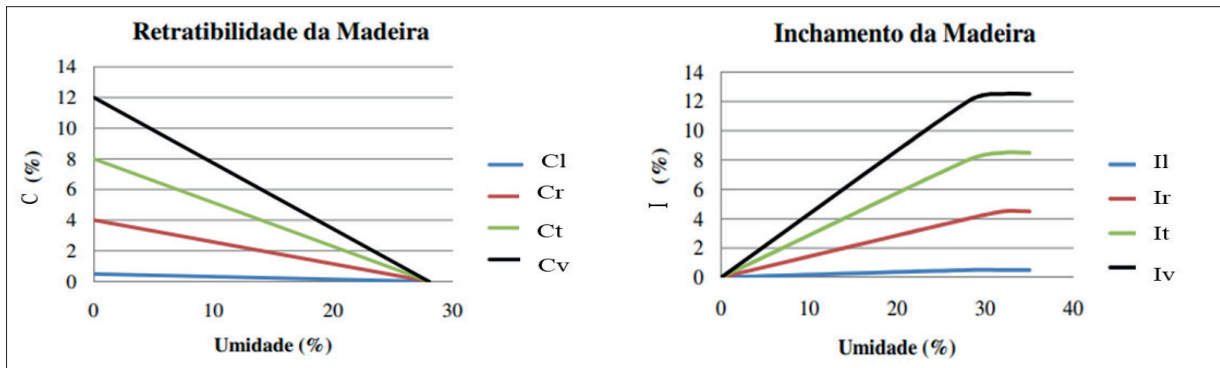
Medidas de contração volumétricas (máximas ou proporcionais) não são suficientes para descrever a contração que ocorre na madeira durante a secagem. Isto ocorre, pois, a madeira é anisotrópica com relação a contração e inchamento, e também para muitas outras de suas propriedades. Assim, a madeira exhibe diferentes valores de contrações e inchamentos, dependendo do eixo anatômico considerado, apresentando em média os seguintes valores contidos na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de contração lineares para cada direção da madeira.

Direção na madeira	Valores de contração (%)
Longitudinal	0,1 - 0,3
Radial	3,0 - 6,0
Tangencial	6,0 - 12,0

Estes ocorrem nas três direções principais da madeira. Na direção axial ocorre a menor variação dimensional, seguida pela radial. Na Figura 4 são representados os fenômenos da contração (retratibilidade) e inchamento para cada direção da madeira e seus respectivos.

Figura 4. Contração (retratibilidade) e inchamento da madeira nas três direções da madeira.



Il: inchamento na direção longitudinal; Ir: inchamento na direção radial; It: inchamento na direção tangencial; Iv: inchamento volumétrico; Cl: retração na direção longitudinal; Cr: retração na direção radial; Ct: retração na direção tangencial; Cv: retração volumétrica.

Fonte: Adaptado de Kollmann e Cotê Junior (1968) por Almeida (2015).

A contração (retração) no sentido longitudinal é desprezada em alguns trabalhos científicos, pela sua baixa variação (Tabela 1 e Figura 4). A explicação mais adequada para esse fenômeno está relacionada ao ângulo que os feixes formados pelas moléculas de celulose (microfibrilas e fibrilas) que irão formar a parede celular, estão orientados, quase que linearmente com o eixo da árvore (10°). Como a água não tem acesso ao interior da parte cristalina da molécula de celulose, esta expande apenas lateralmente (inchamento ou contração da parte amorfa), contribuindo pouco para a expansão ou retração no sentido axial (longitudinal) do tronco da árvore (KOLLMANN e CÔTÉ JUNIOR, 1968).

Como consequência, madeiras de árvores maduras ou parte mais externa de árvores adultas contraem muito pouco ao longo da grã. No entanto, na madeira juvenil, proveniente de árvores jovens, ou próxima à medula da árvore, pode ter apreciável contração longitudinal. Acredita-se que que isto seja resultado da diferença entre os ângulos fibrilares na camada S₂ da parede celular da madeira juvenil e adulta. O aumento no uso de madeira jovem, as quais contém uma grande proporção de madeira juvenil, tem aumentado o interesse na contração longitudinal da madeira.

Várias teorias têm sido propostas para explicar os fatores, os quais afetam a contração longitudinal da madeira. Estas teorias são geralmente embasadas no ângulo microfibrilar da camada S₂ da parede celular das células. A teoria mais aceita é de Barber e Meylan (1964), que com uso de um modelo simples, deram grande contribuição ao estudo da anisotropia de contração longitudinal. Ela considera a parede células longitudinais da madeira, constituída de uma matriz higroscópica amorfa, engastada em microfibrilas cristalinas paralelas, as quais atuam impedindo a contração e inchamento na direção paralela do seu eixo longitudinal.

A obtenção dos dados em nível laboratorial para a contração ou inchamento é dada pelas Equações 3 a 6, como citadas por Galvão e Jankowsky (1985), com algumas modificações intrínsecas, apresentadas, em decorrência da experiência em ensino e pesquisa dos autores deste capítulo. Sendo, assim necessário a saturação das amostras para se obter

a dimensão saturada. Depois, elas são secas em estufa de circulação forçada, mantida a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, para obter a dimensão seca da madeira, conforme determinado pela Norma Brasileira - NBR 7190, Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997). Os valores das medidas de cada direção da madeira, obtidos com paquímetro ou micrometro digital, são utilizados nos cálculos.

$$C_L = \left(\frac{L1 - L2}{L1} \right) \times 100 \quad (3)$$

C_L : Contração linear (longitudinal, radial e tangencial), (%); L1: Dimensão linear (longitudinal, radial e tangencial) saturada (mm); L2: Dimensão linear (longitudinal, radial e tangencial) seca (mm).

$$I_L = \left(\frac{L1 - L2}{L2} \right) \times 100 \quad (4)$$

I_L : Inchamento linear (longitudinal, radial e tangencial), (%); L1: Dimensão linear (longitudinal, radial e tangencial) saturada (mm); L2: Dimensão linear (longitudinal, radial e tangencial) seca (mm).

$$C_v = \left(\frac{V1 - V2}{V1} \right) \times 100 \quad (5)$$

C_v : Contração volumétrica (%); V1: Volume saturado (mm); V2: Volume seco (mm).

$$I_v = \left(\frac{V1 - V2}{V2} \right) \times 100 \quad (6)$$

I_v : Inchamento volumétrico (%); V1: Volume saturado (mm); V2: Volume seco (mm).

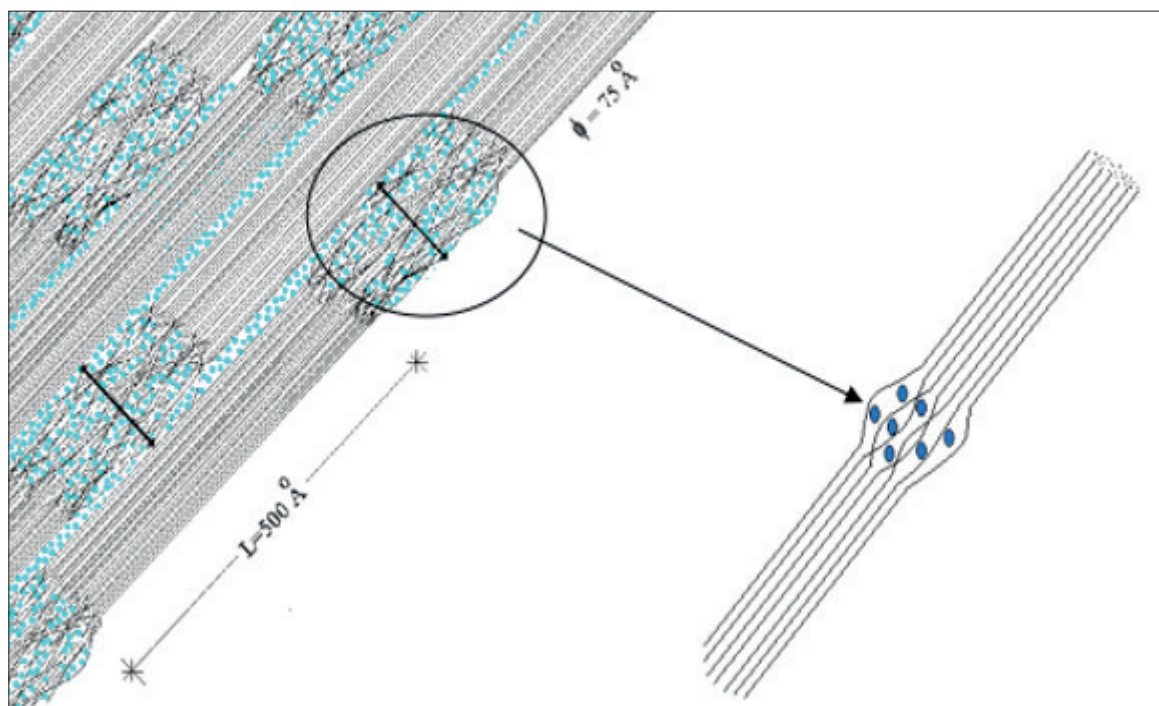
A direção longitudinal é paralela fibras, sendo como mencionado, menos suscetível à variação da umidade. Ela ocorre por existirem regiões cristalinas e amorfas na molécula de celulose e, pelo ângulo formado entre elas (camada S_2) e o eixo longitudinal da fibra, como já mencionado. Assim, a maior parte da contração ou inchamento ocorre no sentido transversal ao tronco da árvore, sendo maior na direção tangencial que na radial (KOLLMANN e CÔTÊ JUNIOR, 1968).

A menor variação dimensional na direção radial em relação à tangencial, pode ser explicada pela presença de raios (formados por parênquima ou traqueídeos), que são orientados transversalmente ao tronco. Isto impede parte da movimentação do tecido nesta direção, pelo mesmo fenômeno que rege a variação longitudinal. Outro fator que contribui para a estabilidade na direção radial, é a presença de maior número de pontoações, na

parede das células dos raios. Isto força as microfibrilas a contorná-las, provocando desvios em suas orientações, o que, de modo semelhante a variação longitudinal, impede parte da movimentação na direção radial. Outro fator, é a alternância entre o lenho inicial e tardio (anéis de crescimento), que no sentido radial está orientado em serie ao fluxo de fluídos, enquanto no tangencial, sua orientação é em paralelo. Como o lenho outonal e mais resistente que o primavera, ele é forçado a se movimentar mais no sentido tangencial (SKAAR, 1988; WALKER *et al.*, 1993).

O princípio da contração ou inchamento é explicado pelas moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às moléculas de celulose, que forma as microfibrilas da madeira. Quando elas são forçadas a saírem (durante a secagem da madeira), deixam espaços, e as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas, causando a contração da madeira. O Fenômeno do inchamento é o inverso, ou seja, quando a água adsorvida pela madeira, ela tende a penetrar entre as microfibrilas, causando, o afastamento e consequentemente inchando a madeira (KOLLMANN e CÔTÉ JUNIOR, 1968; OLIVEIRA *et al.* 2010), conforme Figura 5. OLIVEIRA *et al.* (2010) ressalta que madeiras mais densas, por terem maior concentração de células de parede mais espessas, tendem a absorver mais água por unidade de volume e, consequentemente, a expandir ou contrair mais do que aquelas de menor densidade.

Figura 5. Moléculas de água (em cor mais clara) entre as regiões cristalinas e dentro das regiões amorfas das fibras da madeira.



Fonte: Moreschi (2014).

Em decorrência da diferença entre os valores de contração ou inchamentos, obtidos nos sentidos radial e tangencial, durante a movimentação da madeira, causada pela variação

da umidade abaixo do PSF, durante o processo de secagem e uso da madeira, o que causa os defeitos de secagem. Como mencionado, a movimentação da madeira na direção longitudinal é quase desprezível, e na tangencial é maior que a radial. Assim, há o interesse em se conhecer o coeficiente de anisotropia (A), por representa o comportamento da madeira em relação à secagem, com o intuito de minimizar os defeitos ocorridos (MIRANDA *et al.* 2012). Os valores de coeficientes de anisotropia (A) são obtidos pela razão entre as contrações ou inchamentos radial e tangencial. Ele é geralmente calculado com os valores da contração (Equação 7).

$$A = \left(\frac{T}{R} \right) \quad (7)$$

A = Coeficiente de anisotropia; C_T: contração tangencial (%); C_R: Contração radial (%).

Normalmente, os valores variam de 1,3 para madeira de elevada estabilidade dimensional, até valores superiores a 3,0, para aquelas de menor estabilidade (Oliveira, 1998). No entanto, Klitzke (2007) propõe uma classificação em relação ao coeficiente de anisotropia que consiste em: < 1,5: madeira considera muito estável; 1,6 até 2,0: madeira considerada de média estabilidade; 2,0 até 2,5: madeira de média instabilidade; > 2,6: madeira considerada muito instável. Assim, com base no coeficiente ou fator anisotrópico é possível prever a utilização da madeira para diferentes usos (Tabela 2).

Tabela 2. Indicações de usos da madeira em função do coeficiente de anisotropia.

Coeficiente de anisotropia	Qualidade da madeira	Usos recomendados
1,2 a 1,5	Excelente	Móveis finos, esquadrias, barcos, aparelhos musicais, aparelhos de esportes, pisos e lambris.
1,5 a 2,0	Normal	Estantes, mesas, armários, usos que permitam pequenos empenamentos.
Acima de 2,0	Ruim	Estruturas diversas (características mecânicas), energia, compensados (laminados e sarrafeados) e painéis reconstituídos

Fonte: Nock, Ritche e Burger (1975), modificado pelos autores.

Apesar da importância do coeficiente de anisotropia na classificação da madeira, quanto a sua estabilidade dimensional, ele é apenas um indicativo, que não deve ser avaliado isoladamente. Assim, deve-se considerar, também os valores individuais das contrações volumétrica e lineares (radial e tangencial). Caso esses valores também sejam baixos, a madeira terá uma boa qualidade, classificada como normal ou excelente, conforme a Tabela 2.

Processos para minimizar a retratibilidade da madeira

Modificação térmica da madeira

A modificação térmica é o processo que consiste em expor a madeira a altas temperaturas, as quais são inferiores à sua combustão e variam entre 100 e 250°C, provocando o início da degradação de seus constituintes químicos fundamentais, principalmente das hemiceluloses que são as mais sensíveis a ação do calor e, geralmente ocorre na ausência de oxigênio ou na deficiência de ar (DUBEY *et al.* 2012). Como o resultado desse processo, tem-se um produto sólido com características distintas do original. Algumas dessas características são viáveis para diversificar as aplicações da madeira para usos específicos.

A modificação da madeira pretende melhorar as características e suas propriedades como a resistência à biodegradação e a estabilidade dimensional, mas também a resistência à radiação ultravioleta, entre outras. O termo modificação da madeira é apenas aplicado quando as melhorias verificadas na madeira se mantêm ao longo do ciclo de vida do produto. A modificação térmica da madeira se baseia na redução da acessibilidade dos grupos hidroxilos que se encontram sobretudo na celulose e hemiceluloses e que são os principais responsáveis pela higroscopicidade da madeira (ESTEVES; PEREIRA, 2009).

Os processos de modificação térmica mais importantes e com mais sucesso no mundo são cinco: Thermowood (Finlândia), Plato (Holanda), Bois Perdure e Rectification (França) e Oil Heat (Alemanha). Os processos desenvolvem-se normalmente em quatro fases: aquecimento, tratamento, arrefecimento e estabilização. As principais diferenças entre os métodos se baseiam de como é feito a fase do aquecimento e com as condições operárias na fase de tratamento, que ocorrem em temperaturas entre 160-260°C. As condições dos principais processos encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Descrição dos principais processos de modificação térmica.

Processo	Descrição
Thermowood	Aumento rápido da temperatura usando calor e vapor até 100°C seguido de um aumento mais suave até 130°C e secagem durante 1 hora. Aumento até à temperatura de tratamento (185-215°C) que se mantém durante cerca de 2-3 horas. Arrefecimento e estabilização.
Plato	Processo em 4 etapas: hidrotermólise, a temperaturas de 160-190°C em condições úmidas e com pressões acima da pressão atmosférica, secagem normal até 10% de umidade, tratamento térmico a seco a temperaturas de 170º-190°C e estabilização.
Bois Perdure	Secagem rápida com vapor e gases de combustão quentes produzidos pela subida na temperatura da madeira injetados na câmara de combustão.
Rectification	A madeira com umidade de 12% é tratada numa fase, a temperaturas de 200°C - 240°C, com azoto, garantindo um máximo do oxigênio de 2%.
Oil heat-OHT	Tratamento com óleo quente (180-240°C) num recipiente fechado que limita o teor de oxigênio.

Fonte: Esteves e Pereira (2009).

Como desvantagem do método de modificação térmica da madeira é a degradação de algumas propriedades mecânicas. O efeito no Módulo de Elasticidade-MOE é pequeno, mas a diminuição da tensão de ruptura pode ser significativa. A madeira torna-se quebradiça com a deterioração das propriedades de fratura devido à perda de polissacarídeos amorfos. A degradação das hemiceluloses é referida como o fator principal para a perda da resistência mecânica, mas o aumento da cristalinidade pode ter um papel importante. A madeira transforma-se num material mais escuro, com menor molhabilidade e condutividade térmica. A absorção de colas e vernizes é mais lenta do que na madeira não tratada. Uma revisão sobre como a modificação térmica altera algumas propriedades da madeira foi publicada por Esteves e Pereira (2009), conforme a tabela 5.

Tabela 5. Alterações provocadas nas propriedades tecnológicas da madeira modificadas termicamente.

Propriedades	Alterações
Umidade de Equilíbrio	Redução cerca de 40%
Estabilidade dimensional	Melhoria na estabilidade em 40%
Resistência contra ao ataque de fungos	Melhorias até perdas de massa inferiores a 2%
Resistência contra ao ataque de térmitas	Sem melhorias significativas
Módulo de Elasticidade-MOE	Diminuição de 5%
Tensão de Ruptura	Diminuição de 40%
Molhabilidade	Diminuição mesmo para tratamentos mais suaves
Dureza	Diminuição com tratamentos severos em até 30%
Resistência a colagem	Diminuição com a severidade do tratamento
Cor	Mais escura com o tratamento

Fonte: Esteves e Pereira (2009).

Modificação química da madeira-acetilação

A maioria dos processos de modificação química existentes baseiam-se na reação entre os grupos hidroxílicos da madeira e um reagente químico (ROWELL, 2006). Ao substituir alguns grupos hidroxilo da madeira por um composto hidrofóbico, a higroscopicidade diminui conduzindo a um material com propriedades melhoradas (BECK *et al.* 2017; POPESCU *et al.* 2014).

Grupos cetílicos, reduzem os números de grupos hidroxílicos acessíveis para moléculas de água na madeira. Além disso, o processo de acetilação incha a parede celular, deixando menos espaço disponível para água. A espessura da parede celular é considerada como o principal mecanismo para a redução do teor de umidade em madeira acetilada (HILL, 2005). Este rebaixado o teor de umidade da parede celular é uma razão possível para o aumento da durabilidade, uma vez que uma parede celular baixa o teor de umidade poderia dificultar o transporte de substâncias necessárias para os fungos (ZELINKA *et al.* 2016). Existem, no entanto, indicações de que a acetilação não só altera o teor de umidade da parede celular, mas também influencia as interações entre a madeira e a água capilar (THYGENSEN;

ELDER, 2008; BECK *et al.* 2017). Os fungos que decompõem a madeira necessitam de água capilar (SCHMIDT, 2006) e a acetilação baixa a isoterma de dessorção hiper-higroscópica da madeira (THYGESEN; ENGELUND; HOFFMEYER, 2010).

O principal método modificação química disponível comercialmente é a acetilação com anidrido acético. Outros anidridos de cadeia linear mais comprida também foram testados, mas mostraram ser menos eficientes pois apresentaram menor reatividade, sendo esta diminuição proporcional ao aumento de massa molecular. Os anidros cíclicos também foram testados, mas a redução na higroscopicidade é menor e causam problemas de degradação da madeira para concentrações mais elevadas. Também foram testados outros compostos, mas com níveis de eficácia inferiores ou com outros problemas associados como gás ceteno, ácidos carboxílicos, ácidos clóricos, isocianatos, epóxidos, aldeídos, acrilonitrila ou beta-propiolactona (ESTEVES; PEREIRA, 2009).

As propriedades da madeira melhoradas na modificação química não são diferentes da modificação térmica. A umidade de equilíbrio higroscópico diminui devido ao fato da substituição dos grupos hidroxílicos e pela diminuição é proporcional ao grau de substituição. Como consequência da diminuição da umidade de equilíbrio, haverá um aumento na estabilidade dimensional da madeira (FREDRIKSSON, 2019).

Modificação por impregnação-Furfurilação

A modificação por impregnação difere da modificação química por não ser a ligação química com os compostos estruturais existentes na madeira que promovem as melhorias nas propriedades embora essa ligação pode ocorrer (ESTEVES; PEREIRA, 2009).

O funcionamento da modificação por impregnação baseia-se na introdução de um ou vários compostos químicos na parede das células que, ao reagirem, formam um composto que bloqueia o acesso aos grupos hidroxilos, diminuindo desta forma a higroscopicidade da madeira. Existem dois mecanismos principalmente dois mecanismos: a impregnação com um monómero e subsequente polimerização ou a introdução de um material solúvel que se torna depois insolúvel após tratamento (MANTANS *et al.* 2017). A semelhança da modificação térmica e química, a impregnação com álcool furfurílico conduz a uma diminuição da umidade de equilíbrio e a um aumento da estabilidade dimensional da madeira, sendo este aumento proporcional ao aumento de massa da madeira (LANDE *et al.* 2004).

Dentre os processos para melhorar a estabilidade dimensional da madeira a furfurilação, vem ganhando notória expansão. Visto que este processo de modificação da madeira pode ter um futuro promissor, uma vez que o álcool furfurílico pode ser obtido através dos produtos secundários da produção do bioetanol, considerados de baixo valor no mercado o que torna, o processo de obtenção viável economicamente.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contração e inchamento é o fenômeno físico que impossibilita a utilização da madeira, para diversos usos que se deseja empregá-la, devendo-se conhecer essa interação física da madeira com água, a fim de utilizá-la de forma correta. Os avanços em pesquisas tecnológicas para diminuir a movimentação dimensional da madeira são recentes no Brasil, e necessita de pesquisas, para desenvolvimento de técnicas e tecnologias para otimizar o processo para se ampliar no mercado de base florestal.

■ AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior código de financiamento-001.

■ REFERÊNCIAS

1. AMORIM, E.P.; MENUCELLI, J.R.; GERMANO, A.D.; FARIA, R.F.P.; BARBOSA, J.A.; PÁDUA, F.A.; FREITAS, M.L.M.; MORAES, M.A.; CAMBUIM, J.; MORAES, M.L.T.; GONÇALVES, P.S.; LONGUI, E.L. Technological potential of fibers from 20 *Hevea brasiliensis* clones for use as pulp, paper, and composite materials. **Research, Society and Development**, v.10, n.10, p. e549101019102. 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i10.19102.
2. ALMEIDA, T.H. **Estudo da estabilidade dimensional de madeiras tropicais brasileiras**. 103f. 2015. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190/97**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
4. BATISTA, J.F.; CARNEIRO, P.D.; NASCIMENTO, G.O.; SANTOS, A.M. Relação entre o teor de umidade e a proliferação de fungos em madeira de espécies florestais. **Enciclopédia Biosfera**. v.9, n. 17, p. 831-844.2013.
5. BARBER, N.F.; MEYLAN., B.A. The anisotropic shrinkage of wood. A theoretical model. **Holzforchung**, v.18, p.146–156.1964.
6. BECK, G.; STROHBUSCH, S.; LARNØY, E.; MILITZ, H.; HILL, C. Accessibility of hydroxyl groups in anhydride modified wood as measured by deuterium exchange and saponification. **Holzforchung**, v.72, n.1, p.17-23. 2017.
7. BECK, G.; THYBRING EMIL, E.; THYGESEN LISBETH, G.; HILL, C. Characterization of moisture in acetylated and propionylated radiata pine using low-field nuclear magnetic resonance (LFNMR) relaxometry. **Holzforchung**, v.72, p. 225–233. 2017.
8. BRISCHKE, C.; ALFREDSEN, G. Wood-water relationship and their role for wood susceptibility to fungal decay. **Applied Microbiology Biotechnology**, v.105, p.14-15. 2021.

9. COLDBELLA, R. **Caracterização das propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira de *Maclura tinctoria*. D. Don Ex Steud.** 2016. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
10. DIAS-JÚNIOR, A.F.; PIROLA, L.P.; TAKESHITA, S.; LANA, A.Q.; BRITO, J.O.; ANDRADE, A.M. Higroscopicity of charcoal produced in different temperatures. **Cerne**, v.22, n.4, p. 423-430.2016.
11. DONALDSON, L. Microfibril angle: measurement, variation and relationships - a review. **IAWA Journal**, v. 29, n. 4, p. 345-386.2008.
12. DUBEY, M. K.; PANG, S.; WALKER, J. Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heart treatment. **Holzforschung**, v. 66, n. 1, p. 49.2012.
13. ENGELUND, E.T.; THYGESEN, L.G.; SEVENSSON, S.; HIEL, C.A.S. A critical discussion of the physics of wood-water interactions. **Wood Science and Technology**, v. 47, n.1, p.141-161.2013.
14. ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**, v. 4, n. 1, p. 370-404.2009.
15. ESTEVES, B.; PEREIRA, H. Novos métodos de proteção da madeira. *In*: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL, "A FLORESTA NUM MUNDO GLOBALIZADO", 6., 2009, **Anais...** Ponta Delgada: SPCF, 2009. p. 421- 428. (Comunicações, Tema 4). Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/1707>. Acesso em: 11 nov. 2021.
16. FREDRIKSSON, M. On wood–water interactions in the over-hygroscopic moisture range: mechanisms, methods, and influence of wood modification. **Forests**. v.10, n.79, p.1-16, 2019.
17. HILL, C.A.S.; FORSTER, S.C.; FARAHANI, M.R.M.; HALE, M.D.C.; ORMONDROYD, G.A.; WILLIAMS, G.R. An investigation of cell wall micropore blocking as a possible mechanism for the decay resistance of anhydride modified wood. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.55, p.69–76, 2005.
18. JANKOWSKA, A.; KOZAKIEWICZ, P. Determination of Fibre saturation point of selected tropical wood species using different methods. **Drewno**, v.59, n. 197, 2016.
19. KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. *In*: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, N. (Orgs.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda., v. 1, p. 271-366, 2007.
20. KOLLMANN, F. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones**. Madrid: Gráficas Runidas S.A., 1959, 675p.
21. KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ JUNIOR, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlim, Springer-Verlag, 1968, v.1, 592p.
22. KRABBENHØFT, K.; DAMKILDE, L. A model for non-Fickian moisture transfer in wood. **Material Structures**, v.37, n.1, p.615–622.2004.
23. GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem radional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985, 111p.

24. LANDE, S.; WESTIN, M.; SCHNEIDER, M. Properties of furfurylated wood. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v.19, n.5, p. 22-30, 2004.
25. LIMA, I.L.; BERGARMO, R.; BERMUDEZ, K.R.; MORAES, M.L.T.; GARCIA, J.N. Caracterização das propriedades mecânicas da madeira de clones de *Hevea brasiliensis*. **Scientia Forestalis**, v.48, n. 125, p. 1-12, 2020.
26. LONGSDON, N.B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da Madeira**. 1998. 203f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.
27. MANTANIS, G.I. Chemical modification of wood by acetylation or furfurylation: a review of the present scaled-up technologies. **Bioresources**, v12, p. 4478–4489, 2017.
28. MÉLANIE, M.; GRÉGOIRE, L.P.; PHILIPPE, R.; SYLVAIN, D.; NATHALIE, B.; BRUNO, C.; CATHERINE, C.; JEAN-CHRISTOPHE, D.; THIERRY, F.; JACQUELINE, G.P. Wood formation in trees. **Tree Biotechnology**, v.127, p.56–111, 2014.
29. MININI, D.; BRAGA, B.A.; MARIA, D.M.B.; GMACH, F.; ALBUÊS, T.A.S.; JESUS, W.S.; MONTEIRO, T. C. Qualidade e processamento da madeira serrada no Brasil: qualidade e estado da arte. In: EVANGELISTA, W.V. (Org.). **Madeiras nativas e plantadas no Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades**. Guarujá: Editora Científica Digital Ltda., v.1, p.402-419, 2021.
30. MIRANDA, M.C.; CASTELO, P.A.R.; MIRANDA, D.L.C.; RONDON, E.V. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da madeira**. v.3, n. 2, p. 55-65, 2012.
31. MENUCELLI, J.R.; AMORIM, E.P.; FREITAS, M.L.M.; ZANATA, M.; CAMBUIM, J.; MORAES, M.L.T.; YAMAJI, F.M.; SILVA-JÚNIOR, F.G.; LONGUI, E.L. Potential of *Hevea brasiliensis* clones, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus tereticornis* wood as raw materials for bioenergy based on higher heating value. **BioEnergy Research**, 12, 992-999, 2019.
32. MORESCHI, J.C. **Propriedades da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2014. 208p.
33. POPESCU, C.-M.; HILL, C.A.S.; CURLING, S.; ORMONDROYD, G.; XIE, Y. The water vapour sorption behaviour of acetylated birch wood: How acetylation affects the sorption isotherm and accessible hydroxyl content. **Journal Material Science**, v.49, n.1, p. 2362-2371, 2014.
34. NOCK, H.P.; RITCHER, H. G.; BURGER, L. M. **Tecnologia da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1975. 216p.
35. OLIVEIRA, J.T.S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1998. 429f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
36. PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology: struture, identificatiom, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722p.
37. REZENDE, R.N. **Secagem de toras de clones de *Eucalyptus* empregados na produção de carvão**. 2009. 178f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras.

38. WIEDENHOEFT, A. Structure and function of wood. *In: Wood Handbook: wood as an engineering material*, 100 ed. Madison,: U.S. Dept. of Agriculture: Forest Service, Forest Products Laboratory, Chapter 3, p. 1-18, 2010. (General Technical Report FPL-GTR-190).
39. ROWELL, R.M. (Ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. 6. ed. Boca Raton: CRC Press: 2013. 704p.
40. SKAAR, C. **Wood-water relations**. New York: Springer, 1988. 283p. (Springer Series in Wood Science).
41. SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi: biology, damage, protection and use**. Springer: Berlin, 2006. 334p.
42. THYBRING, E.E.; DIGAITIS, R.; NORD-LARSEN, T.; BECK, G.; FREDRIKSSON, M. How much water can wood cell walls hold? A triangulation approach to determine the maximum cell wall moisture content. **PlosOne**. v.15, n. 8, p. 1- 18, 2020.
43. THYGESEN, L.G.; ELDER, T. Moisture in untreated, acetylated, and furfurylated Norway spruce studied during drying using time domain NMR. **Wood Fiber Science**, v.40, p.309-320, 2008.
44. THYGESEN, L.G.; ENGELUND, E.T.; HOFFMEYER, P. Water sorption in wood and modified wood at high values of relative humidity. Part I: Results for untreated, acetylated, and furfurylated Norway spruce. **Holzforschung**, v. 64, p.315–323, 2010.
45. ULKER, O. Wood adhesives and bonding theory. *In: RUDAWSKA, A. (Ed.). Adhesives: applications and properties*. London: IntechOpen, Chapter 11, p.271-288, 2016.
46. WALKER, J.C.F.; BUTTERFIELD, B.G.; LANGRISH, T.AG; HARRIS, J.M.; UPRICHARD, J.M. **Primary Wood Processing**. London: Chapman & Hall, 1993. 595p.
47. ZELINKA, S.L.; RINGMAN, R.; PILGÅRD, A.; THYBRING, E.E.; JAKES, J.E.; RICHTER, K. The role of chemical transport in the brown-rot decay resistance of modified wood. **International Wood Products Journal**, v.7, p.66–70, 2016.

Caracterização física e química das madeiras de pinus e de Itaúba

| **Ana Carolina Costa Viana**
UFSC

| **Poliana Dias de Moraes**
UFSC

| **Walter Lindolfo Weingaertner**
UFSC

| **Cristiane Pedrazzi**
UFSM

| **Igor Peres Cordeiro**
UFSM

| **Matheus Redel Finger**
UFSM

RESUMO

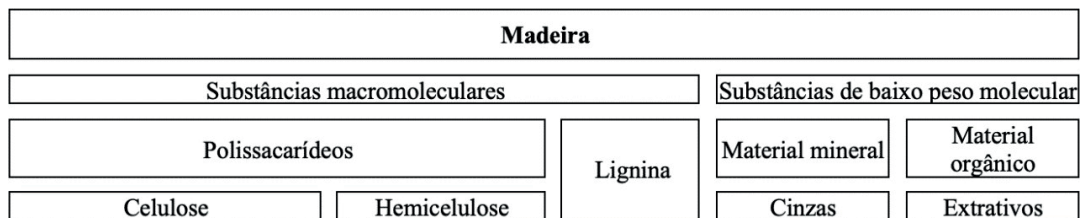
As madeiras apresentam uma ampla variabilidade em suas propriedades físicas e químicas por serem um compósito natural e anisotrópico. Essas diferenças são resultado da genética da espécie vegetal e das condições de crescimento de cada árvore, ocasionadas por fatores ambientais como: o clima, o solo, a água e os nutrientes disponíveis. O conhecimento das propriedades físicas e químicas é imprescindível para a avaliação do desempenho das madeiras nos processos tecnológicos e industriais. Portanto, esta pesquisa teve como objetivo a caracterização física e química das madeiras de pinus (*Pinus taeda*) e de itaúba (*Mezilaurus itauba*), as quais são comumente usadas no Brasil. A caracterização física consistiu na determinação das densidades básica e aparente, da retração, do coeficiente de anisotropia e da variação volumétrica das madeiras e os ensaios seguiram as recomendações da NBR 7190:1997. Para cada espécie de madeira, foram confeccionados 6 corpos de prova de 2cm x 3cm x 5cm. Para a caracterização química foram determinados os teores de holocelulose, de lignina, de extrativos e de cinzas das madeiras. Essas análises foram realizadas em triplicata e seguiram as recomendações das normas TAPPI. A madeira de pinus apresentou densidades básica e aparente de 500 e 606 kg/m³, respectivamente. As retrações longitudinal, radial e tangencial corresponderam a 0,20%, 5,44% e 5,93%, respectivamente. Com relação a composição química, a madeira de pinus resultou em 0,74%, 5,83%, 32,97% e 60,15% para os teores de cinzas, de extrativos, de lignina e de holocelulose, respectivamente. A madeira de itaúba apresentou densidades básica e aparente de 707 e 824 kg/m³, respectivamente. As retrações longitudinal, radial e tangencial corresponderam a 0,23%, 1,81% e 6,16%, respectivamente. Para a composição química, a madeira de itaúba resultou em 0,73%, 7,73%, 28,75% e 70,28% para os teores de cinzas, de extrativos, de lignina e de holocelulose, respectivamente.

Palavras-chave: Pinus Taeda, Mezilaurus Itauba, Caracterização Física e Química.

■ INTRODUÇÃO

A madeira é um material cuja estrutura biológica complexa é formada por um conjunto heterogêneo de diferentes células, compostas basicamente por componentes orgânicos que podem ser classificados em substâncias macromoleculares e de baixo peso molecular, conforme esquematizado na Figura 1. A celulose, a hemicelulose e a lignina são consideradas substâncias macromoleculares. Elas constituem a parede celular, influenciando significativamente nas propriedades físicas da madeira. As substâncias de baixo peso molecular compreendem os materiais orgânicos como os extrativos, os quais podem alterar as propriedades físicas da madeira, e os materiais minerais que resultam as cinzas (TSOUMIS, 1968; BODIG; JAYNE, 1993).

Figura 1. Substâncias presentes na madeira.



Fonte: adaptado de Fengel e Wegener (1984).

A celulose é um polímero estrutural básico contido nas paredes celulares da madeira. As longas moléculas da cadeia de celulose apresentam uma estrutura linear e espessa, motivo pelo qual a madeira é um material resistente. A hemicelulose corresponde a 30% da massa total da parede celular. Ela é composta de diversos monossacarídeos e suas cadeias moleculares são curtas em relação às cadeias da celulose. A combinação das proporções de celulose e de hemicelulose é denominada holocelulose (FENGEL; WEGENER, 1984; PARHAM; GRAY, 1984; BODIG; JAYNE, 1993).

O terceiro maior componente químico da madeira é a lignina, a qual permeia tanto as paredes celulares quanto as regiões intercelulares, tornando a madeira um material rígido, capaz de resistir consideravelmente às tensões mecânicas (PARHAM; GRAY, 1984). Os extrativos são vários produtos químicos, essencialmente orgânicos, e que não fazem parte dos componentes estruturais da madeira, mas são depositados nas paredes e nos lúmens celulares (TSOUMIS, 1968). As cinzas presentes na madeira correspondem aos sais minerais e às matérias inorgânicas, as quais podem apresentar altos teores em madeiras que contêm grandes quantidades de sílica. No entanto, na maioria dos casos, o conteúdo inorgânico é inferior a 0,5% (ROWELL *et al.*, 2005).

De acordo com Tsoumis (1968), as proporções dos constituintes químicos variam entre as coníferas e as folhosas, visto que as coníferas contêm 40 a 45% de celulose, 25 a 35% de hemicelulose, 20% de lignina e 5 a 10% de extrativos, ao passo que as folhosas

contêm 40 a 45% de celulose, 17 a 25% de hemicelulose, 15 a 35% de lignina e 5 a 10% de extrativos. Portanto, as variações nas características e no volume desses componentes e a estrutura celular da madeira determinam as particularidades de cada espécie, influenciando em suas propriedades.

Entre as propriedades físicas da madeira, apontam-se a densidade e a estabilidade dimensional, uma vez que a densidade é considerada um bom indicador da qualidade da madeira, visto que a maioria das propriedades físicas e mecânicas do material se correlaciona com ela. A densidade básica corresponde à razão entre a massa seca da madeira e o seu volume saturado. Ao passo que a densidade aparente é obtida a partir da razão entre a massa e o volume do material em um determinado teor de umidade. Variações de densidade entre as espécies de madeira são devidas a diferenças de estrutura anatômica, as quais decorrem, principalmente, das proporções e das dimensões das células que compõem o material (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; SHMULSKY; JONES, 2011).

A estabilidade dimensional possibilita identificar a resistência da madeira a mudanças de volume em virtude da variação do teor de umidade. Ela difere conforme a espécie, a qual pode ser mais ou menos suscetível a alterações de forma e à formação de fendas e de empenos. A estabilidade dimensional compreende a retração e o inchamento da madeira nas direções longitudinal, radial e tangencial. De acordo com Kollmann e Côté (1968), a maior variação dimensional ocorre na direção tangencial aos anéis de crescimento, correspondendo entre 3,5 e 15%. Na direção radial, ela é consideravelmente menor, situando-se entre 2,4 a 11% e, na direção longitudinal, entre 0,1 a 0,9%. As madeiras apresentam uma ampla variabilidade em suas propriedades físicas e químicas (BODIG; JAYNE, 1993) e o conhecimento dessas propriedades é imprescindível para a compreensão do desempenho desse material, principalmente, nos processos tecnológicos e industriais.

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo a caracterização física e química das madeiras de pinus (*Pinus taeda*) e de itaúba (*Mezilaurus itauba*), a fim de permitir o uso adequado dessas espécies, as quais são comumente usadas no Brasil, especialmente, na indústria moveleira e na construção civil.

■ MATERIAIS E MÉTODOS

Madeira

As madeiras usadas nesta pesquisa são da espécie *Pinus taeda* (classe das coníferas), proveniente de florestas plantadas na região oeste do estado do Paraná, e *Mezilaurus itauba* (classe das folhosas), proveniente de florestas plantadas na região norte do estado do Mato Grosso.

Caracterização física

Para a caracterização física das madeiras de pinus e de itaúba foram determinadas as densidades básica e aparente, a retração, o coeficiente de anisotropia e a variação volumétrica, seguindo as recomendações da norma brasileira NBR 7190:1997.

Amostras e corpos de prova

Para cada espécie, a amostra foi composta por 6 corpos de prova com dimensões de 2 cm x 3 cm x 5 cm nas direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente (Tabela 1). Os corpos de prova usados nos ensaios de caracterização física foram confeccionados a partir de peças de madeira de pinus e de itaúba, distantes de, no mínimo 30 cm, das extremidades, isentos de defeitos (ABNT NBR 7190:1997).

Tabela 1. Tamanho e dimensão das amostras.

Ensaio	Dimensões corpos de prova (cm)	Quantidade de corpos de prova por espécie	Total de corpos de prova
Densidade básica	2 x 3 x 5	6	12
Densidade aparente	2 x 3 x 5	6	12
Estabilidade dimensional	2 x 3 x 5	6	12

Determinação das densidades básica e aparente

A determinação da densidade básica das madeiras seguiu as recomendações da norma brasileira NBR 7190:1997. Para tanto, os corpos de prova foram secos em uma estufa elétrica a $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, a fim de se obter a massa seca, que foi determinada com o auxílio de uma balança com precisão de 0,01 g. O volume saturado foi obtido a partir de medições com paquímetro com precisão de 0,01 mm, nos corpos de prova com massa estabilizada após submersão em água. As densidades básicas foram calculadas conforme Equação 1.

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (1)$$

sendo ρ_{bas} a densidade básica, em kg/m^3 ; m_s a massa da madeira seca, em kg; e V_{sat} o volume da madeira saturada, em m^3 .

A determinação da densidade aparente das madeiras, para 12% de teor de umidade, seguiu as recomendações da norma brasileira NBR 7190:1997. Para tanto, os corpos de prova com 12% de teor de umidade foram pesados em uma balança com precisão de 0,01 g e medidos com paquímetro com precisão de 0,01 mm, a fim de se obter a massa e o volume dos corpos de prova. As densidades aparentes foram calculadas de acordo com a Equação 2.

$$\rho_{ap12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (2)$$

sendo ρ_{ap12} a densidade aparente para 12% de teor de umidade, em kg/m³; m_{12} a massa da madeira com 12% de teor de umidade, em kg; e V_{12} o volume da madeira com 12% de teor de umidade, em m³.

Determinação da estabilidade dimensional

A estabilidade dimensional das madeiras foi determinada a partir das propriedades de retração nas direções longitudinal, radial e tangencial, do coeficiente de anisotropia e da variação volumétrica, seguindo as recomendações da norma brasileira NBR 7190:1997. Para tanto, os corpos de prova, nos estados seco e saturado, foram medidos com paquímetro com precisão de 0,01 mm. De posse dos dados, foram calculadas as deformações específicas de retração, o coeficiente de anisotropia e a variação volumétrica, conforme as equações 3, 4 e 5, respectivamente.

$$\varepsilon_{r(i)} = \left(\frac{L_{i\ sat} - L_{i\ seca}}{L_{i\ sat}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

sendo $\varepsilon_{r(i)}$ as deformações específicas de retração, em %; i as direções longitudinal (1), radial (2) e tangencial (3) da madeira; $L_{i\ sat}$ as dimensões da madeira saturada, em mm; e $L_{i\ seca}$ as dimensões da madeira seca, em mm.

$$CA = \frac{\varepsilon_{r3}}{\varepsilon_{r2}} \quad (4)$$

sendo CA o coeficiente de anisotropia, em %; ε_{r3} a deformação específica de retração na direção tangencial, em %; e ε_{r2} a deformação específica de retração na direção radial, em %.

$$\Delta V = \frac{V_{sat} - V_{seca}}{V_{seca}} \cdot 100 \quad (5)$$

sendo ΔV a variação volumétrica da madeira, em %; V_{sat} o volume da madeira saturada, em m³; e V_{seca} o volume da madeira seca, em m³.

Caracterização química

Para a caracterização química das madeiras foram determinados os teores de cinzas, de extrativos, de lignina e de holocelulose, seguindo os procedimentos recomendados pelas

normas TAPPI T264 om-88, T211 om-93, T204 cm-97, T222 om-98 e por Wise *et al.* (1946), respectivamente.

Amostragem e preparação das madeiras

A amostragem e a preparação das madeiras para a análise química seguiram os procedimentos recomendados pela norma TAPPI T264 om-88. As amostras das madeiras foram transformadas em serragem a partir da moagem em moinho Willey, sendo usada nas análises a fração de material que passou na peneira 0,40 mm e que ficou retida na 0,60 mm (fração 40/60). Após, as amostras foram secas ao ar livre até obterem 12% de umidade e, em seguida, foram armazenadas em frascos de vidro com rolha esmerilhada, para posteriormente serem usadas nos ensaios. Todas as análises químicas foram realizadas em triplicata.

Determinação dos teores de cinzas

A determinação dos componentes inorgânicos das madeiras seguiu as recomendações da norma TAPPI T211 om-93. Para tanto, foram separadas amostras de 1 g de serragem absolutamente seca, as quais foram colocadas em cadinhos de porcelana, e incineradas em uma mufla a 525 °C por 3 h. O teor de cinzas foi determinado conforme Equação 6.

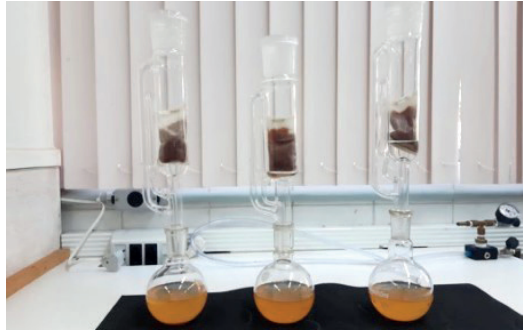
$$TC = \frac{M_c}{M} \cdot 100 \quad (6)$$

sendo TC o teor de cinzas, em %; M_c a massa de cinzas, em g; e M a massa da serragem absolutamente seca, em g.

Determinação dos teores de extrativos totais

Os teores de extrativos foram determinados conforme recomendações da norma TAPPI T204 cm-97. Para tanto, foram adicionados 2 g de serragem absolutamente seca em um extrator do tipo Soxhlet e uma solução de etanol-tolueno (1:2) em um balão de vidro (Figura 2). O conjunto balão-extrator foi colocado em uma manta aquecedora e conectado a um condensador. O material foi extraído durante 7 h e, posteriormente, o procedimento se repetiu com uma solução de etanol por 5 h. Após a extração, o material foi transferido para um becker com água destilada, o qual foi colocado em banho-maria a 90 °C por 1 h. Por fim, a solução foi filtrada e armazenada em estufa à 105 °C. O teor de extrativos foi calculado conforme Equação 7.

Figura 2. Material extraído em Soxhlet.



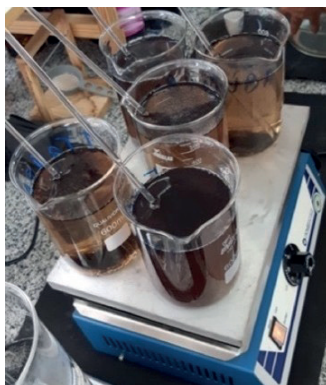
$$TE = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \cdot 100 \quad (7)$$

sendo TE o teor de extrativos, em %; M_1 a massa absolutamente seca da serragem com extrativos, em g; e M_2 a massa absolutamente seca da serragem livre de extrativos, em g.

Determinação dos teores de lignina Klason

A determinação dos teores de lignina insolúvel em ácido (Klason) seguiu os procedimentos sugeridos pela norma TAPPI T222 om-98. Para tanto, foi adicionado 1 g de serragem absolutamente seca livre de extrativos juntamente com 15 ml de ácido sulfúrico a 72%, deixando-se reagir por 2 h em banho-maria a 20 °C. Após esse período, foram adicionados 560 ml de água destilada e a amostra foi transferida para banho-maria a 90 °C por 4 h (Figura 3). Em seguida, a amostra foi filtrada em cadinhos de porosidade média e condicionada em estufa a 105 °C para posterior pesagem. O teor de lignina insolúvel foi calculado conforme Equação 8.

Figura 3. Ensaio para determinação do teor de lignina Klason.



$$TL = \frac{M_1}{M_2} \cdot 100 \quad (8)$$

sendo TL o teor de lignina, em %; M_1 a massa do resíduo de lignina, em g; e M_2 a massa inicial da amostra de serragem absolutamente seca e livre de extrativos, em g.

Na Equação 8, o teor total de polímeros da madeira corresponde a 100% quando livre de extrativos, portanto, o teor de lignina deve ser corrigido conforme Equação 9.

$$TL_{cor} = \frac{M_1}{M_2} \cdot (100 - TE) \quad (9)$$

sendo TL_{cor} o teor de lignina corrigida, em %; M_1 a massa do resíduo de lignina, em g; M_2 a massa inicial da amostra de serragem absolutamente seca e livre de extrativos, em g; e TE o teor de extrativos da amostra, em%.

Determinação do teor de holocelulose

A determinação dos teores de holocelulose foi feita pelo método de deslignificação em meio ácido, conforme as recomendações de Wise *et al.* (1946). Para tanto, foram pesados 2 g de serragem absolutamente seca livre de extrativos e, então, adicionados 2 g de acetato de sódio, 4 g de clorito de sódio e 80 ml de água destilada. Em seguida, a solução foi transferida para banho-maria a 70 °C por 2 h e, após, foram adicionados os mesmos reagentes químicos, nas mesmas proporções. Depois de 4 h, a amostra foi filtrada em cadinhos de porosidade média, com 1 litro de água destilada, para neutralizar o pH da amostra. Então, calculou-se o teor de holocelulose (Equação 10).

$$TH = \frac{M_h}{M} \cdot 100 \quad (10)$$

sendo TH o teor de holocelulose, em %; M_h a massa de holocelulose, em g; e M a massa da amostra de madeira absolutamente seca e livre de extrativos, em g.

Na Equação 10, o teor total de polímeros da madeira corresponde a 100% quando livre de extrativos, portanto, o teor de holocelulose deve ser corrigido conforme Equação 11.

$$TH_{cor} = \frac{M_h}{M} \cdot (100 - TS) \quad (11)$$

sendo TH_{cor} o teor de holocelulose corrigido, em %; TH o teor de holocelulose da amostra, em %; e TE o teor de extrativos da amostra, em %.

Tratamento estatístico dos resultados

Os resultados relativos aos ensaios de caracterização física e química das madeiras foram tratados estatisticamente. Primeiramente, foi verificada a ocorrência de valores espúrios, eliminando-os (MONTGOMERY; RUNGER, 2003). Em seguida, foi realizado o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov com 5% de significância. Como os dados apresentaram distribuição normal, aplicou-se o teste de análise de variância (ANOVA), seguido do teste de Tukey para comparação entre as médias para um intervalo de confiança de 95% (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os resultados das densidades básica e aparente, da retração, do coeficiente de anisotropia, da variação volumétrica, além do teor de cinzas, de extrativos, de lignina e de holocelulose das madeiras de pinus e de itaúba.

Caracterização física

Densidades básica e aparente

Na Tabela 2, são apresentadas as densidades médias, básica e aparente, das madeiras de pinus e de itaúba. O teste de Tukey indica que, tanto entre as densidades básicas quanto entre as aparentes, existem diferenças estatisticamente significativas entre os valores médios de cada espécie.

Tabela 2. Densidades médias, básica e aparente, das madeiras de pinus e de itaúba.

Madeira	Densidade básica (kg/m ³)	Densidade aparente (kg/m ³)
Pinus	500 (1,30)	606 (1,59)
Itaúba	707 (0,84)	824 (1,00)

Em que: valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação em %.

Os valores de densidades médias básica e aparente da madeira de pinus obtidos nesta pesquisa são 17% superiores aos fornecidos por Trianoski *et al.* (2013). Para a madeira de itaúba, o valor de densidade básica obtido foi menor que os fornecidos por Silveira *et al.* (2004) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2019), correspondendo a uma diferença de 22% e 12%, respectivamente. Variações de densidade entre madeiras da mesma espécie podem ocorrer devidas às condições ambientais de crescimento de cada árvore, as quais são influenciadas pelo clima, pelo solo, pela água e pelos nutrientes disponíveis (BODIG; JAYNE, 1993).

Observa-se também que as densidades médias básica e aparente da madeira de itaúba são 29% e 27% superiores àquelas da madeira de pinus. Variações de densidade entre as espécies de madeira ocorrem devidas às diferenças em suas estruturas, as quais se caracterizam pelas proporções dos diversos tipos de células (fibras, traqueídeos e vasos), por suas dimensões, principalmente, com relação à espessura das paredes celulares da madeira (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

Estabilidade dimensional

Os valores médios de retração nas direções longitudinal, radial e tangencial, do coeficiente de anisotropia e da variação volumétrica das madeiras de pinus e de itaúba são apresentados na Tabela 3. O teste de Tukey indicou diferenças estatisticamente significativas entre as médias de todos os parâmetros, exceto para a retração longitudinal. Observa-se que, de modo geral, os resultados obtidos nesta pesquisa estão de acordo com os intervalos de variação dimensional descritos por Kollmann e Côté (1968). Além disso, a média dos valores da retração dimensional da madeira de itaúba se assemelha aos fornecidos pelo IPT (2019) para as direções radial e tangencial que correspondem a 2,3% e 6,7%, respectivamente. Quanto a madeira de pinus, para a direção tangencial, o valor se aproxima de 6,4%, obtido por Trianoski *et al.* (2013).

Tabela 3. Retração, coeficiente de anisotropia e variação volumétrica médios das madeiras de pinus e de itaúba.

Madeira	Retração (%)			Coeficiente de anisotropia (%)	Variação volumétrica (%)
	Longitudinal	Radial	Tangencial		
Pinus	0,20 (7,99)	5,44 (2,29)	5,93 (3,71)	1,09 (2,35)	12,65 (3,12)
Itaúba	0,23 (18,07)	1,81 (6,09)	6,16 (1,85)	3,56 (5,72)	8,78 (2,07)

Em que: valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação em %.

Para as madeiras estudadas, a maior variação dimensional ocorre na direção tangencial, seguida das direções radial e longitudinal, conforme indicado por Kollmann e Côté (1968). Além disso, as madeiras de pinus e de itaúba apresentam variações dimensionais similares, visto que nas direções longitudinal e tangencial as diferenças correspondem a 0,03% e 0,23%, respectivamente. Contudo, na direção radial, a variação dimensional da madeira itaúba é 3,63% menor que a obtida para a madeira de pinus, sendo o seu coeficiente de anisotropia 2,47% superior ao do pinus, cujas retrações tangencial e radial são semelhantes.

De acordo com Walker (2006), a anisotropia da madeira está relacionada a orientação das micelas, das fibrilas e das fibras que formam o tecido lenhoso da madeira, além do volume dos raios, da dimensão radial das fibras e das diferenciações químicas entre as paredes radiais e tangenciais da madeira.

Com relação à variação volumétrica, verifica-se que a média obtida para a madeira de itaúba é 3,32% inferior ao valor fornecido pelo IPT (2019). Já para a madeira de pinus, o valor é 2% superior ao obtido por Trianoski *et al.* (2013). Segundo Kollmann e Côté (1968), quanto maior a densidade da madeira, maior sua retração volumétrica. Porém, nesta pesquisa, a madeira de maior densidade apresenta menor variação volumétrica e, de acordo com Walker (2006), esse comportamento se justifica quando elevados teores de extrativos estão presentes nas paredes celulares da madeira, reduzindo sua higroscopicidade.

A partir da caracterização física das madeiras estudadas, verifica-se que a madeira de itaúba, por ser mais densa, pode ser usada na construção civil em estruturas internas e externas, além disso, na produção de batentes, assoalhos e janelas e, devido a sua variação dimensional, também é indicada na fabricação de mobiliários de utilidade geral. Enquanto a madeira de pinus pode ser usada na construção civil como ripa, forma, rodapé, forro e na fabricação de compensados, laminados, mobiliários, entre outros (IPT, 2019).

Caracterização química

Os teores médios de cinzas, de extrativos, de lignina e de holocelulose das madeiras de pinus e de itaúba são apresentados na Tabela 4. Segundo o teste de Tukey, diferenças estatisticamente significativas existem entre todos os teores médios das duas espécies, exceto para os teores de cinzas.

Tabela 4. Teores médios da composição química das madeiras de pinus e de itaúba.

Madeira	Composição química (%)			
	Cinzas	Extrativos	Lignina	Holocelulose
Pinus	0,74 (39,52)	5,83 (2,01)	32,97 (2,03)	60,15 (0,92)
Itaúba	0,73 (52,49)	7,73 (0,52)	28,75 (0,07)	70,28 (3,27)

Em que: valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação em %.

Verifica-se que os teores médios de cinzas das madeiras estudadas são similares. Contudo, a madeira de itaúba apresenta um valor superior ao obtido por Santana e Okino (2007), Romanini *et al.* (2014) e Souza (2017), que varia entre 0,3 e 0,5%. Já os teores médios de extrativos, de lignina e de holocelulose, para a madeira de pinus e de itaúba, de modo geral, estão de acordo com os descritos por Tsoumis (1968).

Observa-se que o teor médio de extrativos da madeira de itaúba é 1,90% superior ao da madeira de pinus. De acordo com Sansígolo (2011), os extrativos podem influenciar, negativamente, na permeabilidade e no consumo de reagentes durante o uso da madeira em processos químicos, como o de produção da polpa celulósica. Contudo, os extrativos possuem diversas aplicações na indústria, sendo a base de vários produtos químicos como medicamentos, cosméticos e conservantes (ROWELL *et al.*, 2005). Além disso, os extrativos

contribuem para a durabilidade natural da madeira, visto que possuem a função de proteção contra agentes biológicos como fungos xilófagos e insetos (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968) e, em razão disso, segundo Souza *et al.* (2020), a itaúba pode ser usada em construções rurais, tais como pontes e coberturas.

Nota-se que o teor médio de holocelulose da madeira de itaúba é 10,13% superior ao da madeira de pinus, que apresenta um valor inferior ao obtido por Rigatto *et al.* (2004), Bassa (2006) e Vivian *et al.* (2015), que varia entre 66 e 70%. De acordo com Farmer e Kape (1967), madeiras da classe das folhosas, como a itaúba, contêm uma maior proporção de hemiceluloses, incluídas no teor de holocelulose. Segundo Rowell (1999), madeiras com maiores teores de hemicelulose possuem maior rigidez à flexão, logo podem ser usadas como cobertura, piso e forro de embarcações (IPT, 2019). Além disso, os açúcares componentes da hemicelulose são de potencial interesse para a conversão em produtos químicos (MILLER, 1999).

Verifica-se também que o teor médio de lignina da madeira pinus é 4,22% superior ao da madeira de itaúba. Esse resultado se justifica pelo fato de que, nas madeiras da classe das coníferas, como o pinus, a parede celular secundária, que constitui a maior parte da parede celular da madeira, é parcialmente lignificada, enquanto nas folhosas, como a itaúba, essa parede celular contém pouca ou nenhuma lignina (FARMER; KAPE, 1967). Segundo Telmo e Lousada (2011), a lignina favorece a produção de energia devido ao seu elevado poder calorífico. Maiores teores de lignina também são desejáveis para a produção de painéis de madeira aglomerada, uma vez que a lignina apresenta uma estrutura condensada que resulta no aumento das propriedades mecânicas do material (BUFALINO *et al.*, 2012). Além disso, de acordo com Sun *et al.* (2010), maiores teores de lignina contribuem, parcialmente, para um melhor desempenho da madeira no processo de soldagem por fricção.

A partir da caracterização química das madeiras estudadas, verifica-se que a madeira de pinus, por apresentar maior teor de lignina, pode ser usada na produção de energia e de painéis de madeira aglomerada. Enquanto a itaúba, por apresentar maior teor de extrativos e de holocelulose, pode ser usada como cobertura, piso e forro de embarcações, em construções rurais, tais como pontes e, além disso, seus extrativos podem servir de base para produtos químicos.

■ CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi realizada a caracterização física e química das madeiras de pinus e de itaúba, determinando as densidades básica e aparente, a retração, o coeficiente de anisotropia, a variação volumétrica e a composição química das madeiras. A madeira de pinus apresentou densidades básica e aparente de 500 e 606 kg/m³, respectivamente. As retrações

longitudinal, radial e tangencial corresponderam a 0,20%, 5,44% e 5,93%. Enquanto os teores de cinzas, de extrativos, de lignina e de holocelulose corresponderam a 0,74%, 5,83%, 32,97% e 60,15%, respectivamente. A madeira de itaúba apresentou densidades básica e aparente de 707 e 824 kg/m³. As retrações longitudinal, radial e tangencial corresponderam a 0,23%, 1,81% e 6,16%. Para os teores de cinzas, de extrativos, de lignina e de holocelulose, a itaúba apresentou 0,73%, 7,73%, 28,75% e 70,28%. À vista disso, os resultados permitem concluir que:

- as características físicas da madeira de pinus favorecem seu uso na construção civil como ripa, forma, rodapé, forro e na fabricação de compensados, laminados e mobiliários;
- as características físicas da madeira de itaúba viabilizam seu uso na construção civil tanto em estruturas internas quanto externas, e na fabricação de mobiliários de utilidade geral;
- as características químicas da madeira de pinus favorecem seu uso na produção de energia e de painéis de madeira aglomerada;
- as características químicas da madeira de itaúba viabilizam seu uso como cobertura, piso e forro de embarcações, em construções rurais, tais como pontes e, além disso, seus extrativos podem servir de base para produtos químicos.

■ AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

■ REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
2. BASSA, A.G.M.C. **Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus globulus* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids**. 2006. 169f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
3. BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of Wood and Wood Composites**. Malabar: Krieger, 1993.
4. BUFALINO, L. *et al.* Particleboards made from australian red cedar: processing variables and evaluation of mixed-species. **Journal of Tropical Forest Science**, v.24, n.2, p. 162-172, 2012.

5. FARMER, R.H.; KAPE, J. **Chemistry in the Utilization of Wood**. Oxford: Pergamon Press, 1967.
6. FENGEL, D.; WEGENER, W. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin; New York: de Gruyter, 1984.
7. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Informações sobre madeiras**. Disponível em: https://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira/busca. Acesso em: 05 nov. 2019.
8. KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968.
9. MILLER, R.B. Structure of wood. *In*: Forest Products Laboratory. **Wood handbook - Wood as an engineering material**. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1999.
10. MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Applied statistics and probability for engineers**. 3rded. New York: Wiley, 2003.
11. PARHAM, R.A.; GRAY, R.L. Formation and structure of wood. *In*: ROWELL, R. **The chemistry of solid wood**. Washington DC: American Society, 1984.
12. RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A.; MATOS, J.L.M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, v.28, n.2, p. 267-273, 2004.
13. ROMANINI, A. *et al.* Durabilidade natural da madeira de quatro espécies amazônicas em ensaios de deterioração de campo. **Nativa**, v.2, n.1, p. 13-17, 2014.
14. ROWELL, R.M. Specialty treatments. *In*: Forest Products Laboratory. **Wood handbook - Wood as an engineering material**. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1999.
15. ROWELL, R.M. *et al.* Cell wall chemistry. *In*: ROWELL, R.M. **Wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005.
16. SANTANA, M.A.E.; OKINO, E.Y.A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, v.61, n.5, p. 469-477, 2007.
17. SANSÍGOLO, C.A.; RAMOS, E.S. Quality of wood and pulp from a clone of *Eucalyptus grandis* planted at three locations. **Cerne**. v.17, n.1, p. 47-60, 2011.
18. SHMULSKY, R.; JONES, P.D. **Forest Products and Wood Science an Introduction**. Chichester: Wiley, 2011.
19. SILVEIRA, L.H.C.; REZENDE, A.V.; VALE, A.T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **ACTA Amazônica**, v.42, n.2, p. 179-184, 2013.
20. SOUZA, J.U.B.R.S. **Técnicas multivariadas na análise química de espécies florestais amazônicas**. 2017. 44f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2017.
21. SOUZA, E.S.C. *et al.* Propriedades químicas de madeiras nativas comerciais. **Multitemas**, v.25, n.59, p. 113-126, 2020.

22. SUN, Y. **Modifications chimiques induites par le soudage du bois par rotation des goujons a haute vitesse**. 2010. 92f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Laval, Quebec, 2010.
23. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T204 cm-97**: solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, 2007.
24. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T211 om-93**: ash in Wood, Pulp, Paper and Paperboard: Combustion at 525 Degrees Celsius. Atlanta, 1993.
25. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T222 om-98**: acid – insoluble lignin in wood and pulp. Atlanta, 1998.
26. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T264 om-88**: preparation of wood for chemical analysis. Atlanta, 1988.
27. TELMO, C.; LOUSADA, J. The explained variation by lignin and extractive contents on higher heating value of wood. **Biomass & Bioenergy**, v.35, p. 1663-1667, 2011.
28. TRIANOSKI, R. *et al.* Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, v.20, n.3, p. 398-406, 2013.
29. TSOUMIS, G. **Wood as Raw Material**. London: Pergamon Press, 1968.
30. VIVIAN, M.A. *et al.* Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Florestalis**, v.43, n.105, p. 183-191, 2005.
31. WALKER, J.C.F. **Primary wood processing**. Dordrecht: Springer, 2006.
32. WISE, L.E.; MURPHY M.; D'ADIECO A.A. Chlorite holocellulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and on studies on the hemicelluloses. **Paper trade J.**, n.122, p. 35-43, 1946.

Termografia infravermelho aplicada em espécies madeireiras nativas amazônicas para avaliação de propriedades biofísicas

| **Cezar Dias Cardoso Júnior**
UFRRJ

| **Diego Lima Aguiar**
ESALQ/USP

| **Alessandra Silva Batista**
ESALQ/USP

| **Bruno Monteiro Balboni**
ESALQ/USP

| **Lucieta Guerreiro Martorano**
Embrapa Amazônia Oriental

RESUMO

Objetivo: avaliar respostas termográficas de espécies florestais amazônicas para identificar propriedades biofísicas capazes de subsidiar a tomada de decisão quanto ao uso de produtos madeireiros. A coleta de madeiras ocorreu na FLONA Tapajós, sendo avaliadas três espécies: breu (*Protium apiculatum* Swart.), cedro (*Cedrella fissilis* Vell.) e maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) A.Chev.), nas dimensões 5 x 2,5 x 15 cm (direções radial x tangencial x axial, respectivamente). As imagens foram obtidas com câmera termográfica infravermelho (FLIR), no horário de maior intensidade solar. A densidade aparente da madeira foi obtida pelo método da imersão em água ocasionando o empuxo dado pela balança semi-analítica. As análises das imagens ocorreram no *software* FLIR *tools*, a análise estatística não-paramétrica Kruskal-Wallis a 5% de significância e correlação de Spearman, realizadas no *software* R. **Resultados:** observou-se diferenças na densidade aparente entre as três espécies analisadas, sendo a maçaranduba com maior valor e cedro, o menor. Verificou-se, também, diferenças entre as três espécies em relação a absorção de energia térmica, onde maçaranduba obteve maiores valores e cedro, os menores. A correlação entre densidade aparente e termografia variou de 0.387 a 0.426, sendo uma correlação positiva entre ambas variáveis analisadas reforçando que o termógrafo infravermelho auxilia na identificação rápida e fornece resultados robustos quanto a capacidade das espécies em conduzir calor. **Conclusão:** a termografia proporcionou diferenciação entre as madeiras, sendo a maçaranduba a maior densidade e maior capacidade de armazenar energia em relação ao breu e cedro. Assim, estratégias quanto ao manejo florestal para reduzir impactos por propagação de incêndios podem ser tomadas.

Palavras-chave: Amazônia, Termógrafo, Densidade Aparente, Correlação.

■ INTRODUÇÃO

A madeira é um material biológico constituído de componentes químicos formadores da parede celular onde se encontram polímeros de celulose, hemicelulose e lignina (MENEZES *et al.*, 2014). Esse material é natural, renovável, reciclável e versátil. Para a construção civil é um produto vantajoso em decorrência da sua aparência natural, baixa densidade em relação a outros materiais convencionalmente utilizados, além de possibilitar formações de construções arquitetônicas devidas às suas propriedades mecânicas, bem como a regulamentação da umidade interna e menor possibilidade de encontro de bactérias (NAVROSKI *et al.*, 2010).

De acordo com Kurt *et al.* (2017), as características da madeira, como a sua leveza, durabilidade, trabalhabilidade facilitada, versatilidade, densidade baixa, além de ser um material higroscópico, polimérico, natural e ecológico, proporcionam propriedades importantes em diversos usos como em pontes, edificações, pisos, telhados, móveis, embarcações, equipamentos esportivos. As características físico-mecânicas da madeira podem ser avaliadas através de ensaios não destrutivos, onde podem ser observados defeitos e outros problemas nesse material (TARGA *et al.*, 2005).

O ensaio não destrutivo caracteriza-se pela ausência de dano ao material estudado, no caso, não prejudica a estrutura da madeira, além disso, o ensaio ocorre em menor intervalo de tempo e é detentor de baixo custo (ABREU *et al.*, 2013). De acordo com Gonçalves e Bartholomeu (2000), a avaliação não-destrutiva define-se como estudo de identificação das propriedades físico-mecânicas, sem afetar a qualidade do material utilizado, no qual, diversos países classificam a madeira através dessa metodologia, com ensaios químicos e físicos, utilizando a propagação de ondas mecânicas e eletromagnéticas.

As ondas eletromagnéticas, região do espectro eletromagnético, são definidas pela relação entre comprimento de onda e frequência, sendo exemplificadas pelas ondas de rádio, televisões, micro-ondas, raios-x e ressonância magnética (LIMA e BAKKER, 2011). De acordo com Viana *et al.* (2010), a espectroscopia no Infravermelho-Próximo (NIRS) é uma metodologia não destrutiva, não invasiva, com rápida técnica, utilizada em material que contém interações químicas como C-H, O-H, N-H, S-H e C=O, caracterizada pela energia irradiada na região do infravermelho-próximo em um material, no qual possibilita a absorção, reflexão ou transmissão dessa energia.

A termografia infravermelha é uma técnica caracterizada pela predição da irradiação superficial emitida dos materiais analisados, sendo assim, proporciona imagens térmicas nos quais possibilitam análises no âmbito quantitativo e qualitativo (SANTOS *et al.*, 2019). Para o sucesso dessa metodologia, considera-se o conceito básico no qual todos os seres (bióticos ou abióticos) têm temperatura acima do “zero absoluto” (0 Kelvin). Conseqüentemente, o instrumento absorve a irradiação infravermelha emitida e gera imagens a partir dessa energia,

funcionando assim como respostas do comportamento térmico desses seres bióticos ou abióticos analisados (VIDAL e PITARMA, 2019).

Segundo Balogh *et al.* (2011), a energia fotônica proveniente de luz solar apresenta constante espectro de irradiação eletromagnética, na qual, é composta por intervalos de comprimentos de onda: a radiação ultravioleta (UV), caracterizada por comprimento de 100 a 400nm; a luz visível, por sua vez, compreendendo entre 400 a 780nm; por último, o infravermelho encontra-se acima de 780nm.

A energia proveniente da radiação ultravioleta interage com a madeira através dos seus constituintes poliméricos, ocasionando reações físico-químicas, onde grupos cromóforos intimamente ligados à estrutura aromática na madeira apresentam-se propícia a receber e absorver a energia fotônica solar (POLETTI, 2017). Dessa forma, a madeira transfere calor por condução e por transmissão de energia em processos como convecção e irradiação.

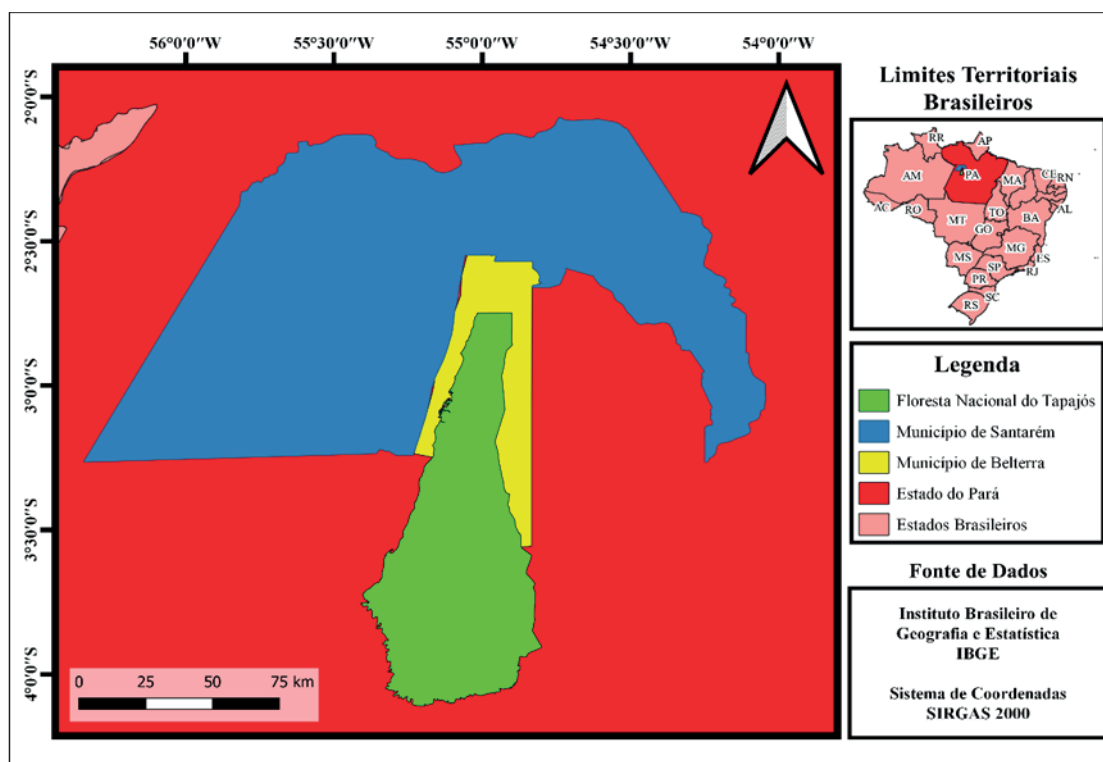
Através dos manejos florestais realizados na região amazônica, a colheita florestal proporciona madeiras utilizadas para diversos setores, desde a construção civil até a indústria energética. Devida essa versatilidade de uso, é importante a análise desse biomaterial referente ao comportamento térmico em relação aos outros materiais como os metais, cerâmicos, dentre outros. Tornam-se necessárias, portanto pesquisas relacionadas à condutividade térmica da madeira para compreensão de seu comportamento quando exposto a energias térmicas, como a solar.

O objetivo desta pesquisa consiste na avaliação termográfica da madeira de três espécies florestais amazônicas quando expostas à radiação solar.

■ MÉTODOS

O material utilizado nessa pesquisa origina-se do manejo florestal situado na Floresta Nacional do Tapajós – FLONA Tapajós, localizado no município de Belterra, estado do Pará (Figura 1). De acordo com Cohenca *et al.* (2004), o clima na FLONA Tapajós é classificado como “Ami” no sistema Köppen, ou seja, tropical úmido, considerando variação anual de temperatura abaixo de 5°C. Além disso, segundo esses autores, em Belterra registra-se temperatura média anual de 25,5 °C, com precipitação média anual de 1820 mm, sendo que, ocorrem precipitações abundantes entre os meses de janeiro a maio.

Figura 1. Localização da Floresta Nacional do Tapajós – FLONA Tapajós.

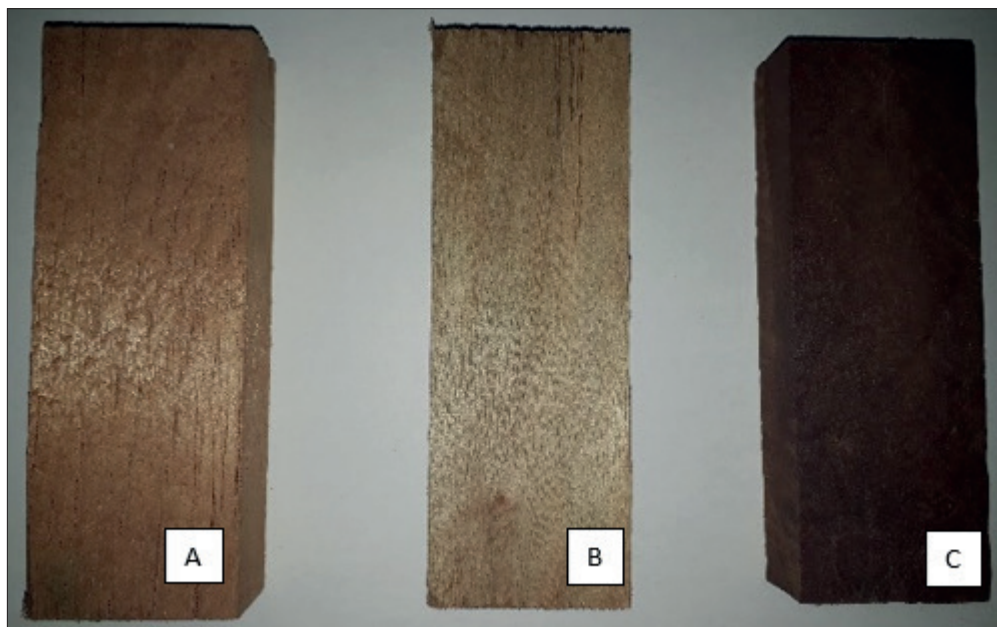


Fonte: Os autores (2021).

Foram coletadas madeiras de três espécies florestais: breu (*Protium apiculatum* Swart.), cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) A.Chev.). O material botânico das espécies foi coletado, posteriormente direcionado para o herbário da Embrapa Amazônia Oriental com finalidade de identificação.

As madeiras selecionadas foram desdobradas em corpos-de-prova nas dimensões de 5 x 2,5 x 15 cm (direções radial x tangencial x axial, respectivamente), observado na Figura 2, e encaminhados para o Laboratório de Tecnologia da Madeira – LTM, localizada na Universidade Federal do Oeste do Pará, campus Tapajós. No laboratório, as amostras foram para sala de aclimação ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; $60\% \pm 5\%$ de umidade relativa do ar) para armazenamento até estabilização da umidade de 12%.

Figura 2. Corpos-de-prova das espécies cedro (A), breu (B) e maçaranduba (C), respectivamente, em dimensões utilizadas para captação de imagens na câmera termográfica.



Fonte: Os autores (2021).

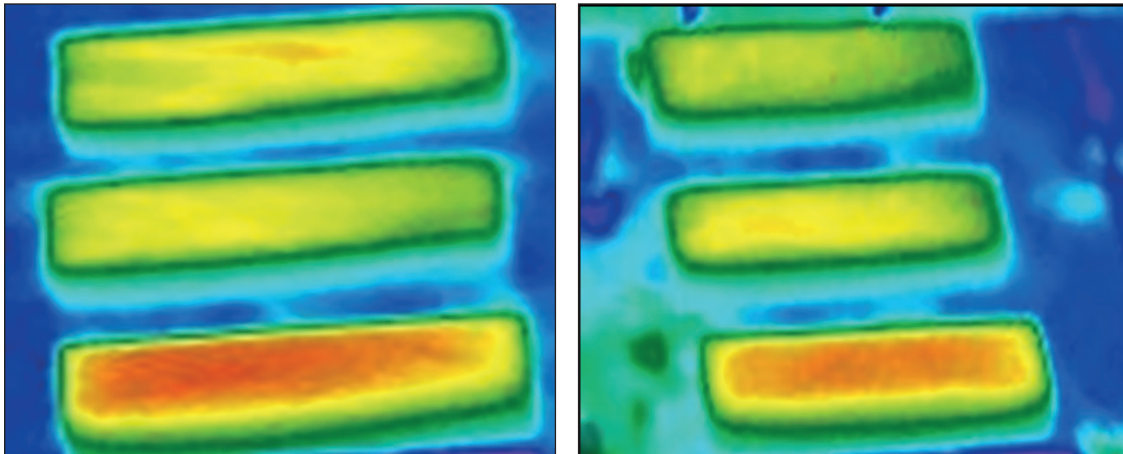
A densidade aparente ($\rho_{12\%}$) foi determinada de acordo com as diretrizes do método de Vital (1984), utilizando a imersão em água com finalidade de obtenção do volume da amostra a 12% de umidade através do empuxo ocorrido pela balança semi-analítica.

Para obtenção das imagens termográficas, utilizou-se o auxílio de uma bancada, a 1 metro do solo, para apoio dos corpos-de-prova, que, por sua vez, foram expostas ao sol em intervalo de tempo compreendido entre as 10 e 14 horas. Com intuito de se evitar a influência da energia térmica refletida, a bancada foi confeccionada de forma vazada e os corpos-de-prova apoiados em fios de nylon tensionados pelo peso de blocos cerâmicos.

Os corpos-de-prova foram distribuídos em arranjo de seis linhas e organizados de maneira aleatória, assim, em cada linha havia um corpo-de-prova de cada espécie, ou seja, cada espécie possuía seis repetições.

A coleta de dados de com a captura de imagens por meio de câmera termográfica infravermelha FLIR, com fotos registradas no intervalo de tempo entre 12 e 14 horas, devido a maior intensidade de irradiação solar nesse horário. Em seguida, as imagens captadas foram tratadas através do *software* FLIR *tools*, versão 5.515064.1001 (Figura 3).

Figura 3. Imagens termográficas tratada no *software* FLIR tools com foco nas madeiras em análise.



Fonte: Os autores (2021).

Das imagens captadas através do *software* FLIR tools, obteve-se imagens para 60 dados de cada espécie referentes às temperaturas mínima, média e máxima, situados na caixa e no centro dos corpos-de-prova (Figura 4).

Figura 4. Regiões selecionadas para avaliações termográficas nos corpos-de-prova.



Fonte: Os autores (2021).

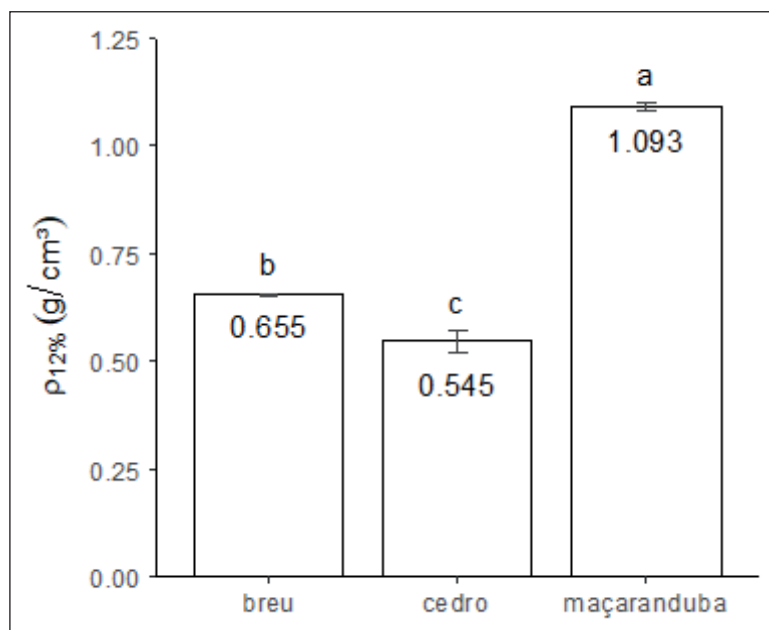
Nas análises de dados, utilizou-se o Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk, o Teste de Homogeneidade de Bartlett, para se avaliar as prerrogativas do teste paramétrico, distribuição normal e homogeneidade de variâncias. Como pelo menos umas prerrogativas não foi atendida, o Teste Não-Paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para comparação de médias. Além desses testes estatísticos, fez-se uso da Correlação Não-Paramétrico de Spearman, onde verificou a relação entre as temperaturas encontradas em cada corpo-de-prova e sua densidade aparente a 12% de umidade. O nível de significância de 5% foi adotado em todos os testes. Essas análises estatísticas e confecção de gráficos ocorreram no *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) para a densidade das três espécies utilizadas (Figura 5). Nessa análise, a espécie maçaranduba apresentou maior densidade

aparente, seguida do breu e do cedro. Apesar de apresentar a menor densidade aparente, cedro teve maior variação dos seus resultados encontrados.

Figura 5. Densidade aparente a 12% de umidade ($\rho_{12\%}$) das três espécies amazônicas avaliadas (n = 6 amostras por espécie).



Fonte: Os autores (2021).

A maçaranduba apresentou maior densidade, em relação ao breu e cedro, devido a sua estrutura anatômica apresentar menor proporção, menor frequência ou menores tamanhos dos espaços vazios. O cedro, por sua vez, possui características opostas em relação à maçaranduba em decorrência da maior proporção, maior frequência ou maiores tamanhos dos espaços vazios, sendo considerado nesses espaços, os lumes dos elementos condutores (vasos).

De acordo com Botosso (2011), o cedro (*Cedrela fissilis*), apresenta anel semiporoso, nos quais constam a presença de poros de maior diâmetro tangencial no lenho inicial e gradativa diminuição do diâmetro dos poros no lenho tardio (final do anel de crescimento). Com isso, a maior variação dos resultados para o cedro, possivelmente ocorre devido à diferença entre tamanho do diâmetro dos poros. É possível que um corpo-de-prova tenha maior proporção de lenho inicial em relação a outro corpo-de-prova que tenha mais lenho tardio.

Na Termografia Infravermelho, os valores médios das temperaturas Máxima, Média e Mínima das duas regiões selecionadas dos corpos-de-prova são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios das temperaturas em duas regiões selecionadas dos corpos-de-prova.

Espécie de Madeiras Amazônicas	Temperatura (°C)					
	Caixa			Centro		
	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima
Maçaranduba	51,07 ¹ a ² (1,75)	50,27 a (2,17)	49,00 a (1,85)	50,79 a (2,32)	50,47 a (2,37)	49,91 a (2,14)
Breu	50,23 b (1,92)	49,01 b (2,06)	47,57 b (2,13)	49,65 b (2,18)	49,06 b (2,15)	48,30 b (2,10)
Cedro	48,75 c (2,18)	48,04 c (2,21)	46,61 c (2,23)	48,65 c (2,21)	48,26 c (2,21)	47,78 c (2,27)

¹ Valor média e, abaixo e entre parênteses, o desvio padrão.

² Médias não seguidas de mesma letra na coluna diferem estatisticamente a 5% de significância para o teste não-Paramétrico Kruskal-Wallis.

Fonte: Os autores (2021).

Houve diferenças significativas entre as temperaturas das três espécies nas duas regiões selecionadas caixa e centro. A maçaranduba obteve maiores temperaturas nos valores máximo, médio e mínimo para caixa e centro, seguido do breu e, por último, o cedro.

De acordo com Nogueira *et al.* (2004), a condutividade térmica da madeira possui influência em relação a sua densidade, assim, quanto maior a densidade do material, maior a sua condutividade térmica. Dessa forma, a maçaranduba apresentou maiores temperaturas em relação às demais devido a sua alta densidade, por outro lado, o cedro, obteve menores valores em temperatura em decorrência a sua densidade baixa.

A densidade da madeira depende de suas estruturas anatômicas como parênquimas radial, axial, vasos e fibras, assim como o tamanho, quantidade, proporção, frequência desses componentes anatômicos (PEREIRA *et al.*, 2016). De acordo com Poubel *et al.* (2011), quando a madeira apresenta alta densidade, isso é diretamente proporcional à espessura das paredes celulares e inversamente proporcional ao volume do lume.

Segundo Eloy *et al.* (2021), o aumento da densidade básica da madeira é devido aumento da parede celular, consequentemente proporcionando melhores performances em propriedades mecânicas da madeira, por exemplo. Além disso, de acordo com Sette Jr. *et al.* (2012), a densidade da madeira é menor quando se apresenta maiores proporções de espaços vazios.

Ziemińska *et al.* (2013), afirmam que os lumes têm densidade essencialmente zero, apresentando densidade acima de zero com as fibras, paredes dos vasos e parênquima, sendo que a densidade é muito correlacionada com a fração da parede da fibra. Segundo esses autores ainda, a área média do vaso não influencia a densidade, mais sim, a fração do vaso, no qual possivelmente relaciona-se com a variação da densidade da madeira.

Segundo Canas *et al.* (2007), o nível de porosidade na madeira relaciona-se com a condutividade térmica do material, com isso, ocorre uma relação inversamente proporcional entre a porosidade e condutividade térmica, ou seja, quanto maior a porosidade, menor a sua condutividade. De acordo com Çavuş *et al.* (2019), comparada a madeira, o ar é um

mau condutor térmico, sendo assim, madeira com teor de porosidade alta, apresenta menor condutividade térmica.

Pelit *et al.* (2017), analisando as propriedades de condutividade térmica da espécie abeto (*Abies bornmulleriana* Mattf.), alteradas através da densificação, verificou que os valores de condutividade térmica em madeiras densificadas aumentarem em até 11% na face tangencial e até 26% na face radial.

Com isso, constituintes anatômicos apresentam importância elevada nas pesquisas relacionadas em questão, onde os espaços vazios (lumes), como os de vasos condutores, não transferem calor de forma eficiente em comparação a espaços sólidos, como a interação íntima das fibras celulares na madeira.

Por fim, a correlação entre a densidade aparente a 12% e as temperaturas (máxima, média e mínima) em relação às regiões selecionadas, caixa e centro, são observados na Tabela 2.

Tabela 2. Correlação de Spearman entre densidade aparente a 12% das espécies de madeiras amazônicas e temperaturas das regiões selecionadas dos corpos-de-prova.

Correlação de Spearman						
Espécies de Madeiras Amazônicas	Caixa			Centro		
	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima
ρ 12%	0.4261	0.4067	0.4028	0.3896	0.4099	0.3869
valor-p	0.001061	0.001181	0.000447	0.003483	0.001952	0.003009

Fonte: Os autores (2021).

Nessa pesquisa, observaram-se valores de correlação no intervalo de 0.3869 a 0.4261, uma correlação positiva moderado-fraca, com é descrito em Vieira (2013). Isso significa que as variáveis condizentes a densidade aparente e temperatura das madeiras amazônicas direcionam-se em mesmo sentido, mas correlacionam-se de maneira branda. O *valor-p* em todas as análises realizadas foi abaixo de 0.005, tornando assim a altamente significativo cada resultado de correlação.

Na pesquisa realizada por Kurt *et al.* (2017), utilizando uma máquina portátil na madeira de conífera *Abies bornmulleriana* Mattf. para dar uma noção sobre a resistência do material a partir da sua taxa de condutividade térmica, as madeiras passaram por processo de densificação (0%, 25% e 50%). Com isso, os autores afirmam que existe uma determinada relação significativa entre a densidade da madeira e a condutividade. Além disso, conclui-se que o coeficiente de condutividade térmica tem potencial para uso em métodos não destrutivos com objetivo de avaliar a densidade e resistência residual da madeira.

Outro fator a se considerar é a presença de extrativos na madeira, podendo ter influenciado os resultados devido à capacidade de leitura de componentes orgânicos através da espectroscopia infravermelha. De acordo com Santos (2008), a estrutura da parede celular

é composta por holocelulose e lignina, além de extrativos, nos quais são formados pelos ácidos graxos, fenóis, terpenos, esteroides, resinas e demais componentes orgânicos.

Além disso, os extrativos são capazes de determinar propriedades essenciais na madeira como resistência natural, cheiro, gosto e a cor (ZAQUE, 2016). Dependendo da cor da madeira, ocorre a produção de diferentes níveis de albedo, por exemplo, a maçaranduba apresenta coloração escura em relação ao breu e cedro, dessa forma, sendo um fator capaz de exercer influência nos resultados.

De acordo com Vasubsbu *et al.* (2015), a condutividade térmica da madeira é influenciada por fatores como a densidade e os extrativos, sendo que a condutividade se eleva com aumento da densidade ou mesmo dos extrativos na madeira, e diminui com aumento da porosidade.

A lignina tem capacidade de absorver calor oriundo de fontes energéticas do espectro visível e do espectro do ultravioleta, onde diferentes teores de lignina nas madeiras das espécies amazônicas podem gerar variações nos resultados obtidos (PASTORE *et al.*, 2008). Segundo Soares *et al.* (2018), a lignina presente na parede celular é mais susceptível as condições ambientais, como a luz ultravioleta, através dos seus grupos fenólicos, têm a qualificação de assimilar cerca de 80 a 95% da irradiação oriunda do sol.

Ao contrário da lignina, a celulose tem capacidade de amenizar a condutividade térmica, funcionando como isolante térmico (CORREIA e SOUZA, 2009). De acordo com Jirouš-Rajković e Miklečić (2021), de todos os polímeros encontrados na madeira, a lignina absorve a luz ultravioleta de forma mais intensa em decorrência do auxílio de grupos cromóforos, nos quais tem a função de absorção do espectro no intervalo de 250nm a 400nm, proporcionando maior absorção de irradiação em relação à celulose.

Dessa forma, as diferenças nos teores de celulose, lignina e extrativos na estrutura da parede celular, juntamente com a densidade são fontes de variação e influenciam a condutividade térmica das madeiras estudadas.

A compreensão da condutividade térmica na madeira é importante para tomadas de decisões como escolha de madeiras para construção de casa e edifícios, pensando-se no conforto térmico. Ademais, o uso da câmera termográfica permite a avaliação não-destrutiva da madeira, sendo possível o uso dessa metodologia em escala industrial, com confiabilidade, em um futuro próximo à medida que esse instrumento seja difundido.

■ CONCLUSÃO

A termografia infravermelho possibilita distinguir madeiras através das densidades que elas apresentam, sendo que a maçaranduba apresentou maior densidade aparente, maior capacidade de armazenamento de energia, seguidas pelo breu e cedro.

A correlação entre densidade e as temperaturas mínima, média e máxima foram altamente significativas, porém, o índice de correlação foi moderado/fraco.

Para elevação do conhecimento sobre comportamento térmico da madeira, indicam-se adição de pesquisas contendo dados de coloração, extrativos, teores de holocelulose e lignina.

■ AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Embrapa Amazônia Oriental pelo suporte para a realização dos experimentos e na análise dos dados.

Agradecemos também ao Laboratório de Tecnologia da Madeira – LTM pelo espaço disponibilizado para realização de determinadas análises.

Além disso, agradecemos a COOMFLONA pela parceria na disponibilização dos materiais madeireiros para essa pesquisa.

■ REFERÊNCIAS

1. ABREU, L.B.; LIMA, J.T.; RABELO, G.F.; GOMES, F.C.; TRUGILHO, P.F.; ELOY, F.S. Avaliação não destrutiva de estruturas de madeiras em edifício histórico de Tiradentes, MG. **Cerne**, v.19, n.3, p.481-487, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cerne/v19n3/16.pdf>>.
2. BALOGH, T.S.; PEDRIALI, C.A.; BABY, A.R.; VELASCO, M.V.R.; KANEKO, T.M. Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. **An. Bras. Dermatol.**, v.86, n.4, p.732-742, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abd/v86n4/v86n4a16.pdf>>.
3. BOTOSSO, P.C. **Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2011. 65 p. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1517-52X; 194).
4. CANAS, S.; BELCHIOR, A.P.; FALCÃO, A.; GONÇALVES, J.A.; SPRANGER, M.I.; BRUNO DE SOUSA, R. Effect of heat treatment on the thermal and chemical modifications of oak and chestnut wood used in brandy ageing. **Ciência Téc. Vitiv.**, v.22, n.1, p.5-14, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/ctv/v22n1/v22n1a02.pdf>>.
5. COHENCA, D.; REBELLO, J.F.S.; FRANÇOZZO, M.B.; MENDES, M.; DIAS, P.S.; MELO, S.M.R. **Floresta Nacional do Tapajós – Plano de Manejo (Volume 1) – Informações Gerais**. Santarém – Pará: IBAMA, 2004. 350p.
6. CORREIA, C.M.P.; SOUZA, M.F. Mechanical strength and thermal conductivity of low-porosity gypsum plates. **Materials Research**, v.12, n.1, p.95-99, 2009.
7. ÇAVUŞ, V.; ŞAHİN, S.; ESTEVES, B.; AYATA, U. Determination of thermal conductivity properties in some wood species obtained from Turkey, **BioResources**, v.14, n.3, p.6709-6715, 2019. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/334207365>>.
8. ELOY, E.; TREVISAN, R.; PIECHA, T.S.; FONTOURA, M.R.; COSTA, H.W.D.; CARON, B.O. Anatomy and drying of wood of four species from an agroforestry system. **Floresta**, v.51, n.4, p.910-917, 2021.

9. GONÇALVES, R; BARTHOLOMEU, A. Avaliação do desempenho de ensaio não destrutivo em vigas de madeiras de *Eucalyptus citriodora* e *Pinus elliottii*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.269-274, 2000. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000200023> >.
10. JIROUŠ-RAJKOVIĆ, V.; MIKLEČIĆ, J. Enhancing weathering resistance of wood – A review. **Polymers**, v.13, n.1980, p.1-27, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/polym13121980>>.
11. KURT, S.; KORKMAZ, M.; ÖZCAN, C.; DÜNDAR, T.; AKTAS, M. A new method in NDT of wood: Thermal conductivity. **The Online Journal of Science and Technology**, v.7, n.3, p.1-4, 2017.
12. LIMA, A.; BAKKER, J. Near-infrared spectroscopy for monitoring peripheral tissue perfusion in critically ill patients. **Revista Bras.Ter.Intensiva**, v.23, n.3, p.341-351-2011.
13. MENEZES, W.M.; SANTINI, E.J.; GATTO, J.T.D.A.; HASELEIN, C.R. Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. **Ciência Rural**, v.44, n.6, p.1019-1024, 2014. Disponível em: < <http://189.126.110.61/crural/article/download/22835/23641> >.
14. NAVROSKI, M.C.; LIPPERT, D.B.; CAMARGO, L.; PEREIRA, M.O.; HASELEIN, C.R. Avaliação do isolamento térmico de três diferentes materiais usados na construção e preenchimento de paredes externas. **Ciência da Madeira**, v.1, n.1, p.41-51, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4014/3139> >.
15. NOGUEIRA, M.C.J.A.; MORAES J.G.; LOGDSON L.; NOGUEIRA, J.S. **Propriedade térmica: Determinação em madeiras nativas do estado do Mato Grosso**. In: Conferência Latino Americana de Construção Sustentável, 1; Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, São Paulo, 2004 isbn 85-89478-08-4.
16. PASTORE, T.C.M.; RUBIM, C.C..K.O.J.C.; SANTOS, K.O. Efeito do integrismo artificial em quatro madeiras tropicais monitorado por espectroscopia de infravermelho (DRIFT). **Quim. Nova**, v.31, n.8, p.2071-2075, 2008.
17. PELIT, H.; KORKMAZ, M.; BUDAKÇI, M.; ESEN, R. The effects of densification and heat treatment on thermal conductivity of fir wood. **The Online Journal of Science and Technology**, v.7, n.3, p.117-122, 2017.
18. PEREIRA, B.L.C.; CARVALHO, A.M.M.L.; OLIVEIRA, A.C.; SANTOS, L.C.; CARNEIRO, A.C.O.; MAGALHÃES, M.A. Efeito da carbonização da madeira na estrutura anatômica e densidade do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v.26, n.2, p.545-557, 2016. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v26n2/0103-9954-cflo-26-02-00545.pdf> >.
19. POLETTO, M. Comparative study of wood flour photodegradation of two wood species submitted to artificial weathering. **Maderas – Ciencia y Tecnología**, v.19, n.2, p.141-148, 2017. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000012> >.
20. POUBEL, D.S.; GARCIA, R.A.; LATORRACA, J.V.F.; CARVALHO, A.M. Estrutura anatômica e propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus pellita* F.Muell. **Floram**, v.18, n.2, p.117-126, 2011. Disponível em: < <http://www.floram.org/files/v18n2/v18n2a1.pdf> >.
21. R CORE TEAM.R: **a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015.
22. SANTOS, C.F.; ROCHA, J.H.A.; PÓVOAS, Y.V. Utilização da termografia infravermelha para detecção de focos de umidade em paredes internas de edificações. **Ambiente Construído**, v. 19, n.1, p.105-127, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000100296>>.

23. SANTOS, I.D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.** 2008. 57f. Tese (Mestrado) – Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2008.
24. SETTE JR., C.R.; OLIVEIRA, I.R.; FILHO, M.T.; YAMAJI, F.M.; LACLAU, J.P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.36, n.6, p.1183-1190, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000600019>.
25. SOARES, A.K.; PEREIRA, R.L.; CADEMARTORI, P.H.G.; DALLA COSTA, H.W.; GATTO, D.A. Intemperismo artificial de quatro revestimentos aplicados em madeiras de duas espécies florestais. **Nativa**, v.6, n.3, p.313-320, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i3.5145>
26. TARGA, L.A.; BALLARIN, A.W.; BIAGGIONI, M.A.M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v.25, n.2, p.291-299, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000200001>.
27. VASUBSBU, M.; NAGARAJU, B.; VIJAY KUMAR, J.; JEEVAN KUMAR, R. Experimental measurement of termal conductivity of wood species in India: Effect of density and porosity. **International Journal of Science, Environment and Technology**, v.4, n.5, p.1360-1364, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/291520554>
28. VIANA, L.C.; TRUGILHO, P.F.; HEIN, P.R.G.; SILVA, J.R.M.; LIMA, J.T. Modelos de calibração e a espectroscopia no infravermelho próximo para predição das propriedades químicas e da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v.20, n.2, p.367-376, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1859/1293>.
29. VIDAL, D.; PITARMA, R. Infrared thermography applied to tree health assessment: A review. **Agriculture**, v.9, n.156, p.1-15, 2009. Disponível em: [doi:10.3390/agriculture9070156](https://doi.org/10.3390/agriculture9070156).
30. VIEIRA, P.V.M.; WAINER, J. Correlações entre a contagem de citações de pesquisadores brasileiros, usando o Web of Science, Scopus e Scholar. **Perspectivas em Ciência de Informação**, v.18, n.3, p.45-60, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.11959/brapci/34613>.
31. VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).
32. ZAQUE, L.A.M.; MENDOZA, Z.M.S.H.; BORGES, P.H.M.; FERREIRA, M.D. Componentes acidentais na madeira de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **4º Encontro em Engenharia de Edificações e Ambiental – Universidade Federal do Mato Grosso**, 2016, p.1-10. Disponível em: <http://eventosacademicos.ufmt.br/index.php/eeee/eeee2016/paper/view/674/229>.
33. ZIEMIŃSKA, K.; BUTLER, D.V.; GLEASON, S.M.; WRIGTH, I.J.; WESTOBY, M. Fibre wall and lumen fractions drive wood density variation across 24 Australian angiosperms. **AoB PLANTS – Journal for plant sciences**, v.5, p.1-14, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plt046> >.

Influência do teor de umidade na densidade e resistência à flexão estática da madeira de quatro espécies nativas do planalto serrano catarinense

| **Débora Caline de Mello**
ARAUPEL

| **Karina Soares Modes**
UFSC

| **Magnos Alan Vivian**
UFSC

RESUMO

Objetivo: O presente estudo objetivou caracterizar as madeiras das espécies nativas *Ocotea puberula* (Rich.) Nees (canela guaicá), *Solanum mauritianum* Scop. (fumo bravo), *Zanthoxylum rhoifolium* (mamica) e *Sapium glandulosum* Lam. (pau leiteiro) quanto à densidade e ao módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) ao ensaio mecânico de flexão estática, bem como o efeito do teor de umidade sobre essas propriedades tecnológicas. **Método:** De árvores de cada espécie retirou-se uma tora para a confecção de corpos de prova que foram ensaiados em duas condições de umidade (saturada e climatizada a umidade de 12%). Do mesmo material foi realizada a determinação das densidades básica, aparente a 12% de umidade e da madeira verde. **Resultados:** A redução do teor de umidade promoveu maior percentual de acréscimo sobre a rigidez da madeira da espécie *S. glandulosum*, seguida da espécie *O. puberula*, *S. mauritianum* e *Z. rhoifolium*. Já em relação ao MOR esse acréscimo foi observado em maior proporção para a madeira de *O. puberula*, seguida das madeiras de *S. glandulosum*, *S. mauritianum* e *Z. rhoifolium*. A densidade aparente da madeira verde foi em média 149% superior à registrada para a mesma madeira à umidade de equilíbrio de 12%. **Conclusão:** A presença de água no material promoveu uma redução média de 48,75% para o módulo de elasticidade e de 45,09% para o módulo de ruptura.

Palavras-chave: Resistência, Rigidez, Densidade da Madeira, Espécies Nativas.

■ INTRODUÇÃO

De acordo com Coradin *et al.* (2011), as florestas remanescentes na Região Sul são, em sua maioria, formações florestais secundárias, formadas principalmente por espécies de crescimento rápido, cuja investigação de potenciais novos usos e, principalmente, novas tecnologias de aproveitamento da madeira, apontam para uma provável expressiva valorização dessas espécies madeireiras.

Um dos objetivos de manejar as florestas secundárias é restabelecer o papel dessas no cotidiano dos agricultores e resgatar a cultura do manejo florestal, estimulando a adoção de usos da terra de base florestal, como os sistemas agroflorestais e os plantios florestais mistos de espécies nativas (FANTINI e SIMINSKI, 2016).

De acordo com Miranda *et al.* (2012), o Brasil apresenta grande diversidade de espécies nativas, com alto potencial de crescimento e características tecnológicas a serem exploradas, atualmente com pequena ou nenhuma inserção no mercado madeireiro constituindo-se em nova fronteira a ser pesquisada e nesse contexto, são muitas as espécies produtoras de madeira sobre as quais pouco se conhece em termos de características tecnológicas.

Segundo Carvalho (2002), a espécie *Ocotea puberula* (Rich.) Nees, popularmente conhecida como canela guaicá, canela pimenta, dentre outros, é uma árvore perenifólia, pertencente à família Lauraceae, com 10 a 15 m de altura e 20 a 60 cm de DAP, podendo atingir até 25 m de altura e 90 cm de DAP, na idade adulta, com uma literatura extensa indicando sua ocorrência natural nos estados da região Sul do Brasil, estando presente nas fases intermediárias e avançadas de uma sucessão secundária, é considerada como de crescimento moderado. Coradin *et al.* (2011) a incluíram na lista das espécies madeireiras prioritárias da região sul.

De acordo com Coradin *et al.* (2011), a espécie *Solanum mauritianum* Scop., popularmente conhecida como fumo-bravo, pertencente à família Solanaceae, é um arbusto ou arvoreta que pode alcançar altura superior a dez metros e diâmetro acima de 20 cm, cuja ocorrência natural em terras brasileiras está restrita ao sul do Brasil, de rápido crescimento, torna-se adulta em dois a três anos e, geralmente, entram em senescência após 15 anos de idade. Os autores também destacam que *S. mauritianum* é uma espécie altamente promissora para a indústria fitofarmacológica, por apresentar alta concentração de alcaloides-esteroidais (solasodina).

A espécie *Sapium glandulosum* (L.) Morong que possui como sinonímia a espécie *Sapium glandulatum* (Vell.) Pax, segundo Lorenzi (1992) pertence à família das Euphorbiaceae, também conhecido popularmente por pau-de-leite, leiteiro, pau-branquilho, entre outros, é uma espécie lactescente de 5 a 20 m de altura com tronco de 30 a 50 cm de diâmetro e característica da Floresta Ombrófila Mista do planalto do Sul do Brasil, com

dispersão expressiva nas florestas de pinheiros. Segundo o mesmo autor, sua madeira é utilizada para caixotaria leve, bem como para lenha e carvão, podendo ainda ser empregada no paisagismo em geral e também útil para reflorestamentos heterogêneos com fins ecológicos.

Já a espécie *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. é conhecida popularmente como mamiqueira, mamica-de-cadela, jujevê, entre outros, de acordo com Lorenzi (1992) é uma planta aculeada de 5 a 12 m de altura e tronco de 30 a 40 cm de diâmetro que ocorre em todo o país, principalmente na mata pluvial da encosta atlântica e na floresta semidecídua de altitude e cuja madeira dura e flexível, é aplicada na construção civil, marcenaria, carpintaria, para a confecção de carroceria, remos, cabos de ferramentas e outros instrumentos agrícolas, podendo ser ainda empregada no paisagismo, principalmente para a arborização urbana.

A maioria dos estudos com espécies nativas se detém as características botânica e fitossociológicas, existindo uma lacuna a ser preenchida no que se referem a informações científicas a respeito da caracterização tecnológica de suas madeiras, com finalidade de aprofundar o conhecimento e dar maior valorização as espécies que compõe a diversa flora brasileira.

O presente estudo objetivou caracterizar as madeiras das espécies nativas *Ocotea puberula* (canela guaicá), *Solanum mauritianum* (fumo bravo), *Zanthoxylum rhoifolium* (mamica) e *S. glandulosum* (pau leiteiro) quanto à densidade e verificar a influência da umidade sobre a resistência e rigidez das madeiras ao ensaio mecânico de flexão estática.

■ MÉTODO

Para o presente estudo foram utilizadas as espécies nativas *Z. rhoifolium* Lam. (mamica), *S. glandulosum* (L.) Morong (pau leiteiro), *S. mauritianum* Scop. (fumo bravo) e *O. puberula* (Rich.) Nees (canela guaicá), provenientes de remanescente nativo suprimido em virtude de construção de uma rodovia na região de Curitibanos, estado de Santa Catarina, nas coordenadas de latitude 27°29'6.96"S e longitude 50°36'40.25"O.

Segundo a classificação de Köppen o município possui um clima do tipo Cfb, caracterizado pela ocorrência de clima temperado, verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas, em que a temperatura média anual está entre 16 e 17°C, precipitação média anual de 1.500 a 1.700 mm, com ocorrência de geadas (PANDOLFO *et al.*, 2002).

Para as quatro espécies foram coletadas toras de aproximadamente 1,30 metros de comprimento de três indivíduos escolhidos aleatoriamente. Do material coletado foram confeccionados 60 corpos de prova para cada espécie com dimensões de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm, seguindo recomendações da Norma COPANT 555 da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1973). O material confeccionado foi dividido em dois lotes de 30 peças cada um, sendo um submetido ao condicionamento em câmara climática com controle de

temperatura a 20°C e umidade relativa de 65%, com objetivo de climatizar a madeira ao teor de umidade de equilíbrio aproximado de 12% de umidade. O segundo lote foi submetido à imersão em água por aproximadamente 30 dias objetivando a saturação máxima da madeira.

Densidades básica e aparente da madeira verde e a 12% de umidade

Depois de atingida as condições de acondicionamento do material e antes do ensaio de flexão estática os corpos de prova de ambos os lotes tiveram a massa e volume determinados. A densidade aparente a 12% de umidade foi calculada a partir da relação entre a massa e volume dos corpos de prova submetidos ao condicionamento a 20°C de temperatura e 65% de umidade relativa. Já a densidade aparente da madeira verde foi calculada a partir da relação de massa e volume dos corpos de prova submetidos à imersão em água.

Para a determinação da densidade básica da madeira das espécies, após o ensaio mecânico, os corpos de prova do lote submetido à imersão em água foram secos em estufa a $103^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ até massa constante (massa anidra). Na sequencia relacionou-se a massa anidra registrada por cada corpo de prova nessa condição pelo respectivo volume determinado após imersão em água (volume saturado).

Ensaio mecânico de flexão estática

Depois de atingidas as condições de armazenamento os corpos de prova de ambos os lotes foram submetidos ao ensaio de flexão estática para determinação da resistência e rigidez da madeira nas duas condições de umidade. Os testes mecânicos foram realizados em uma máquina universal de ensaios com sistema de aquisição de dados automatizados e capacidade de 30 toneladas localizada no Laboratório de Recursos Florestais II da UFSC, Campus de Curitibanos. O ensaio teve início centralizando o corpo de prova sobre dois apoios, separados por um vão de 280 mm, e aplicada uma carga na face tangencial do corpo de prova com força crescente a uma velocidade de 1,0 mm/min de acordo com a norma COPANT 555 da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1973) (Figura 1).

Figura 1. Execução do teste de flexão estática em máquina universal de ensaios mecânicos.



Fonte: Os autores.

Análise estatística

A análise dos dados de resistência e rigidez ao ensaio de flexão estática foi realizada a partir de um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com arranjo fatorial, sendo os fatores: espécie com 4 níveis (*O. puberula*, *S. glanuosum*, *S. mauritianum* e *Z. rhoifolium*) e umidade com 2 níveis (saturado e climatizado a 20°C de temperatura e umidade relativa de 65%) totalizando 8 tratamentos, com 30 repetições cada. Efetuou-se análise de variância (ANOVA) e quando significativo aplicou-se o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Os dados de densidade básica e densidade aparente foram avaliados mediante estatística descritiva. Para o tratamento estatístico dos dados foi utilizado o programa Sisvar 5.6. Foi realizada correlação de Pearson entre as propriedades físicas e mecânicas das madeiras avaliadas utilizando o pacote Microsoft Excel 2010.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades físicas

Na Tabela 1 constam os valores de densidade básica e densidade aparente das madeiras na condição climatizada a 20°C e 65% de UR (visando o equilíbrio higroscópico a umidade de 12%) e após período de imersão em água (verde) para cada espécie.

Tabela 1. Densidade básica e densidade aparente da madeira verde e a 12% de umidade para as espécies avaliadas.

Espécie		Densidade (kg/m ³)		
		Básica	12%	Verde
<i>O. puberula</i>	Média	362	476	1076
	Desvio padrão	41,3	39,4	30,4
	Coefficiente de variação (%)	11,4	8,3	2,8
<i>S. glanulosum</i>	Média	251	329	1066
	Desvio padrão	21,0	30,7	24,5
	Coefficiente de variação (%)	8,3	9,3	2,3
<i>S. mauritianum</i>	Média	356	466	1070
	Desvio padrão	32,1	41,7	29,2
	Coefficiente de variação (%)	9,0	8,9	2,7
<i>Z. rhoifolium</i>	Média	419	524	1130
	Desvio padrão	40,2	32,9	85,2
	Coefficiente de variação (%)	9,6	6,3	7,5

Fonte: Os autores.

Observa-se que a densidade aparente da madeira verde foi em média 149% superior à registrada para a mesma madeira à umidade de equilíbrio de 12%. Segundo Pertuzzati *et al.* (2017) o aumento significativo da densidade na madeira saturada está diretamente relacionado ao crescente aumento de sua massa quando submersa em água, entretanto a madeira não apresenta o mesmo crescimento volumétrico, que é constante acima do ponto de saturação das fibras (PSF).

Com exceção da madeira de *Z. rhoifolium* a densidade básica das espécies avaliadas é inferior a 400 kg/m³, o que permite enquadrá-las na classe de madeira de baixa densidade, segundo classificação da International Association of Wood Anatomists Committee (IAWA, 1989). Já a madeira da espécie *Z. rhoifolium* pode ser classificada como de média densidade levando em consideração a mesma fonte.

Para a madeira de *O. puberula* a densidade aparente a 12% de umidade está dentro do intervalo de 390 a 490 kg/m³ mencionado para a mesma espécie por autores referenciados no estudo de Carvalho (2002) e também está próxima a registrada por Danielli (2017), cujo valor foi de 477 kg/m³.

Oliveira (2014) avaliou a densidade básica de diversas espécies do gênero *Ocotea* sendo o valor registrado no presente estudo, mais próximo do observada pelo autor para a espécie *Ocotea brachybotra* (Meisn.) Mez (433 kg/m³).

Em relação à espécie *S. mauritianum*, a densidade básica foi inferior ao valor de 494 kg/m³, tomado como uma média de várias espécies de mesmo gênero avaliadas por Oliveira (2014), sendo o valor registrado no presente estudo, mais próximo ao da espécie *Solanum cinnamomeum* (454 kg/m³). Também é próximo ao valor ponderado obtido por Pereira e Paim Neto (2012) para a espécie *Solanum lycocarpum* (400 kg/m³).

Para a espécie *S. glanulosum* o valor de densidade básica observada está abaixo do encontrado por Vitorio (2013), que foi de 364 kg/m³ e por Melo *et al.* (2013) que foi de 410 kg/m³.

Em relação à espécie *Z. rhoifolium* a densidade básica obtida é inferior aos 500 kg/m³ registrado por Araújo (2007) para a espécie de mesmo gênero *Z. regnelianum*, bem como aos 490 kg/m³ encontrado por Mendes *et al.* (1999), para a espécie *Z. tingoassuiba*.

Ensaio mecânico de flexão estática

Na Tabela 2 e na Figura 2 constam os valores médios das propriedades de resistência e rigidez das madeiras avaliadas quando submetidas ao ensaio de flexão estática nas duas condições de umidade, juntamente com o teste de médias resultante da interação dos fatores umidade e espécie.

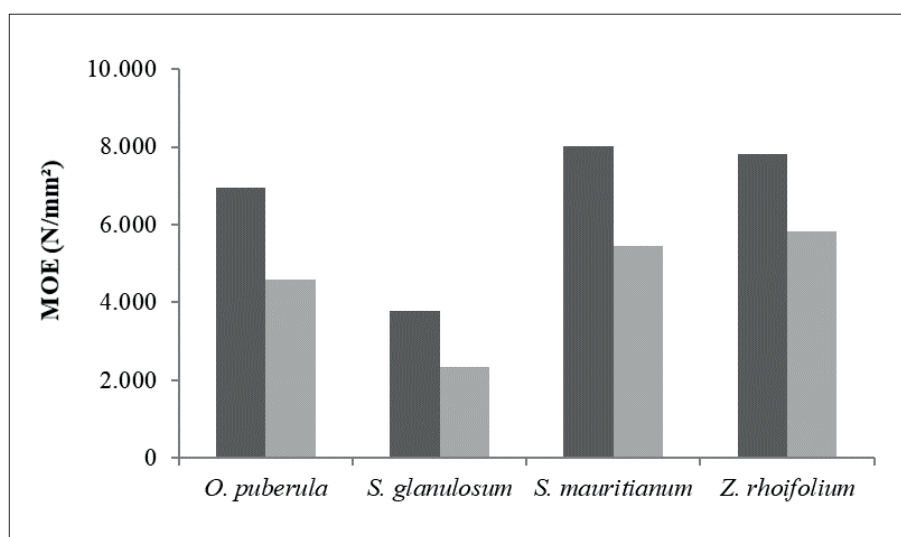
Tabela 2. Comparação de médias dos parâmetros observados para as condições de madeira climatizada à umidade de 20°C e 65% de umidade relativa e saturada no ensaio de flexão estática .

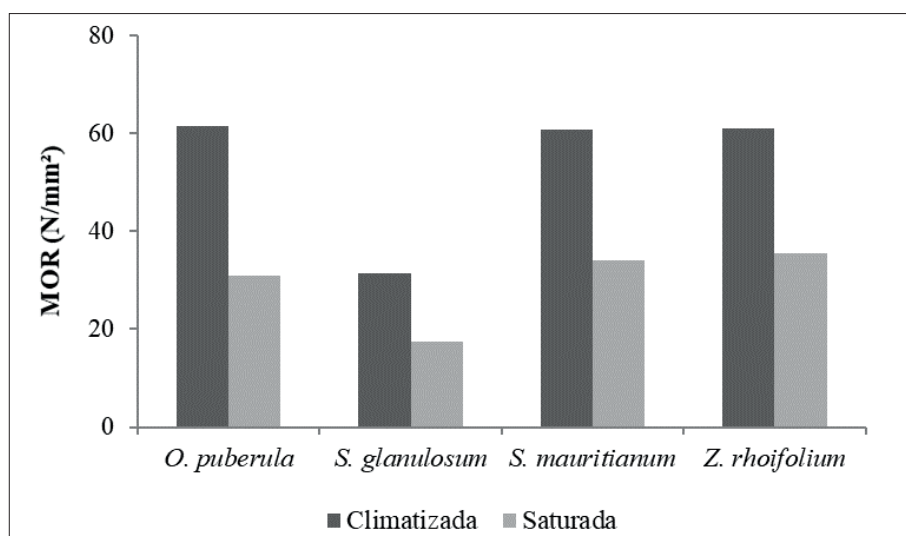
ESPÉCIE	MOE ¹		MOR	
	N/mm ²			
	Climatizada	Saturada	Climatizada	Saturada
<i>O. puberula</i>	6.942 Ab ²	4.583 Bb	61,40 Aa	30,81 Bb
<i>S. glanulosum</i>	3.797Ac	2.334 Bc	31,44 Ab	17,36 Bc
<i>S. mauritianum</i>	8.007Aa	5.449 Ba	60,77 Aa	34,09Bab
<i>Z. rhoifolium</i>	7.806Aa	5.829 Ba	60,99 Aa	35,45 Ba

¹ MOE= módulo de elasticidade; MOR= módulo de ruptura. ² Tratamentos com letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Os autores

Figura 2. Análise comparativa do efeito da umidade nos valores de Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) em flexão estática apresentados pelas espécies avaliadas.





A análise fatorial indicou efeito significativo a 5% de probabilidade de erro dos fatores analisados e suas interações sobre o módulo de elasticidade e módulo de ruptura.

Observa-se que a presença de água na madeira reduziu consideravelmente as propriedades mecânicas relacionadas à resistência (MOR) e rigidez (MOE) ao ensaio de flexão estática de todas as espécies avaliadas, esse fato é corroborado por Haselein *et al.* (2002) que menciona a existência de uma estreita relação entre massa específica da madeira e as propriedades mecânicas, de modo que qualquer fator que cause alteração na primeira irá produzir efeitos nas últimas, entre eles portanto pode-se considerar o teor de umidade. A presença de água no material promoveu uma redução média de 48,75% para o MOE e de 45,09% para o MOR. Bodig e Jayne (1982) citados por Vivian *et al.* (2010) mencionam que para a madeira de folhosas a razão entre os valores de MOE da madeira seca (12% de umidade) e madeira verde varia de 1,11 a 1,53 e para o MOR esta mesma relação varia de 1,32 até 2,10. Assim, observa-se que as relações observadas no presente estudo estão dentro do intervalo mencionado, uma vez que para o MOE a relação média foi de 1,48 e para o MOR de 1,82. Essa maior influência da umidade sobre o módulo de ruptura também foi registrada em ensaio de flexão estática por Haselein *et al.* (2002) e por Vivian *et al.* (2010), ambos também com madeira de folhosas.

Observa-se ainda que dentre as espécie avaliadas a madeira de *S. glanulosum* foi a mais favorecida pela redução do teor de umidade sobre a rigidez, uma vez que a climatização do material promoveu um acréscimo de 62,68% nessa característica, seguida da espécie *O. puberula*, *S. mauritianum* e *Z. rhoifolium*. Já em relação ao MOR esse acréscimo foi observado em maior proporção para a madeira de *O. puberula*, seguida das madeiras de *S. glanulosum*, *S. mauritianum* e *Z. rhoifolium*.

Em relação ao fator espécie observa-se que a madeira de *S. glanulosum* foi a menos rígida e resistente dentre as espécies avaliadas tanto na condição climatizada como saturada, na primeira condição tem-se o possível efeito de sua menor densidade básica e aparente e

na segunda condição a maior elevação do teor de umidade da madeira saturada em decorrência desta característica. A espécie *O. puberula* embora tenha apresentado densidades próximas a das espécies *S. mauritianum* e *Z. rhoifolium* diferiu estatisticamente em relação a resistência e rigidez destas últimas. Outros fatores, além da massa específica, podem afetar o comportamento do material frente ao ensaio mecânico de flexão estática, como o ângulo de inclinação das microfibrilas e grau de cristalinidade das moléculas de celulose, e desvio de grã em função da presença de defeitos em uma região próxima a da amostragem do material avaliado.

Observa-se que os valores encontrados no ensaio mecânico com a espécie *O. puberula* são inferiores aos já descritos para espécies de mesmo gênero como Araújo (2007) que obteve valores de 118,14 N/mm² (MOR) e 13.206,33 N/mm² (MOE) em madeira com densidade básica de 590 kg/m³ e por Dias e Lahr (2004) que encontraram valores de 85 N/mm² (MOR) e quase o dobro para o MOE (13.556 N/mm²) para madeira com densidade aparente a 12% de 680 kg/m³.

Com relação à madeira de *S. mauritianum* e espécies de mesmo gênero, os estudos de avaliação mecânica ainda são escassos, o que dificultou a comparação dos parâmetros mecânicos avaliados. No entanto observa-se que a madeira de *S. mauritianum* apresentou rigidez e resistência próximas daquela registrada por Haselein *et al.* (2002) para *Eucalyptus saligna* de densidade aparente a 12% de 435 kg/m³, cujos valores foram respectivamente 9.267,28 N/mm² e 72,14 N/mm², o que destaca a importância da investigação realizada no presente estudo como forma de maior valorização de espécies nativas.

Para a espécie *S. glanulosum* os valores de MOR para as duas condições de umidade e para a rigidez da madeira saturada foram inferiores ao registrado por Melo *et al.* (2013), que observaram valores de 53,1 N/mm², 36,4 N/mm² e 6.417 N/mm², respectivamente.

Para *Z. rhoifolium* os dados de MOR e MOE da madeira climatizada são inferiores ao descrito por Araújo (2007) para a espécie de mesmo gênero *Z. regnelianum*, sendo estes 106,6 N/mm² e 10.787 N/mm², respectivamente.

Na Tabela 3 constam as correlações realizadas entre as propriedades físicas e mecânicas das espécies avaliadas.

Tabela 3. Correlações de Pearson entre as propriedades físicas e mecânicas.

	DA ³	DB	TU	CM	MOE	MOR
DA ¹	1	-	-	-	-	-
DB ²	0,61	1	-	-	-	-
TU	0,87	-0,94	1	-	-	-
CM	-0,52	0,78	-0,73	1	-	-
MOE	-0,33	0,79	-0,62	0,86	1	-
MOR	-0,56	0,87	-0,76	0,97	0,88	1

¹ Correlação considerando a densidade aparente da madeira nas condições de ensaio (climatizada e saturada).

² Correlação considerando o valor da densidade básica calculada apenas pelo lote submetido à saturação. ³ DA= Densidade aparente; DB= Densidade básica; TU= Teor de umidade; CM= Carga máxima; MOE= Módulo de elasticidade; MOR= Módulo de ruptura.

Fonte: Os autores.

Observa-se que as propriedades mecânicas avaliadas em flexão estática (MOE, MOR e CM) quando correlacionadas com o teor de umidade e densidade aparente resultaram em uma correlação inversamente proporcional entre as variáveis, ou seja, com o aumento do teor de umidade houve redução das propriedades mecânicas, conforme já verificado. No entanto a densidade aparente correlacionada sofreu variação relacionada ao acréscimo no teor de umidade do material e não em relação ao aumento de material lenhoso o que justifica o comportamento observado, reforçado pela alta correlação positiva (0,87) entre a densidade aparente e o teor de umidade, resultando nesse caso em um efeito contrário ao observado em diversas literaturas, como Lucas Filho (2012), e que, da mesma forma que no presente estudo, também observou uma maior correlação entre o MOR com o teor de umidade.

A correlação foi positiva entre as variáveis de resistência, rigidez e carga máxima com a densidade básica, pelo fato que no cálculo desta última, não é considerado o teor de umidade. A alta correlação negativa (-0,94) entre a densidade básica e o teor de umidade é um indicativo de que o aumento da densidade básica do material conduz a uma redução do teor de umidade máximo da madeira em função de sua menor porosidade. Esse fato justifica a menor redução das propriedades avaliadas entre a condição climatizada e saturada para a madeira de *Z. rhoifolium* que mostrou-se mais densa dentre às demais.

■ CONCLUSÃO

A densidade básica determinada permite classificar as madeiras de *O. puberula*, *S. mauritanum*, e *S. glandulosum* como de baixa densidade e a madeira da espécie *Z. rhoifolium* como de densidade média.

Observa-se para todas as espécies avaliadas o acréscimo significativo nas propriedades de resistência e rigidez com a redução do teor de umidade, o que reflete o grau de importância da secagem no incremento das propriedades mecânicas da madeira.

A redução do teor de umidade sobre a rigidez favoreceu em magnitude a madeira da espécie *S. glanulosum*, seguida da espécie *O. puberula*, *S. mauritianum* e *Z. rhoifolium*. Já em relação ao MOR esse acréscimo foi observado em maior proporção para a madeira de *O. puberula*, seguida das madeiras de *S. glanulosum*, *S. mauritianum* e *Z. rhoifolium*.

■ REFERÊNCIAS

1. ARAÚJO, H. J. B. de. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, p.399 – 416, 2007. doi: 10.5380/ rf.v37i3.9937
2. CARVALHO, P. E. R. Canela Guaicá. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2002. (Circular Técnica, 62). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42000/1/CT0062.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.
3. COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **COPANT 555**: Método de Ensayo de Flexión Estática. Buenos Aires: COPANT, 1973.
4. CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro - Região Sul**. Brasília, DF: MMA, 2011. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade/fauna-e-flora/Regiao_Sul.pdf. Acesso em: 22 nov. 2021.
5. DANIELLI, D. Densidade da madeira e potencial dendrocronológico de espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2017.
6. DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 102 –113, 2004.
7. FANTINI, A. D.; SIMINSKI, A. Manejo de florestas secundárias da Mata Atlântica para produção de madeira: possível e desejável. **RBPG**, Brasília, v.13, n.32, p. 673 – 698, 2016. doi: 10.21713/2358-2332.2016.v13.1013
8. HASELEIN, C. R.; BERGER, R.; GOULART, M.; STHAL, J.; TREVISAN, R.; SANTINI, E.; LOPES, M. de C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147 – 152, 2002. doi: 10.5902/198050981689
9. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE. List of microscope features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Netherlands, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219 – 332, 1989. doi: 10.1163/22941932-90000496
10. LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1992.
11. LUCAS FILHO, F.C. Efeito combinado do teor de umidade e da massa específica na resistência e rigidez da madeira de *Pinus elliottii*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 519 – 526, 2012. doi: 10.5380/rf.v42i3.16973

12. MELO, R. R.; ARALDI, D. B., STANGERLIN, D. M., MÜLLER, M. T. GATTO, D. A. Uso das características tecnológicas da madeira para o agrupamento de espécies florestais. *Nativa*, Sinop, v. 1, n. 1, p. 1 – 7, 2013. doi: 10.31413/nativa.v1i1.1328
13. MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M. da; TRUGILHO, P. F.; LOPES, G. de A. Anatomia e características físico-químicas da madeira de *Zanthoxylum tingoassuiba* St. Hil. de ocorrência na região de Lavras/MG. **Cerne**, Lavras, MG, v. 5, n.1, p. 15 – 23, 1999.
14. MIRANDA, M. C. de; CASTELO, P. A. R.; MIRANDA, D. L. C. de; RONDON, E. V. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 3, n. 02, p. 55 – 65, 2012. doi: 10.12953/2177-6830.v03n02a09
15. OLIVEIRA, G. M. V. Densidade da madeira em Minas Gerais: amostragem, espacialização e relação com variáveis ambientais. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, 2014.
16. PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P.; MASSIGNAN, A. M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM.
17. PEREIRA, I. M.; PAIM NETO, J. R. Caracterização Anatômica Da Madeira De Lobeira (*Solanum Lycocarpum* A. St. Hil.). **Revista de Biotecnologia & Ciência**, Anápolis -GO, v. 2, n. 1, p. 47 – 61, 2012.
18. PERTUZZATTI, A., CONTE, B., MISSIO, A. L., GATTO, D. A., HASELEIN, C. R., SANTINI, E. J. Influência da umidade na resistência da madeira de eucalipto a impactos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, p. 1 – 6, 2017. doi: 10.1590/2179-8087.092514
19. VITORIO, L. A. P. Densidade da Madeira de Espécies da Caatinga. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande –PB, 2013.
20. VIVIAN, M. A.; MODES, K. S.; BELTRAME, R.; MORAIS, W. W. C.; SOUZA, J. T. de; MACHADO, W. G.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. Resistência da madeira de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) ao PSF e a umidade de equilíbrio. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 01, p. 11 – 24, 2010. doi: 10.12953/2177-6830.v01n01a02

Relação entre densidade básica e resistência à flexão estática das madeiras de três espécies nativas do cerrado

| Josefa Andressa da Silva Miranda
UFT

| Jessica Viana Ferreira
UFT

| Raquel Marchesan
UFT

| André Orathes do Rêgo Barros
Unopar

| Meire Cirqueira Santos
UFT

| André Ferreira dos Santos
UFT

| Renata Carvalho da Silva
UFPR

| Rodrigo Araújo Fortes
IFTO

| Mateus Almeida Silva
UFT

| Morgana Cristina França
UFPR

RESUMO

Objetivo: O objetivo do trabalho foi determinar a correlação entre densidade básica, resistência e rigidez à flexão estática nas madeiras de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All (aroeira), *Eugenia dysenterica* DC (cagaita) e *Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) (ipê-branco).

Metodologia: A madeira utilizada foi oriunda de floresta nativa do Cerrado, onde foram confeccionados dez corpos de provas para cada espécie estudada obtendo-se a densidade básica, determinada pelo método da balança hidrostática, enquanto as resistências e rigidez à flexão estática foram determinadas conforme a norma COPANT 555 (1972), através do teste de flexão estática realizados em uma máquina universal de ensaios com sistema de aquisição de dados automatizados. **Resultados:** Houve diferença significativa na densidade entre as três espécies, sendo a *Myracrodruon urundeuva* com maior média ($0,882 \text{ g.cm}^{-3}$) e a *Tabebuia roseo-alba* com menor média ($0,581 \text{ g.cm}^{-3}$). Para o módulo de ruptura (MOR) à flexão estática também houve diferença significativa, sendo que a *Myracrodruon urundeuva* apresentou maior resistência (144,94 MPa) e a *Tabebuia roseo-alba* mostrou-se menos resistente (112,35 MPa). Para o módulo de elasticidade (MOE), as espécies *Myracrodruon urundeuva* e *Eugenia dysenterica* mostraram-se iguais estatisticamente (12493,56 e 12177,64 MPa) enquanto que a *Tabebuia roseo-alba* apresentou menor rigidez (10810 MPa). **Conclusão:** Conclui-se que a densidade básica apresentou correlação diretamente proporcional à resistência (MOR) e a rigidez (MOE) das espécies estudadas, ou seja, quanto maior a densidade básica, maior foram os valores de MOE e MOR.

Palavras-chave: Aroeira, Cagaita, Ipê-Branco, Propriedades Físicas, Propriedades Mecânicas.

■ INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado está presente em 12 estados da federação, sendo a sua principal concentração no estado do Tocantins, no oeste de Minas Gerais, no sul do Maranhão e no sul do Piauí. Ocupa aproximadamente 204,7 milhões de hectares, segundo maior bioma em extensão territorial brasileira (ROCHA *et al.* 2011), abrigando grande diversidade de espécies, abrangendo mais de 10.000 plantas, muitas dessas com potencial madeireiro compreendendo uma das mais representativas fisionomias vegetais do Brasil depois da floresta Amazônica (AUBERTIN, 2013).

Como neste bioma ainda existem muitas espécies madeireiras com característica desconhecidas, faz-se necessário a avaliação das propriedades da madeira para a determinação do uso correto da madeira, a seleção dos materiais e a qualidade do produto final (CARREIRA *et al.*, 2012). A caracterização mecânica da madeira tem uma importância fundamental para a racionalização do uso de madeira nos mais diversos setores da economia. Estudos com novas espécies ou mesmo com espécies amplamente estudadas ajudam a explicar as propriedades físicas e mecânicas deste material.

A densidade básica da madeira é a relação da massa seca pelo volume da madeira acima do ponto de saturação das fibras (NBR 11941, 2003), possuem três classificações relativas, são essas leves (densidade básica $< 0,50 \text{ g cm}^{-3}$), médias (densidade básica de $0,51$ a $0,72 \text{ g cm}^{-3}$) e pesadas (densidade básica $> 0,73 \text{ g cm}^{-3}$) (IBAMA, 2021). Tal classificação de densidade pode ser utilizada como índice de qualidade, devido à correlação entre a densidade básica e as propriedades mecânicas da madeira.

A resistência a flexão é uma propriedade mecânica a fim de qualificar se uma dada espécie de madeira é resistente a tal ação, ou seja, uma peça de madeira é considerada tenaz quando suporta grande deformação solicitada à flexão ou torção antes de romper-se (STOLF *et al.*, 2015). As análises realizadas quanto à resistência da madeira, em especial a de flexão, são imprescindíveis para avaliação de seu comportamento e seleção de madeiras que resistirão a cargas impostas sobre elas (KLOIBER *et al.*, 2014).

O Cerrado abriga os mais diversos tipos de espécies florestais, abrindo um leque enorme de possibilidades e aplicações das madeiras dessas espécies, entretanto para ter conhecimento dessas aplicações se fazem necessárias análises detalhadas de suas propriedades tecnológicas. Neste sentido o objetivo deste trabalho foi determinar a correlação entre densidade básica, resistência e rigidez à flexão estática de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All (aroeira), *Eugenia dysenterica* DC (cagaita) e *Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) (ipê-branco).

■ MÉTODO

Localização e características da região de coleta da madeira

Para o presente estudo, foram utilizadas madeiras das espécies *Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem (aroeira), *Tabebuia roseo-alba* (ipê-branco) e *Eugenia dysenterica* DC (cagaita), provenientes da vegetação de cerrado sensu stricto, localizada no município de Natividade no estado do Tocantins, com latitude: 12°08'07.3" S e longitude 47°31'55.1"

Amostragem

Para a confecção dos corpos de prova foram selecionadas três árvores de cada espécie de uma área de substituição de uso do solo, ou seja, as mesmas já se encontravam cortadas. Dessas árvores foram traçadas toras no diâmetro a altura do peito (DAP) que variaram de 35 a 60 cm de diâmetro, as quais foram desdobradas primeiramente retirando-se as costaneiras com motosserra ou serra circular, dependendo do diâmetro da tora, para a transformação em blocos. Em seguida transformados em pranchões pré-orientados para facilitar o desdobro na marcenaria e por fim foram confeccionadas amostras com dimensões menores para facilitar a secagem para posterior confecção dos corpos de prova para a determinação da densidade básica e flexão estática.

Densidade básica da madeira

Para a determinação da densidade básica da madeira foram confeccionados dez corpos de provas para cada espécie estudada, corretamente orientados com dimensões de 2,5 cm x 2,5 cm x 5,0 cm (largura x espessura x comprimento, respectivamente).

A densidade básica da madeira foi determinada pelo método da balança hidrostática, baseado na norma ASTM D-2395 (ASTM, 2005). Os corpos de prova foram deixados em água até a saturação total para a determinação do volume úmido. Posteriormente, foram direcionados à estufa para secagem a 0% de umidade a uma temperatura de 103 °C ± 2 °C, até a massa constante. A densidade foi calculada por meio da Equação 1.

$$DB = \frac{PS}{VU} \quad (1)$$

Em que:

DB = densidade básica (g cm⁻³);

PS = peso seco da amostra de madeira (g);

VU = volume úmido (g cm⁻³).

Flexão Estática

Para o teste de flexão estática foram produzidos dez corpos de provas para cada espécie estudada com dimensões de 20 mm x 20 mm x 30 mm (largura x espessura x comprimento) conforme a norma COPANT 555 (1972). Depois de confeccionados os corpos de prova foram mantidos em condicionamento com temperatura ambiente até atingirem 12% de umidade.

O ensaio de flexão estática consistiu em submeter esses corpos de prova a uma carga concentrada até a ruptura, para obtenção dos Módulos de Elasticidade e Módulo de Ruptura. Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios com sistema de aquisição de dados automatizado, com velocidade de ensaio de 1,00 mm/min.

A rigidez da madeira, expressa pelo módulo de elasticidade (MOE), foi determinada pela Equação 2.

$$MOE = \frac{1}{4} \times \frac{(P2 - P1)}{(L2 - L1)} \times \frac{L^3}{b \cdot h^3} \quad (2)$$

Em que:

MOE = módulo de elasticidade (N mm⁻²);

P = carga registrada na zona linear do gráfico “carga x deformação” (N);

L = comprimento do vão entre os apoios (mm);

h = altura da seção transversal do corpo de prova (mm);

b = largura da seção transversal do corpo de prova (mm);

d = deformação correspondente a carga registrada na zona linear do gráfico “carga x deformação” (mm).

A resistência da madeira (MOR) ao esforço de flexão ao longo do comprimento do corpo de prova foi determinada pela Equação 3.

$$MOR = \frac{3}{2} \times \frac{P_{max} \cdot L}{b \cdot h^3} \quad (3)$$

Em que:

MOR = módulo de ruptura (N mm⁻²);

P_{máx} = carga máxima, antes da ruptura (N);

L = comprimento do vão entre os apoios (mm);

h = altura da seção transversal do corpo de prova (mm);

b = largura da seção transversal do corpo de prova (mm).

Análises estatísticas

A análise estatística realizada para os dados de resistência mecânica foi em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em que primeiramente analisou-se a homogeneidade das variâncias, em seguida foi realizado o teste de normalidade de Shapiro Wilk e por fim aplicada a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade. Para a correlação entre as propriedades densidade básica e flexão estática foi utilizado o teste de Correlação de Pearson.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade básica e flexão estática

Na Tabela 1, são apresentados os valores de médios para densidade básica da madeira e flexão estática das espécies estudadas. Observou-se que para o parâmetro densidade básica houve diferença significativa entre as três espécies estudadas, sendo a *Myracrodruon urundeuva* com maior média (0,882 g cm⁻³) e a *Tabebuia roseo-alba* com menor média (0,581 g cm⁻³).

Ao analisar os resultados obtidos do MOR, pode-se observar que também houve diferença significativa entre as três espécies estudadas, em que a *Myracrodruon urundeuva* apresentou maior resistência flexão estática (144,94 MPa) e a *Tabebuia roseo-alba* mostrou-se menos resistente à essa propriedade (112,35 MPa).

Pode-se notar, que para o MOE, as espécies *Myracrodruon urundeuva* e *Eugenia dysenterica* mostraram-se iguais estatisticamente, ambas com maior rigidez (12493,56 e 12177,64 MPa) que a espécie *Tabebuia roseo-alba* (10810 MPa).

Tabela 1. Valores médios de densidade básica (DB), Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) das espécies *Myracrodruon urundeuva*, *Eugenia dysenterica* e *Tabebuia roseo-alba*.

Espécie	DB (g cm ⁻³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,882 a ¹ (1,21) ²	144,94 a (1,55)	12493,56 a (21,01)
<i>Eugenia dysenterica</i>	0,729 b (0,83)	130,88 b (4,05)	12177,64 a (9,73)
<i>Tabebuia roseo-alba</i>	0,581 c (0,78)	112,35 c (2,10)	10810,66 b (7,46)

¹ As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (5%).

² Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

Para indicar as potencialidades de uso da madeira de *Myracrodruon urundeuva*, *Eugenia dysenterica* e *Tabebuia roseo-alba*, foram selecionadas espécies com aplicações na indústria da construção civil, para fins de comparação, indicadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Na Tabela 2 são apresentados os valores médios da densidade básica

da madeira de *Myracrodruon urundeuva*, *Eugenia dysenterica* e *Tabebuia roseo-alba* comparando-as com outras espécies.

Tabela 2. Valores médios de densidade básica da madeira de *Myracrodruon urundeuva*, *Eugenia dysenterica* e *Tabebuia roseo-alba* em comparação com as espécies *Dipteryx odorata*, *Peltogyne spp*, e *Hymenolobium petraeum*.

Espécies	DB ¹ (g cm ⁻³)
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,88
<i>Eugenia dysenterica</i>	0,73
<i>Tabebuia roseo-alba</i>	0,58
<i>Dipteryx odorata</i> ²	0,87
<i>Peltogyne spp</i> ³	0,72
<i>Hymenolobium petraeum</i> ⁴	0,62

¹ DB: densidade básica.

Fonte: ²Zau et al. (2014); ³Ribeiro et al., (2019); ⁴Castro et al. (2015);

Pode-se observar, que o valor de densidade básica da madeira de *Myracrodruon urundeuva*, mostrou-se próximo ao da espécie *Dipteryx odorata*, ambas classificadas como madeiras de alta densidade, sendo superior as demais espécies. Enquanto a madeira de *Tabebuia roseo-alba* foi a que apresentou menor valor médio de densidade básica, mostrando-se próximo ao da espécie *Hymenolobium petraeum*, ambas classificadas como madeira de densidade básica média. A madeira de *Eugenia dysenterica*, embora classificada como de alta densidade básica, ficou mais próxima da espécie do gênero *Peltogyne spp* de densidade básica média.

Segundo Couto *et al.* (2012) a densidade básica pode variar de diversas formas, entre espécies botânicas, entre árvores da mesma espécie e ao longo do fuste da mesma árvore. Os valores médios de densidade básica das espécies estudadas neste trabalho variaram de média a altas, podendo ser indicadas para utilização em estruturas de madeira, dependendo dos resultados de resistência e rigidez.

A Tabela 3 apresenta os valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) da madeira de *Myracrodruon urundeuva*, *Eugenia dysenterica* e *Tabebuia roseo-alba* (espécies estudadas) e de outras espécies usualmente utilizadas na construção civil.

Tabela 3. Valores médios de módulo de ruptura e módulo de elasticidade da madeira de *Myracrodruon urundeuva*, *Eugenia dysenterica* e *Tabebuia roseo-alba* em comparação com as espécies *Dipteryx odorata*, *Peltogyne spp*, e *Hymenolobium petraeum*.

Espécies	Módulo de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	144,94	12493,56
<i>Eugenia dysenterica</i>	130,88	12177,64
<i>Tabebuia roseo-alba</i>	112,35	10810,66
<i>Dipteryx odorata</i> ¹	178,30	18547,00
<i>Peltogyne spp</i> ¹	184,50	17721,00
<i>Hymenolobium petraeum</i> ¹	109,30	11572,00

Nota: MPa: megapascal.

Fonte: ¹IPT (2013).

Pelos valores de resistência à flexão estática expostos na Tabela 3, verificou-se que as espécies *Myracrodruon urundeuva* e *Eugenia dysenterica* apresentaram MOR inferior aos das espécies usadas para comparação, a *Dipteryx odorata* e *Peltogyne* spp, sendo que a *Myracrodruon urundeuva* apresentou maior resistência à flexão estática, dentre as espécies estudadas, apresentando também maior densidade básica. A espécie *Tabebuia roseo-alba* apresentou menor valor de MOR, porém mostrou-se próxima a espécie de comparação *Hymenolobium petraeum*.

Quanto ao módulo de elasticidade (MOE) observa-se que, às espécies que obtiveram maior resistência, apresentaram também maior rigidez. As espécies estudadas apresentaram rigidez próxima à espécie *Hymenolobium petraeum*.

A rigidez expressa pelo módulo de elasticidade é uma variável utilizada para caracterizar as propriedades mecânicas da madeira, e está relacionada à capacidade da peça de se deformar devido à carga aplicada. Pela moderada resistência à flexão e rigidez, as madeiras de *Myracrodruon urundeuva*, *Eugenia dysenterica* e *Tabebuia roseo-alba* atendem os critérios de uso na construção civil leve e pesada, apresentados pelo IPT (2013).

Correlações

Observa-se na Tabela 4 os valores de correlação entre a densidade básica, MOR e MOE. Nota-se que houve alta correlação positiva entre a densidade básica e o MOR e baixa correlação positiva entre a densidade básica e o MOE, indicando que a densidade tem influência direta nas propriedades mecânica da madeira.

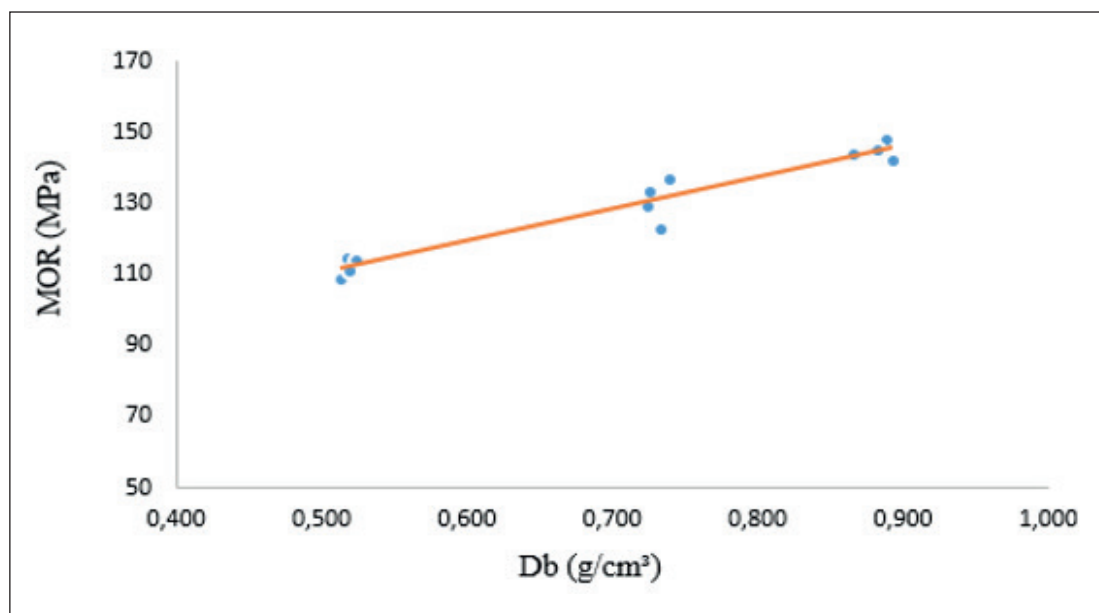
Tabela 4. Correlação entre densidade básica, módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) das espécies *Myracrodruon urundeuva*, *Eugenia dysenterica* e *Tabebuia roseo-alba*.

	MOR ¹ (MPa)	MOE (MPa)	DB (g cm ⁻³)
MOR	1		
MOE	0,312434112	1	
DB	0,966770364	0,393001305	1

¹ MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidade e DB: densidade básica.

Os valores de Módulo de ruptura (MOR) e a densidade básica das espécies estudadas (Tabela 4 e Figura 1) apresentam uma alta correlação positiva, isto indica que quanto maior a densidade básica, maior será a resistência da madeira à flexão estática. Observa-se para a densidade e o módulo de elasticidade (MOE), a correlação apresentou valor positivo, indicando que, quanto maior a densidade básica da madeira maior é sua rigidez, entretanto apresentou um baixo coeficiente de correlação.

Figura 1. Gráfico de correlação entre densidade básica e resistência a flexão estática das espécies *Myracrodruon urundeuva*, *Eugenia dysenterica* e *Tabebuia roseo-alba*.



■ CONCLUSÃO

A madeira de *Myracrodruon urundeuva* e *Eugenia dysenterica* caracterizaram-se como madeira de alta densidade básica, enquanto a espécie *Tabebuia roseo-alba* como madeira de densidade básica média.

As propriedades de flexão estática MOE e MOR apresentam tendência de aumento proporcional ao valor da densidade básica, ou seja, houve correlação positiva entre as propriedades estudadas.

Neste contexto as madeiras de *Myracrodruon urundeuva*, *Eugenia dysenterica* e *Tabebuia roseo-alba* podem ser indicadas para usos que requerem maior resistência mecânica, como em construção civil, construções rurais, pisos e vigas.

■ REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 2003.
2. AUBERTIN, C. O. surgimento do bioma cerrado. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, GO, v. 7, n. 1, 2013.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2395**: standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials. Philadelphia, 2005. 8 p.
4. CASTRO, J. P.; PERÍGOLO, D. M.; BIANCHI, M. L.; MORI, F. A.; FONSECA, A. S; ALVES, I. C. N.; VASCONSELLOS, F. J. Uso de espécies amazônicas para envelhecimento de bebidas destiladas: análises físicas e química da madeira. **Cerne**, Lavras, vol.21, n.2, p. 319 - 327, 2015.

5. CARREIRA, M. R.; SEGUNDINHO, P. G. A.; DIAS, A. A. Determination of the e/g ratio of wood logs using transverse vibration. **Wood Research**, v.57, p.207-220, 2012.
6. COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 555**: Flexão Estática. Copant, 1972.
7. COUTO, A. M.; PROTÁSIO, T. P.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Amostragens longitudinais alternativas para a determinação da densidade básica em clones de *Eucalyptus sp.* **Floresta e Ambiente**, 19(2), 184-1931, 2012.
8. INSTITUO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Banco de dados de madeiras brasileiras**. Disponível em: <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/madeiras-brasileiras>. Acesso em: 01 ago. 2021
9. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Catálogo de Madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo, 2013. 103 p.
10. KLOIBER, M.; TIPPNER, J.; HRIVNÁC, J. Mechanical properties of wood examined by semi-destructive devices. **Materials and structures**, v. 47, n. 1, p. 199-212, 2014.
11. RIBEIRO, E. S.; VARGAS, L. E. P.; DE PAULA, M. H.; CAMPOS, A. N. Propriedades tecnológicas da espécie *Peltogyne confertiflora* (Mart. ex Hayne) Benth. **Biodiversidade**, v.18, nº1, 2019.
12. ROCHA, G. F.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Detecção de desmatamentos no bioma cerrado entre 2002 e 2009. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.63, p. 341-349, 2011.
13. STOLF, D. O.; BERTOLINE, M. S.; ALMEIDA, D. E.; SILVA, D. A. L.; PANZERA, T. H.; CRISTÓFORO, A.L.; LAHR, F. A. R. Influence of growth ring orientation of some wood species to obtain toughness. REM. **Revista da Escola de Minas**, v. 68, p. 265-271, 2015.
14. ZAU, M. D. L.; VASCONSELOS, R. P.; GIACON, V. M.; LAHR, F. A. R. Avaliação das propriedades química, física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com resíduo de madeira da Amazônica – Cumaru (*Dipteryx Odorata*) e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Polímeros**, São Carlos, v. 24, n. 6, p. 726-732, 2014.

Rendimento e geração de subprodutos no desdobro principal de toras com serra fita de três espécies da Amazônia

| **Raquel Marchesan**
UFT

| **Karolayne Ferreira Saraiva**
UFT

| **Jean Marcel Costa Ludke**
UFT

| **Guilherme Henrique Carvalho Vieira**
UFT

| **Meire Cirqueira Santos**
UFT

| **Renata Carvalho da Silva**
UFPR

| **Thatiele Pereira Eufrazio de Moraes**
UFT

| **Pedro Lício Loiola**
UFPR

| **Julia Gabriela Nascimento Mendes**
UFT

| **Morgana Cristina França**

RESUMO

Objetivo: O objetivo deste trabalho foi determinar o rendimento e a geração de subprodutos no desdobro principal de toras para três espécies da Amazônia, *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Y.T Lee Lanenh, *Astronium lecontei* Ducke e *Brosimum rubescens* Taub. **Metodologia:** Os dados utilizados foram obtidos de toras oriundas da Unidade de Manejo Florestal III, FLONA Jamari. As toras foram separadas em classes diamétricas e cubadas individualmente, calculando-se o volume. Após o processo do desdobro principal, as tábuas obtidas, de cada espécie e cada classe diamétrica, foram medidas calculando-se o volume em madeira serrada verde, rendimento em madeira serrada verde e subprodutos. Em seguida, foi realizada a análise estatística utilizando um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial com três espécies e quatro classes diamétricas e análise de variância, com o teste de comparações múltiplas Tukey. **Resultado:** A espécie de melhor rendimento em madeira serrada foi a muirapiranga com 75,26% e menor geração de subprodutos com 24,74%, e a de menor rendimento foi o jatobá com 66,04% e geração de subprodutos de 33,4%. **Conclusão:** A espécie muirapiranga tem maior rendimento em madeira, com um aproveitamento volumétrico e menor geração de subprodutos, enquanto o jatobá tem menor rendimento e a maior geração de subprodutos, ocasionados pela presença de maior número de toras com de apodrecimentos e rachaduras. O valor médio de subprodutos pode ser considerado alto, pois o desdobro principal é o primeiro processo de corte das toras em madeira serrada e as perdas continuarão ocorrendo até o final do desdobro secundário.

Palavras-chave: Aproveitamento, Jatobá, Muiracatiara, Muirapiranga, Resíduos.

■ INTRODUÇÃO

A Amazônia é o maior bioma da América do Sul, uma floresta tropical, com 7 milhões de km² espalhados por nove países – Brasil, Peru, Colômbia, Venezuela, Equador, Bolívia, Guiana, Suriname e Guiana Francesa. No Brasil este bioma pode chegar a ocupar uma área de 4,196 milhões de km², correspondente a mais de 40% do território nacional e é constituída principalmente por uma floresta tropical. A Amazônia passa pelos territórios do Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Roraima, e parte do território do Maranhão, Mato Grosso, Rondônia e Tocantins (IBF, 2019).

Neste bioma crescem 2.500 espécies de árvores (ou um terço de toda a madeira tropical do mundo) e 30 mil espécies de plantas (das 100 mil da América do Sul) estas estimativas situam a região como a maior reserva de madeira tropical do mundo. Toda essa grandeza não esconde sua fragilidade – a floresta vive a partir de seu próprio material orgânico, e os danos causados pela ação antrópica são muitas vezes irreversíveis (MMA, 2019).

O desmatamento, as queimadas, a garimpagem, o agropastoreio e a biopirataria representam os principais problemas ambientais enfrentados pelo bioma amazônico. A Amazônia é o maior abrigo da biodiversidade do mundo. Pesquisas indicam que, além da riqueza de flora já citada, existem cerca de 30 milhões de espécies de animais (IBF, 2019).

Ademais, a riqueza natural da Amazônia se contrapõe dramaticamente aos baixos índices socioeconômicos da região, de baixa densidade demográfica e crescente urbanização. Desta forma, o uso dos recursos florestais é estratégico para o desenvolvimento da região (MMA, 2019). Porém, o uso desses recursos deve ser realizado de maneira racional, onde desde a exploração até o desdobro das toras, o correto manuseio deve ser observado e também as técnicas e cuidados na escolha da matéria-prima, procurando retirar da floresta árvores que garantirão rendimento e produtividade – parâmetros técnicos utilizados em avaliação de serrarias (MARCHESAN, 2012).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI – o volume de madeira serrada tropical embarcado em 2016 atingiu 657.576 m³, com média mensal de embarques de 54.798 m³, mostrando crescimento parecido com o ocorrido no compensado tropical nos últimos três anos, reforçando a recuperação do Brasil como fornecedor de madeira tropical, mas ainda distante dos volumes embarcados há 8 anos quando chegava a 1 milhão de m³/ano. Os principais destinos foram Estados Unidos com 21,1%, Índia, 8,7%, Holanda, 8,4%, China, 8,1 % e Vietnã, 5,6% (ABIMCI, 2017). Deste montante, algumas espécies são amplamente exploradas, como o jatobá, a muiracatiara e a muirapiranga. As mesmas são espécies consideradas de alto valor econômico, podendo chegar ao valor de 1.000 a 2.000 R\$/m³ o preço da madeira serrada bruta. Porém,

muitas vezes não são aproveitadas corretamente na serraria, gerando uma grande perda em forma de resíduos.

O jatobá (*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Y.T Lee Lanenh), pertence à família Fabaceae. A espécie ocorre desde o sul do México até a Bahia. A madeira é de difícil a moderadamente fácil de trabalhar, suas indicações de uso são para construção civil em geral, construções externas (obras hidráulicas, postes e vigas), construções pesadas, carrocerias, vagões, dormentes e móveis, dentre outros (REMADE, 2021).

A muiracatiara (*Astronium lecontei* Ducke), da família Anacardiaceae, ocorre na região Amazônica desde o Acre, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima, Mato Grosso e Maranhão. Possui madeira muito pesada, mas fácil de se trabalhar. A sua madeira é indicada para marcenaria em geral, móveis de luxo, na construção civil, de vigas à assoalho e esquadrias, até cabos de ferramentas (REMADE, 2021).

A muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.), da família Moraceae, é encontrada no Brasil nos estados do Amazonas, Amapá, Pará, Bahia e Ceará, ocorre também no Suriname, Guiana, Guiana Francesa, Panamá, Peru e Venezuela. A madeira é de durabilidade natural altamente resistente a fungos e cupins. É usada na construção civil externa e interna, assoalhos, embarcações, brinquedos e decoração (REMADE, 2021).

Segundo Biasi (2005), o rendimento volumétrico é a relação entre o volume produzido de madeira serrada e o volume utilizado de madeira em forma de tora, expresso em porcentagem (MARCHESAN, 2012). O aproveitamento das toras nas serrarias gira em torno de 45% a 55% para folhosas (ROCHA, 2002). O restante enquadra-se na categoria de subprodutos como pó, serragem, cavacos, cascas, costaneiras, aparas e pontas (MARCHESAN, 2012).

Segundo Vital (2008) a avaliação precisa da forma e da qualidade da tora, bem como a otimização das decisões de corte contribuem grandemente para a maximização do rendimento.

Neste sentido, o trabalho teve como objetivo determinar o rendimento e a geração de subprodutos do desdobro principal de toras com serra fita simples para três espécies da Amazônia, o jatobá (*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Y.T Lee Lanenh), a muiracatiara (*Astronium lecontei* Ducke) e a muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.).

■ MÉTODO

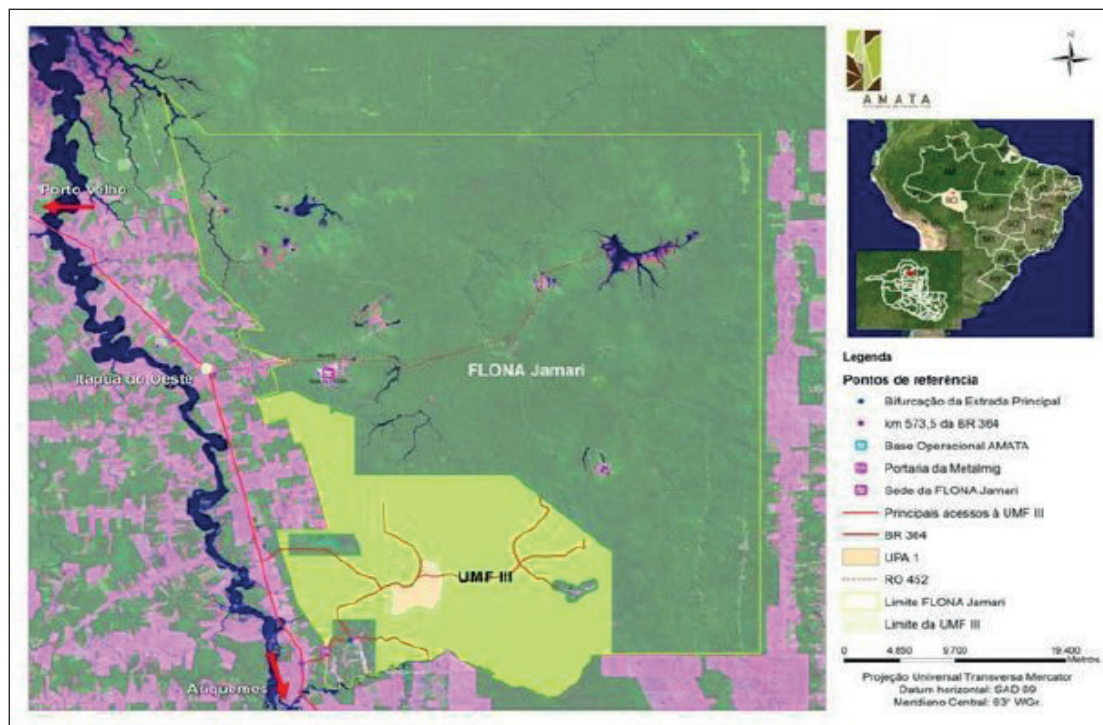
Descrição do local e espécies estudadas

Os dados coletados para este estudo foram obtidos na serraria MADEFLONA Industrial Madeireira Ltda, no município de Itapuã do Oeste, região norte do estado de Rondônia, distante 130 km da capital Porto Velho.

Segundo a classificação climatológica de Köppen, o estado de Rondônia possui um clima do tipo Aw (tropical quente, com estação seca de inverno), com temperatura média anual de 25,2°C, temperatura média do mês mais frio de 23,5°C, temperatura média do mês mais quente de 25,8°C, e com precipitação pluviométrica média anual de 2.400 mm, com regime de precipitação de chuvas periódicas e de pequena a moderada deficiência hídrica (EMBRAPA, 2019).

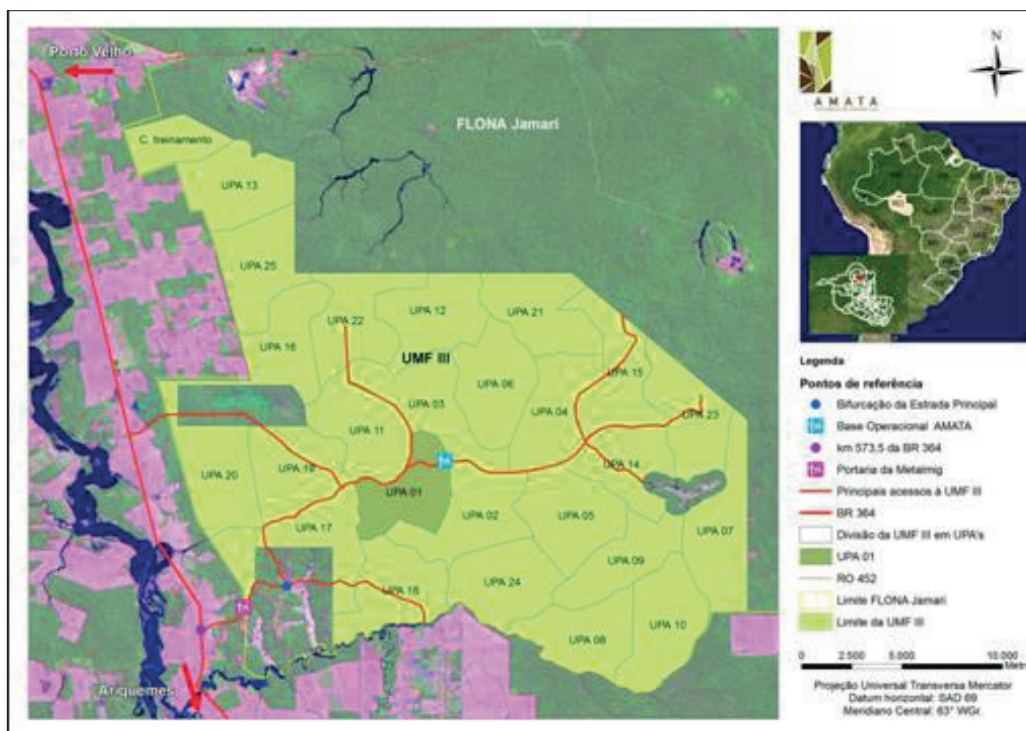
Os dados utilizados para este estudo, foram obtidos de toras oriundas da Unidade de Manejo Florestal III (UMF III), da Floresta Nacional Jamari (FLONA Jamari), situada dentro dos Municípios de Candeias do Jamari, Itapuã do Oeste e Cujubim no estado de Rondônia. Com área total da FLONA de 225.799,75 hectares, foi dividida em três UMFs, sendo a UMF III (Figura 1) de tamanho de 46.184, 253 hectares, dos municípios de Itapuã do Oeste e Cujubim. O ciclo de colheita da unidade de manejo foi definido em 25 anos e foram divididas em 25 Unidades de Produção Anual (UPA) de aproximadamente 1.800 hectares. As espécies utilizadas foram obtidas na UPA 01 (Figura 2).

Figura 1. Localização da UMF III dentro da FLONA Jamari.



Fonte: Plano operacional UPA 01 – AMATA S/A.

Figura 2. Localização da UPA 01 na UMF III.



Fonte: Plano operacional UPA 01 AMATA – S/A.

Descrição da serraria

A serraria é considerada de pequeno a médio porte, devido a sua produção média de 400m³ de madeira serrada/mês. Possui um pátio de toras para a estocagem e dois galpões, um para o maquinário e outro para classificação e separação de subprodutos. O maquinário de desdobro principal é composto de uma serra fita simples, com volante frisado, diâmetro de 1,35m, serra de 1,47 mm de espessura, gerando um corte de 2,8mm de espessura e um carro transportador pneumático (Figura 3).

Figura 3. Desdobro principal em serra fita simples.



Fonte: A autora (2012).

Seleção das toras

As toras foram selecionadas aleatoriamente e separadas por espécie e classe diamétrica, sendo cinco toras para cada classe diamétrica e 4 classes diamétricas para cada espécie, desta forma, um total de 60 toras. Classes diamétricas estas com variações de 35,0 – 50,0 cm (classe 1), de 51,0 – 65,00 cm (classe 2), de 66,0 – 80,0 cm (classe 3) e de 81,0 – 95,0 cm (classe 4).

Determinação do volume das toras

Na determinação do volume das toras, foram selecionadas três medidas de circunferência, na ponta grossa, meio e ponta fina afim de calcular o diâmetro médio. Em seguida foi medido o comprimento de cada tora para completar os dados para o cálculo de volume, posteriormente, foi utilizada a Equação 1.

$$V = [(\pi \times D^2)/400.000] \times C \quad (1)$$

Onde:

V = Volume da tora (m³);

D = Diâmetro médio da tora (cm)

C = Comprimento da tora (m)

Determinação do volume de madeira serrada verde

Para determinar o volume de madeira serrada, após o desdobro principal, ainda sem refilar e destopar, cada tábua foi medida na largura, espessura e comprimento, e, para o cálculo de volume, utilizou-se a Equação 2.

$$VMSi = Lg \times E \times C \quad (2)$$

Onde:

VMSi = Volume individual da tábua (m³)

Lg = Largura nominal da tábua (transformada em m)

E = Espessura nominal da tábua (transformada em m)

C = Comprimento da tábua (m)

Em seguida ao cálculo de volume individual de cada tábua, obteve-se o volume total em madeira serrada, utilizando-se a Equação 3.

$$VMS = \Sigma VMSi \quad (3)$$

Onde:

VMS = Volume total em madeira serrada (m³)

$\sum VMS_i$ = Somatório do volume individual das tabuas (m^3)

Determinação do rendimento em madeira serrada verde

Após a determinação do volume de todas as tábuas oriundas de cada tora, por classe diamétrica, foi possível determinar o rendimento em madeira serrada, utilizando a Equação 4.

$$R\% = (VMS/VT) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

R% = Rendimento em madeira serrada

VMS = Somatório do volume das tábuas (m^3)

VT = Volume total das toras (m^3)

Determinação da porcentagem de subprodutos

Para se obter a quantidade de subprodutos gerados no processo do desdobro principal, primeiro foi calculado o rendimento em madeira serrada R%, então subtraiu-se de 100 (total da tora inteira) esse valor. Desta forma, determinou-se a quantidade de matéria-prima perdida no processo de desdobro principal na forma de costaneiras, serragem, pó de serra e tábuas com defeitos acentuados (ataque de brocas e podridão) (Figura 5) (Equação 5).

$$S\% = 100 - R\% \quad (5)$$

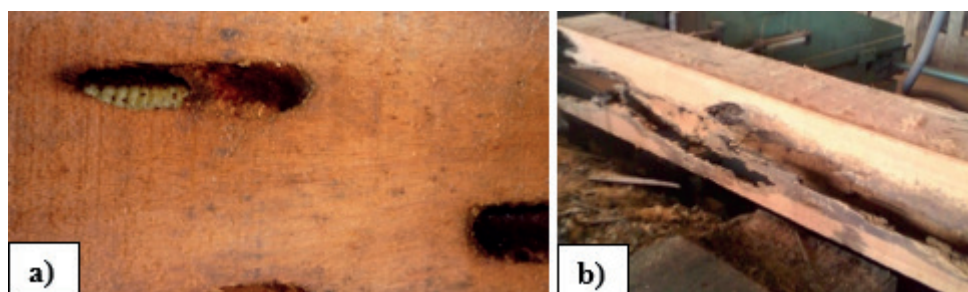
Onde:

S% = Subprodutos gerados no processo

R% = Rendimento em madeira serrada

100 = % total da tora inteira

Figura 4. Subprodutos gerados no desdobro principal: a) Madeira de muiracatiara atacada por “brocas”; b) Madeira de jatobá com podridão ou oco.



Fonte: A autora (2012).

Análise estatística

Para a análise dos resultados foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) no esquema fatorial 3 x 4 em que foram analisados os fatores: espécie (3) e classe diamétrica (4), a interação entre os fatores sobre o rendimento em madeira serrada e a geração de subprodutos. Primeiramente foi testada a homogeneidade de variâncias, constatada a normalidade, foi realizado a análise das variâncias (ANOVA) e, detectada a diferença entre os tratamentos, fez-se o teste de comparações múltiplas de Tukey, ao nível de 5% probabilidade.

Os resultados estatísticos foram obtidos através dos softwares Statgraphics para verificação da normalidade dos dados, e o SISVAR 5.6 para a ANOVA e para o teste de Tukey. Para a organização dos dados e cálculo do Coeficiente de Variação (CV%), foi utilizado o software Excel, ferramenta do pacote Office.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 1 que houve interação entre os fatores Espécie e Classe Diamétrica, havendo diferença estatística significativa ao nível de 5% de probabilidade dentro das espécies entre as classes diamétricas e dentro das classes diamétricas entre as espécies, tanto para o rendimento em madeira serrada como para a geração de subprodutos.

Tabela 1. Valores médios de Rendimentos e Subprodutos por espécies e classes diamétricas.

Classes diamétricas (cm)						
Parâmetros	Espécie	Classe 1 (35-50)	Classe 2 (51-65)	Classe 3 (66-80)	Classe 4 (81-95)	Média da espécie (cm)
Rendimento (%)	Jatobá	68,57 bB ¹	59,96 cD	64,68 cC	70,96 cA	66,04
	Muiracatiara	61,65 cD	68,25 bC	72,57 bB	74,63 aA	69,28
	Muirapiranga	75,89 aA	75,72 aA	76,39 aA	73,04 bB	75,26
Média da classe		68,7	67,98	71,21	72,88	-
CV%				1,46		
F				418,62*		
Subproduto (%)	Jatobá	31,42 bC	40,04 aA	35,32 aB	29,04 aD	33,96
	Muiracatiara	38,35 aA	31,74 bB	27,43 bC	25,37 cD	30,72
	Muirapiranga	24,11 cB	24,27 cB	23,61 cB	26,96 bA	24,74
Média da classe		31,29	32,02	28,79	27,12	-
CV%				3,43		
F				418,62*		

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente (Teste de Tukey - P \geq 0,05). CV%: coeficiente de variação (%). * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação às espécies estudadas, o jatobá apresentou menor rendimento médio (66,04%) e maior geração de subproduto (33,96%) no desdobro principal. Nota-se na Tabela

1 que para o jatobá houve um aumento de rendimento e diminuição de geração de subprodutos de acordo com o aumento da classe diamétrica, exceto para a classe 2 em que houve um decréscimo no rendimento, sendo a classe 4 (81 a 95 cm) a de melhor performance para obtenção de madeira serrada. O menor rendimento obtido no desdobro da espécie jatobá pode ser justificado pela presença de toras com apodrecimento (oco na região da medula) (Figura 4b.).

A espécie muiracatiara apresentou valor intermediário de rendimento (69,28%) e geração de subprodutos (30,72%) em comparação às espécies jatobá e muirapiranga, apresentando a mesma tendência de incremento de rendimento de acordo com o aumento da classe diamétrica, sendo a classe 1 com menor rendimento e maior geração de subprodutos e a classe 4 com maior rendimento e menor geração de subprodutos (Tabela 1). A justificativa para o menor rendimento em comparação com a espécie muirapiranga foi, principalmente, pelo fato de a espécie ser suscetível ao ataque severo de brocas no tempo de armazenamento no pátio de toras. Essa característica acabou afetando o rendimento logo no desdobro principal, pois muitas já foram desclassificadas antes de passarem para o processamento secundário (refilo e destopo) (Figura 4a.).

A muirapiranga, dentre às três espécies estudadas, foi a que demonstrou maiores médias de rendimento (75,26%) e menor geração de subprodutos (24,74%). Porém, houve uma tendência de aumento de rendimento da classe diamétrica 1 até a classe diamétrica 3, havendo uma queda na classe diamétrica 4, devido a presença de apodrecimento (oco) nas toras de maior diâmetro.

Para Rocha (2000) é comum as toras de menores diâmetros apresentarem rendimento mais baixo, devido a fatores como por exemplo a maior conicidade, gerando maiores perdas em de madeira na forma de costaneiras não úteis.

Danielli (2013), não encontrou diferença significativa de rendimento total, para classes de 30 cm, até maiores de 80 cm para a espécie *Manilkara* spp. (maçaranduba), obtendo um rendimento médio de 30,1%. O Autor observou comportamento de aumento do rendimento da classe de menor para a de maior diâmetro, o que ocorreu com a espécie muiracatiara neste estudo.

De acordo com Garcia *et al.* (2012), para o rendimento do desdobro de *Couratari guianensis* (tauari), a qualidade das toras influenciou significativamente no rendimento, e para espécie *Mezilaurus itauba* (itaúba), não houve interferência significativa.

Em relação aos subprodutos gerados no desdobro, de acordo com Hartmann (2017), a concentração de grandes quantidades em um local pode causar danos ambientais. No entanto, adotar práticas de reaproveitamento além de estar de acordo com a lei, proporciona

diversas oportunidades de reciclagem, sendo a melhor maneira utilizar os subprodutos, incorporando-os na produção.

Para Jara (1998) a geração de subprodutos está diretamente ligada aos seguintes fatores: falta de qualidade da matéria-prima; ausência de medidas que mantenham a qualidade da matéria-prima (proteção das toras); adoção de técnicas menos apuradas de desdobro; escolha incorreta das ferramentas de corte; adoção de velocidade de corte incorreta; adoção equivocadas dos operadores das serras de desdobro.

O valor estabelecido pelo CONAMA na resolução nº411, de 6 de maio de 2009 (CONAMA, 2009) para o rendimento em madeira serrada de espécies nativas é acima de 45% de Coeficiente de Rendimento Volumétrico (CRV) e abaixo de 55% para a geração de subprodutos. A média de subprodutos encontrada neste estudo pode ser considerada alta, levando em consideração que ainda haverá perdas no destopo, refilo e na classificação final da madeira, podendo atingir valores acima de 60% em subprodutos.

Para amenizar o impacto negativo ao meio ambiente, a compostagem é uma alternativa, sendo muito eficiente para tratar de resíduos lignocelulósicos, como os gerados na serraria (sobras de destopo e refilo, serragem, maravalha, pó de serra, e os descartes de tabuas de baixa qualidade também). Podendo ser utilizado no manejo do solo, recuperando-o e diminuindo os riscos de erosão e desertificação. Quando associado a fertilizantes químicos inorgânicos, o húmus serve como fertilizante de liberação controlada, o que resulta em economia de recursos (REMADE, 2005). Outra solução para o reaproveitamento desses resíduos é a queima para a geração de energia e também a produção de produtos de maior valor agregado. Porém, essa destinação dependerá da demanda por esses produtos (MARCHESAN, 2019).

■ CONCLUSÃO

A espécie muirapiranga apresentou o maior rendimento, com maior aproveitamento e menor geração de subprodutos, enquanto o jatobá obteve o menor rendimento e a maior geração de subprodutos ocasionados pela presença de maior número de toras com de apodrecimentos e rachaduras.

A espécie muiracatiara foi a única a apresentar o comportamento padrão de aproveitamento crescente da classe 1 para a classe 4 (menor diâmetro para maior diâmetro), porém obteve valor intermediário de rendimento, devido ao ataque severo de brocas ainda no pátio.

O valor médio de subprodutos obtido pode ser considerado alto, pois o desdobro principal é o primeiro processo de corte da madeira, desta forma, as perdas continuarão ocorrendo até o final do desdobro secundário podendo ultrapassar o limite estipulado pelo CONAMA de 55% de perdas e 45% de rendimento final.

■ REFERÊNCIAS

1. ABIMCI – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Notícias**. Disponível em: <<https://abimci.com.br/2017/01/10/industria-de-madeira-exportou-volume-maior-mas-faturou-menos/>>, Acesso em 15/11/2021.
2. BIASI, C. P. **Rendimento em madeira serrada, geração de resíduos e eficiência no desdobro de três espécies tropicais**. Curitiba – PR, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná.
3. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº411, de 06 de maio de 2009**.
4. DANIELLI, F. E. **Modelagem do rendimento no desdobro de toras de Manilkara spp. (SAPOTACEAE) em serraria na nova fronteira madeireira do estado de Roraima, Brasil**. Manaus – AM, 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas tropicais) – INPA.
5. EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **AGEITEC Agencia Embrapa de informação tecnológica**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/especies_arboreas_brasileiras/arvore/CONT000fuvfsv3x02wyiv80166sqfi5balq6.html>, Acesso em 15/11/2021
6. GARCIA, F. M.; MANFIO, D. R.; SANSÍGOLO, C. A.; MAGALHÃES, P. A. D. **Rendimento no desdobro de toras de itaúba (Mezilaurus itauba) e tauari (Couratari guianensis) segundo a classificação da qualidade da tora**. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 19, n. 4 p. 468-474, 2012. DOI: 10.4322/loram.2012.059.
7. JARA, E. R. P. (1987) **A geração de resíduos pelas serrarias**. São Paulo, SP. Boletim Técnico ABPM, n. 59, 1998.
8. IBF – INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. **Bioma Amazônico**. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/bioma-amazonico>>, Acesso em 15/11/2019.
9. MARCHESAN, R. **Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais**. Curitiba – PR, 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – UFPR.
10. MMA – MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Biomass, Amazônia**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/biomass/amaz%C3%B4nia.html>>, Acesso em 15/11/2019.
11. REMADE – REVISTA DA MADEIRA. **Aproveitamento de resíduo florestal para húmus**. Edição nº 89, abril de 2005.
12. REMADE – REVISTA DA MADEIRA. **Madeiras brasileiras e exóticas: Jatobá**. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/189/madeiras-brasileiras-e-exoticas/jatoba?q=muirapiranga>>, Acesso em: 02/11/2021.
13. REMADE – REVISTA DA MADEIRA. **Madeiras brasileiras e exóticas: Muiracatiara**. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/215/madeiras-brasileiras-e-exoticas/muiracatiara>>, Acesso em 02/11/2021.
14. REMADE – REVISTA DA MADEIRA. **Madeiras brasileiras e exóticas: Muirapiranga**. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/209/madeiras-brasileiras-e-exoticas/muirapiranga>>, Acesso em 02/11/2021.

15. ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. Tese – Doutorado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000. 185p.
16. ROCHA, M. P. Técnicas de planejamento em serrarias. Série didática FUPEF. Curitiba, n. 01/02, 121 p., 2002.
17. VITAL, B. R. **Planejamento e operação de serrarias**. Viçosa: UFV; 2008. 211 p.

Coeficiente de rendimento volumétrico de três espécies florestais da Amazônia

| **Felipe Susin**
UNEMAT

| **Jullielly Virginia de Lima Rossetto**
UNEMAT

| **Wescley Viana Evangelista**
UNEMAT

| **Laura Araujo Sanches**
UFMT

RESUMO

Objetivo: O presente trabalho foi desenvolvido junto a uma serraria no norte de Mato Grosso e teve como objetivo determinar o coeficiente de rendimento volumétrico de três espécies florestais da Amazônia, maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) A.Chev.), cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.) e cambará (*Qualea paraensis* Ducke), visto que as mesmas apresentam volume relevante no comércio de madeiras na região. **Método:** Foram mensuradas 10 toras de cada espécie de forma aleatória, provenientes de um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS). As toras passaram pelo desdobro primário em serra fita horizontal, em sequência foram desdobradas em serra circular alinhadeira, eliminando as costaneiras e dando forma as peças em relação a espessura e largura das mesmas. Em seguida, passaram para a serra circular destopadeira, onde foi realizado o destopo das extremidades sempre que necessário. Para a avaliação deste estudo as toras foram quantificadas em volume de tora (VT), volume de madeira serrada (VMS), resíduos, até obter o coeficiente de rendimento volumétrico (CRV). Na mensuração das toras e posteriormente a mensuração das madeiras serradas, os dados foram processados em planilha Excel, assim podendo obter como resultado deste estudo, o rendimento de madeira serrada das três espécies estudadas. **Resultados:** As toras de cambará apresentaram o maior valor de CRV, igual a 54,90%, seguido pela cupiúba, cujo CRV foi de 54,26%, enquanto que as toras utilizadas no estudo da madeira de maçaranduba apresentam CRV médio de 52,97%. **Conclusão:** As três espécies apresentaram CRV similar para as toras amostradas, de modo que o diâmetro médio não apresentou relação direta com o rendimento.

Palavras-chave: Rendimento de Madeira Serrada, Desdobro da Madeira, Resíduos Madeireiros.

■ INTRODUÇÃO

A madeira é um dos principais materiais utilizados pela humanidade, desde lenha para o aquecimento, cozimento de alimento e proteção, embarcações, veículos tracionados por animais, casas, entre outros. Em muitas ocasiões na história, a madeira teve grande importância no desenvolvimento e grande relevância como principal combustível na Revolução Industrial, sendo imprescindível até os dias atuais como matéria prima para produtos do cotidiano.

O rendimento da madeira serrada é a relação entre o volume que a madeira serrada produz e o volume das toras antes do desdobro primário, valores expressos em porcentagem (ROCHA, 2002). No desdobro de toras no produto final, o aumento do coeficiente de rendimento da madeira serrada influenciará positivamente na redução de área de floresta necessária para a produção de um mesmo volume de madeira serrada (GERWING *et al.*, 2001). É necessário o levantamento de informações referentes ao rendimento de madeira serrada e quantificar os subprodutos, para melhor aproveitamento de espécies com importância econômica na indústria madeireira (BIASI, 2005). A obtenção desse tipo de informação leva de modo direto à conservação dos recursos naturais pelo beneficiamento racional e lógico da matéria prima das florestas nativas, sendo essa tecnologia fator crucial para o desenvolvimento da atividade madeireira (GERWING *et al.*, 2001).

Da madeira que é beneficiada da Amazônia, 80% do seu volume provem de pequenas empresas com baixo padrão tecnológico, implicando em aproveitamento aquém do desejado, gerando produto beneficiado primariamente apenas, que acaba não agregando muito valor ao produto final (BIASI; ROCHA, 2007).

A resolução nº 484, de 22 de março de 2018 do CONAMA, que regulamenta a conversão de produtos florestais por meio do processamento industrial ou processo semi-mecanizado. O artigo 6º, § 1º estabelece que, quando determinado empreendimento optar pela migração do coeficiente de rendimento volumétrico (CRV) de espécies individuais para grupo de espécies, os estudos apresentados necessitem de adequação ou complementação. O órgão ambiental competente poderá acolher ou determinar a realização de estudos complementares, no prazo de até 36 meses da apresentação dos estudos de que tratam o caput. E § 2º, que para empreendimentos novos, os estudos técnicos por grupo de espécies considerarão as já processadas, devendo o critério de amostragem de 50%+1, observar o número total de espécies previsto para ser processado nos primeiros 12 meses de funcionamento do empreendimento. No artigo 7º, § 4º, após a apresentação dos estudos técnicos para mudança do CRV, o órgão ambiental competente fará a análise prévia a fim de constatar sua adequação (CONAMA, 2018).

Na Resolução do CONAMA de nº 476, de 06 de abril de 2016, de acordo com o artigo 3º anexo II o coeficiente de rendimento volumétrico na presente Resolução, é de 35%

para a conversão de tora e torete para madeira serrada, devendo o empreendedor informar acerca da disponibilidade de toras para a inspeção industrial nos 180 (cento e oitenta dias) seguintes após a aprovação prévia dos estudos, para fins de análise do índice requerido, podendo este prazo ser prorrogado uma única vez, a critério do órgão ambiental competente, mediante decisão motivada (CONAMA, 2016).

Assim é importante que a indústria invista em tecnologia, informação e capacitação de operadores, de modo que, a realização de estudos para obter informações relativas ao CRV das madeiras desdobradas configura-se como uma ferramenta para otimizar o aproveitamento da madeira. De modo geral, os conhecimentos gerados sobre as espécies da Amazônia ainda são restritos, especialmente no que diz respeito a estudos sobre suas potencialidades econômicas, técnicas de desdobro, rendimento, especialmente sobre madeiras serradas. Os estudos e esforços para promover uma melhoria e um avanço nas pesquisas dentro da área do rendimento volumétrico da madeira apresenta grande importância para a quantificação da madeira serrada e para as necessidades da geração de dados que são úteis tanto no setor produtivo quanto para fins de fiscalização.

O coeficiente de rendimento volumétrico (CRV) da madeira serrada, deve suprir a necessidade de dados, por parte do setor de transformação em que se insere o setor madeireiro, contribuindo para a melhoria no aproveitamento no desdobro das espécies tratadas que possuem grande importância econômica para o estado de Mato Grosso. O objetivo geral do presente trabalho foi determinar o coeficiente de rendimento volumétrico (CRV) no processo do desdobro de toras de três espécies florestais da Amazônia.

■ MÉTODO

Neste presente estudo foram estudadas as madeiras de maçaranduba, cupiúba e cambará que foram desdobradas em serra fita do tipo horizontal, sendo que as mesmas foram desdobradas de acordo com sequência de processamento da indústria, sem um diagrama ou plano de corte pré estabelecido.

O maquinário da indústria que foi utilizado foi o carro porta-tora junto a serra fita horizontal com potência de 50 hp, serra circular alinhadeira, serra circular destopadeira, sala de afiação para as serras. Tais equipamentos se encontravam dentro de um barracão com cobertura para proteção de intemperes, de modo que a indústria conta com 10 colaboradores com experiência para os serviços especializados. Além desses maquinários também foi utilizado um trator tipo pá carregadeira, que levava as toras até a plataforma do carro porta-tora.

A matéria prima foi oriunda de plano de manejo florestal sustentável, de modo que a empresa onde as toras foram desdobradas apresenta processamento médio mensal de 440 m³ de madeira em tora, resultando em madeira serrada ao volume de 242 m³. A indústria

intensifica sua atuação em algumas espécies florestais, como cupiúba, cambará, tauari, angelim-pedra, rosinha, jatobá, maçaranduba, garapeira, entre outras.

Qualidade da tora

As toras foram avaliadas quanto a qualidade visto que, de acordo com Vital (2008) os defeitos podem influenciar na eficiência e rendimento do desdobro das toras.

As avaliações da qualidade da tora foram consideradas os seguintes requisitos: conicidade, achatamento, encurvamento, tronco sulcado, rachaduras diamétricas e defeito do cerne. Cada defeito foi medido na sua intensidade e classificado conforme a Norma para Medição e Classificação de Toras de Madeiras de Folhosas (IBDF, 1984).

Determinação do coeficiente de rendimento volumétrico

As toras passaram pelo desdobro primário em serra fita horizontal, adotando o sistema de corte tangencial. Após a fixação da tora e retirada da primeira costaneira, as tábuas foram extraídas paralelamente, uma após a outra, até a proximidade da medula, que é descartada. Em seguida, a tora foi girada, tendo a outra metade processada do mesmo modo. Após a tora foi tombada, ou girada por meio de um mecanismo com um gancho, a partir desse giro foi gerado semi-blocos, a tora passou a ser cortada no sentido radial, com dois planos perpendiculares que permitem que os anéis de crescimento mantenham um ângulo de 90° em relação as faces das tabuas que foram cortadas.

Em seguida as peças passaram por uma serra circular denominada de alinhadeira (canteadeira ou refiladeira), onde a largura das peças é definida de acordo com o mercado consumidor.

Conforme as toras eram serradas na serra fita horizontal, obtinha-se pranchões, que, passavam por uma serra fita circular alinhadeira, onde eram pré-estabelecidas as medidas como largura e espessura das peças, em seguida passaram pela serra circular destopadeira, retirando as extremidades quando houvesse necessidade, assim se estabelecia o comprimento de cada peça.

Após esse processo as peças foram passadas em uma serra circular destopadeira, onde se realizou o destopo das peças, retirando as extremidades, defeitos como rachaduras ou podridões que não são aceitos. Além disso, esta etapa visa padronizar o comprimento das peças, que variou de 2 a 7 metros, dependendo do tamanho da tora que foi desdobrada. Após o desdobro as peças eram gradeadas e secas ao ar livre, e aquelas peças sob encomenda já eram empacotadas e carregadas no caminhão. Os resíduos provenientes do desdobro de toras são comercializados na forma de lenha para o comércio local.

Para a determinação do volume das toras serradas, foi mensurada a tora em relação ao comprimento da mesma, foi efetuado a medição das duas extremidades da tora, utilizou-se a Equação 1.

$$VT = 0,7854 * (D)^2 * L \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

VT = volume da tora (m³);

Đ = média dos diâmetros (cm);

L = comprimento da tora (m).

Para o cálculo do volume em madeira serrada, foram obtidas todas as dimensões de blocos, pranchão, pranchas, vigas, vigotas, caibros, tábuas, sarrafos e ripas (Figura 2) nas suas respectivas espessuras, larguras e comprimentos. O volume de madeira serrada foi obtido pela Equação 2.

$$VMS = E * L * C \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

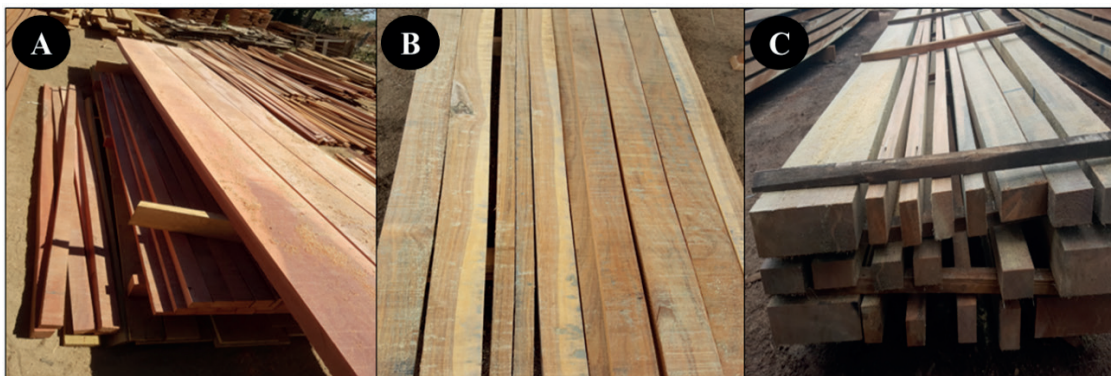
VMS = volume da madeira serrada (m³);

E = espessura (cm);

L = largura (cm);

C = comprimento (m).

Figura 1. Peças das espécies maçaranduba (A), cupiúba (B) e cambará (C).



Fonte: o autor (2021).

Para a obtenção do rendimento volumétrico, utilizou-se a Equação 3.

$$R\% = \frac{VMS}{VT} * 100 \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

R = rendimento (%);

VMS = volume madeira serrada (m³);

VT= volume da tora (m^3).

Processamento mecânico das espécies

Foram processadas um total de 30 toras, sendo 10 toras de maçaranduba, 10 toras de cupiúba e 10 toras de cambará (Figura 3). As bitolas, espessuras e comprimentos foram estabelecidas de acordo com a demanda e necessidade do mercado consumidor, ou encomendas pontuais.

Figura 2. Processamento em serra fita horizontal, maçaranduba (A), cupiúba (B) e cambará (C).



Fonte: o autor (2021).

As toras foram serradas uma a uma, como o processamento da tora foi feita em serra fita horizontal, não houve acúmulos de peças durante o processamento pois o tempo demandado pelo equipamento é superior a uma serra fita do tipo vertical. Dependendo da densidade da madeira, o tempo aumenta, como a espécie maçaranduba é considerada uma madeira de alta densidade, esse tempo variou de 22 a 26 minutos. Complementarmente havia também um intervalo de 2 a 3 minutos para a troca de serra fita, por conta do desgaste da mesma, por a espécie apresentar dificuldade para ser desdobrada.

Na indústria onde foi realizado o estudo, peças menores que 2 metros e que apresentavam podridões e rachaduras, eram empilhadas e feitos pacotes, vendidos na forma de lenha.

Sabe-se que algumas espécies apresentam mais defeitos em relação as outras, isso depende das condições que se encontra a matéria prima. As toras de maçaranduba apresentaram boa representação da realidade padrão de toras que chegam dos manejos, assim podendo obter um resultado de representativo para a espécie (Figura 4). Na espécie da

cupiúba, o oco na medula é um defeito característico da espécie, estando presente na maioria das toras (Figura 4). Para a espécie cambará, as toras mensuradas não apresentaram defeitos significativos (Figura 4).

Figura 3. Defeitos apresentados nas espécies maçaranduba (A), cupiúba (B) e cambará (C).



Fonte: o autor (2021).

Foi realizada a estatística baseada em teste de comparação entre as médias, teste de Tukey a 5%.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento apresentado pela espécie maçaranduba, para todas as médias dos diâmetros observou-se que, o fator diâmetro não influenciou no rendimento da espécie, pois, o índice de rendimento de madeira serrada não aumentou de acordo com o incremento diâmetro das toras utilizadas.

De acordo com Ribas *et al.* (1989) o rendimento da madeira serrada tem relação direta com o diâmetro, entretanto, neste estudo o diâmetro não influenciou no rendimento dessa espécie. Lima *et al.* (2020) avaliaram o rendimento em madeira serrada de dez espécies amazônicas em classes diamétricas e observaram que não houve diferença significativa no rendimento em madeira serrada entre as classes diamétricas. Marchesan (2012) em estudo de avaliação do rendimento de madeira serrada em espécies tropicais também verificou que não houve correlação entre o maior rendimento e o maior diâmetro. Assim como para Souza (2019) as classes diamétricas não influenciaram o coeficiente de rendimento volumétrico, não encontrando uma tendência de rendimento em classes maiores ou menores.

A maçaranduba apresentou um CRV médio de 52,97% (Tabela 1), acima do estabelecido pela resolução 484 de 2008 do CONAMA e pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente, como o padrão para madeira serrada é de 35%, sendo necessário a realizações de estudos que comprovem que determinadas espécies têm rendimento superior disposto acima.

Tabela 1. Resultado do desdobro de 10 toras de maçaranduba.

N	DIÂMETRO MÉDIO (m)	VT (m ³)	VMS (m ³)	CRV (%)
1	0,74	2,9096	1,4503	49,84
2	0,65	2,4132	1,6506	68,40
3	0,47	0,6262	0,3335	53,26
4	0,50	0,8091	0,2353	29,08
5	0,90	3,2954	2,2778	69,12
6	0,62	1,4039	0,4959	35,32
7	0,67	1,6314	0,9177	56,25
8	1,08	3,8930	1,6463	42,29
9	0,83	3,3275	2,3379	70,56
10	0,49	0,6700	0,3720	55,52
Médias	0,69	2,0979	1,1727	52,97

Onde: N (número de toras); VT (volume da tora); VMS (volume madeira serrada); CRV (coeficiente de rendimento volumétrico).

Fonte: o autor (2021).

Os resultados obtidos acerca do rendimento da maçaranduba encontram comparações dentro da mesma espécie. De acordo com Dutra *et al.* (2005), no município de Mojú, estado do Pará, no desdobro de 30 toras obtiveram um rendimento de 41,2%, um rendimento inferior ao relatado nesse estudo. Lima *et al.* (2020) em estudo realizado no Amapá descreve valor de rendimento médio de 40,30%. O mesmo caso aconteceu para Danielli *et al.* (2016) que obtiveram rendimento médio de 30,1% de uma amostra de 71 toras de *Manilkara* spp., de acordo com os autores o baixo rendimento pode estar relacionado à qualidade das toras, visto que algumas toras apresentaram defeitos como rachaduras radiais, fissuras e trincas na parte central da tora, podridões e oco. Valores ainda inferiores foram relatados para a espécie *Manilkara huberi* em estudo realizado no estado do Amapá com valor médio de rendimento de madeira serrada de 11,58% (SANTOS *et al.*, 2017). Os autores justificam que o baixo rendimento encontrado para a espécie é provavelmente devido à qualidade das toras processadas, a condição do equipamento de desdobro principal e também o procedimento operacional que varia entre as serrarias.

De acordo com Danielli *et al.* (2016), os fatores que diminuem drasticamente o rendimento no processo de desdobro, como a baixa qualidade das toras, utilização inadequado ou gastos dos equipamentos de serragem, a degradação durante o armazenamento nos pátios e perdas por ataques de insetos. No ponto de vista de Gerwing *et al.* (2001), dependendo da espécie pode haver uma perda de rendimento entre 8 a 13%.

A cupiúba apresentou um CRV médio de 54,26% (tabela 2), um rendimento acima do aceitado pela SEMA. Pode ser observado que a tora 7, possuindo um diâmetro de 0,71 metros, por conta da cavidade oca no centro da tora, houve menor rendimento, apontando um CRV de 42,01% representado na Tabela 3.

Tabela 2. Resultado do desdobro de 10 toras de cupiúba.

N	DIÂMETRO MÉDIO (m)	VT (m ³)	VMS (m ³)	CRV (%)
1	0,49	0,7832	0,4265	54,45
2	0,47	0,7189	0,4601	64,00
3	0,67	2,3519	1,1538	49,06
4	1,22	5,4668	2,4088	44,05
5	0,97	4,6528	3,0986	66,06
6	0,56	1,6898	1,0667	63,12
7	0,71	2,2567	0,9481	42,01
8	1,05	3,3376	1,4911	44,68
9	0,62	1,7937	0,9912	55,26
10	0,59	1,3459	0,7986	59,33
Média	0,74	2,4399	1,2893	54,26

Onde: N (número de toras); VT (volume da tora); VMS (volume madeira serrada); CRV (coeficiente de rendimento volumétrico).

Fonte: o autor (2021).

Em um estudo feito por Mendoza *et al.* (2017), em Alta Floresta – MT, foi encontrado valores inferiores a este estudo, onde a espécie de cupiúba obteve um rendimento de 49,59%, e inferior também ao estudo feito por Ângelo *et al.* (2004), que apresentaram um rendimento de 61,90%. Essas divergências ocorrem, pois, estão sujeitos a variações de uma indústria para outra, além da qualidade da matéria prima e do número de toras avaliadas. De acordo com Sales (2017) a Cupiúba apresentou o menor rendimento volumétrico (41,57%), atribuindo ao fato da presença de toras ocadas e tortuosas. Lima *et al.* (2020) também relataram a presença de toras ocas para a espécie e que dentre as espécies avaliadas em seu estudo Cupiúba foi uma das espécies que apresentou menores rendimentos volumétricos (39,72%). Tonini e Ferreira (2004) observaram um rendimento de 51,93%, bem similar ao desse estudo com 54,26%.

As toras processadas de Cambará apresentaram um CRV médio de 54,90% (Tabela 3), acima dos 35% preconizados pela legislação vigente, como pode ser observado pelas 10 toras amostradas e desdobradas.

Tabela 3. Resultado do desdobro de 10 toras de cambará.

N	DIÂMETRO MÉDIO (m)	VT (m ³)	VMS (m ³)	CRV (%)
1	0,74	3,1465	1,3930	44,27
2	0,54	1,5487	1,0861	70,13
3	0,49	1,3697	0,9079	66,29
4	0,55	1,3953	0,7611	54,55
5	0,56	1,5809	0,7960	50,35
6	0,55	1,2347	0,6613	53,56
7	0,76	2,3826	1,2755	53,53
8	0,63	2,0886	0,9993	47,84
9	0,67	2,3622	1,3244	56,07
10	0,65	2,2576	1,1831	52,41
Médias	0,61	1,9366	1,0388	54,90

Onde: N (número de toras); VT (volume da tora); VMS (volume madeira serrada); CRV-VT (coeficiente de rendimento volumétrico por tora); CRV MÉDIO (coeficiente de rendimento volumétrico médio).

Fonte: o autor (2021).

O cambará, segundo Biasi e Rocha (2007), em um estudo realizado na cidade de Sinop – MT, resultou em um CRV igual a 62,63%, sendo superior ao CRV realizado neste estudo. Já em Sorriso – MT, em um trabalho realizado por Melo *et al.* (2016), encontraram um CRV médio de 52,18%, bem similar ao valor médio encontrado neste estudo. Já Garcia (2013), ao estudar a espécie na região norte de Mato Grosso, encontrou um rendimento médio de 48,90%, sendo inferior ao encontrado neste estudo. Esse último autor destaca que o rendimento poderia ser maior se houvesse um melhor aproveitamento das costaneiras e das bordas resultantes do desdobro.

Na Tabela 4 são apresentados os valores estatísticos de desvio padrão, rendimento mínimo, rendimento máximo, coeficiente de variação e o coeficiente de rendimento volumétrico das três espécies avaliadas.

Tabela 4. Rendimento volumétrico das três espécies estudadas, teste Tukey a 5%.

ESPÉCIE	DESVIO PADRÃO (%)	RENDIMENTO MÍNIMO (%)	RENDIMENTO MÁXIMO (%)	COEFICIENTE VARIAÇÃO (%)	CRV (%)
Maçaranduba	14,27	46,00	59,93	26,94	52,97*
Cupiúba	8,98	47,29	61,22	16,55	54,26*
Cambará	7,86	47,93	61,87	14,32	54,90*

Onde: * as médias não se diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey a 5%.

Fonte: o autor (2021).

O rendimento volumétrico entre as três espécies estudadas, não houve diferença significativa pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, onde o cambará apresentou média de 54,90%, similar ao apresentado pela cupiúba que apresentou um CRV de 54,26% e a maçaranduba com rendimento médio de 52,97%. O que se diferiu entre as espécies foram os valores médios de diâmetro comprimento da tora (Tabela 5), características que influenciam no rendimento das toras, porém tal tendência não foi verificada para as amostras das espécies estudadas.

Tabela 5. Valores médios por classe diamétrica e comprimento de tora.

ESPÉCIE	DIÂMETRO MÉDIO (m)	COMPRIMENTO MÉDIO (m)
Maçaranduba	0,6978	4,97
Cupiúba	0,7403	5,24
Cambará	0,6177	6,35

Fonte: o autor (2021).

De acordo com Rocha (2002), o rendimento de madeira serrada está associado com as características que a matéria prima apresenta, de modo que toras com formato irregular e tortuosas geram maior quantidade de resíduos. Dentre essas características que reduzem o rendimento estão características naturais como a conicidade, achatamento e encurvamento.

Segundo o IBDF (1984), toras com valor de conicidade que não seja superior a 3%, são aceitáveis sem nenhum tipo de restrições. Toras com achatamento, são aceitáveis desde

que o valor de achatamento de cada extremidade da tora, não seja inferior a 90%. O encurvamento é admitido desde que não ultrapasse o limite de 3%.

Para as toras de maçaranduba, cupiúba e cambará, os valores de conicidade, achatamento e encurvamento estão dentro dos padrões recomendados pelo IBDF (1984). As toras de maçaranduba apresentaram maior média em conicidade, com 1,70% em relação as outras duas espécies, enquanto que a cupiúba apresentou maior encurvamento com 2,4%, e o cambará apresentou a menor média em achatamento com 90% (Tabela 6). Ressalta-se que, maiores valores de conicidade e encurvamento influenciam em menor rendimento no desdobro das toras, assim como menores valores de achatamento.

Tabela 6. Qualidade da madeira para as espécies maçaranduba, cupiúba e cambará.

	MAÇARANDUBA	CUPIÚBA	CAMBARÁ
Conicidade	≤ 1,70%	≤ 0,46%	≤ 0,69%
Achatamento	≥ 95%	≥ 91%	≥ 90%
Encurvamento	≤ 2%	≤ 2,4%	≤ 1,3%

Fonte: o autor (2021).

Comparando as espécies com a quantidade de peças que foram serradas, pôde-se observar que para a espécie maçaranduba teve um total de 878 peças, quantidade praticamente igual para as toras de cupiúba (877 peças) e cambará 551 peças, especificadamente cada uma com sua largura e espessura, sendo elas ripas, sarrafos, tabuas, caibros, vigotas, vigas, pranchas, pranchões e blocos (Tabela 7).

Tabela 7. Quantidade de peças e volume de madeira serrada no desdobro das três espécies florestais.

	MAÇARANDUBA	CUPIÚBA	CAMBARÁ
Ripa	363	285	181
Sarrafo	315	46	28
Tábua	1	-	12
Caibro	86	140	111
Vigota	21	247	-
Viga	41	154	204
Prancha	21	-	14
Pranchão	16	5	1
Bloco	14	-	-
Total	878	877	551
	MAÇARANDUBA	CUPIÚBA	CAMBARÁ
VMS (m ³)	1,4503	0,4265	1,3930
	1,6506	0,4601	1,0861
	0,3335	1,1538	0,9079
	0,2353	2,4088	0,7611
	2,2778	3,0986	0,7960
	0,4959	1,0667	0,6613
	0,9177	0,9481	1,2755
	1,6463	1,4911	0,9993
	2,3379	0,9912	1,3244
	0,3720	0,7986	1,1831
Total	11,7273	12,8433	10,3877

Onde: VMS (Volume de Madeira Serrada).

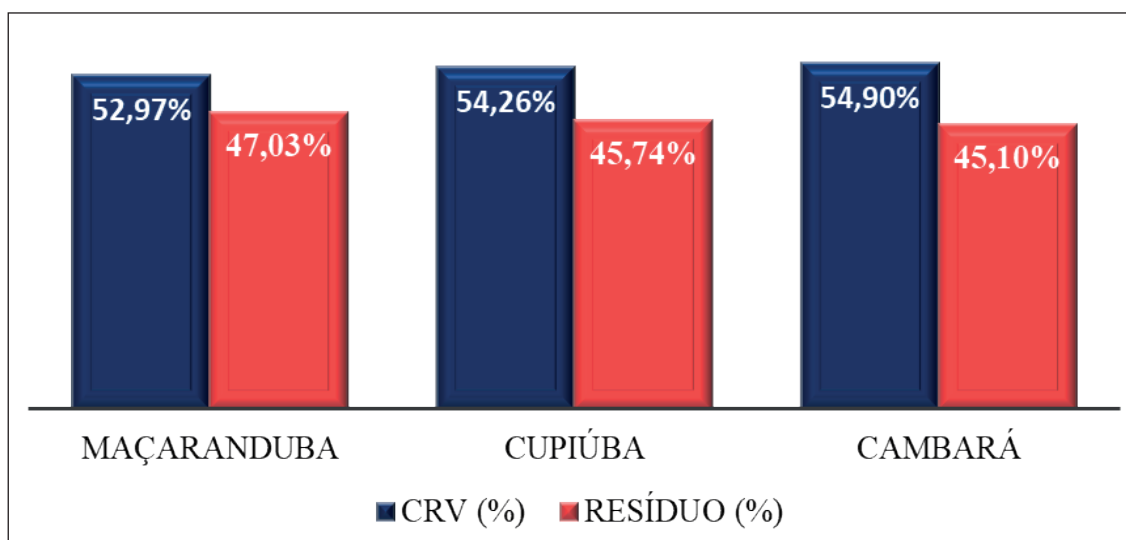
Fonte: o autor (2021).

Na comparação feita entre as três espécies, foi observado que, mesmo a espécie maçaranduba contendo um número maior de peças (878 peças) e volume de madeira serrada de 11,73m³, foi a espécie com menor CRV, com 52,97%. Isso pode ser explicado pelo fato de um maior número de peças com dimensões menores, como as ripas que possuem dimensões de 1,5 cm de espessura por 4,0 cm de largura com 363 peças, sarrafos com 3,0 cm de espessura e 6,0 cm de largura, com 315 peças. As peças de menores dimensões perdem-se muito material por gerar maior resíduo, a peça e mais vezes trabalhadas na serra, agregando maior volume de resíduos. A cupiúba também obteve um maior número em ripas com espessuras de 1,5 cm por 4,5 cm de largura, vigotas de espessuras 5,0 cm e larguras de 10,0-11,0 cm, mesmo obtendo o maior volume de madeira serrada, a perda de material no desdobro das menores peças contribuiu para se colocar em segundo lugar com CRV de 54,26%. Com menor número de peças (551 peças) e menor volume de madeira serrada, a espécie cambará foi a que obteve maior CRV, alcançando 54,90%, pois o maior número de peças com maiores dimensões. Ocorreu para a espécie cambará, 111 caibros com espessura de 5,0 cm e largura de 7,0 cm, 204 vigas com espessuras 5,0 cm por larguras entre 15-20 e 25 cm e 14 pranchas com espessuras de 5,0 cm e larguras entre 20-25 e 30 cm.

Em relação ao volume de madeira serrada, a espécie que apresentou maior volumetria com 12,8433 m³ foi a espécie cupiúba. Apesar disso, a espécie obteve uma perda de rendimento no desdobro das peças de menores dimensões. Assim ocorreu para a espécie maçaranduba que com 11,7273 m³, houve uma maior quantidade de resíduos no desdobro secundário. Para a espécie cambará o rendimento em madeira serrada obteve 10,3877 m³. O menor rendimento entre as espécies, porém com menor resíduo no desdobro secundário, gerando peças com maiores dimensões.

Considerando a geração de resíduos, pode-se dizer que a espécie que apresentou o menor CRV, necessariamente a com maior porcentagem em resíduos. Da matéria prima processada, a maçaranduba apresentou 47,03% de resíduos, enquanto que a cupiúba apresentou valor 45,74% e o cambará com 45,10% (Figura 5).

Figura 4. Comparação entre rendimento e resíduos para as três espécies.



Fonte: o autor (2021).

Melo *et al.* (2016) avaliaram a geração e os tipos de resíduos de cambará (*Qualea* sp.) e encontraram que as maiores perdas foram devido ao mau aproveitamento das peças ou a qualidade baixa das toras, acarretando descarte de refilos e costaneiras, representando, aproximadamente, 35,54% das toras. De acordo com pesquisa realizada por Delmiro *et al.* (2015) os principais resíduos gerados são na forma de costaneiras, refilos, topos, serragem, maravalhas, pó de serra e cascas.

Mesmo as espécies apresentando um rendimento superior ao estipulado pelo CONAMA, ainda sim existe uma elevada proporção de resíduos. Os resíduos de madeira gerados na indústria madeireira podem ser destinados em parte para produção de móveis e pequenos objetos de madeira, visto que peças com comprimento de 1,5 metros são descartadas. Complementarmente, os demais resíduos podem ser utilizados para produção de carvão,

briquetes, pellets, cabos de ferramentas, entre outros, visando sempre agregar valor à madeira extraída da floresta, reduzindo assim a pressão sobre as áreas remanescentes.

Ressalta-se que as toras amostras das três espécies no presente estudo apresentaram rendimento similar, mas algumas diferenças devido as condições que se encontram a matéria prima, com destaque para ocos resultante do ataques de organismos xilófagos, características intrínsecas das espécies e também aquelas que cada espécie pode apresentar em virtude do sítio em que se desenvolveram.

■ CONCLUSÃO

O rendimento volumétrico para as três espécies analisadas não apresentou diferença significativa, no entanto, a espécie cambará apresentou o maior rendimento, menores defeitos e diâmetro médio e maior comprimento da tora.

As três espécies apresentaram CRV superior ao determinado pela resolução que regulamenta tal atividade, sendo importante mais estudos para obter informações, acerca do rendimento no processo de conversão de toras para madeira serrada de diferentes espécies florestais com interesse comercial e comprovar o rendimento efetivamente superior de determinadas espécies ao estabelecido pela resolução em vigor.

■ REFERÊNCIAS

1. ANGELO, H.; SILVA, G. F. da; SILVA, V. S. M. Análise econômica da indústria de madeiras tropicais: O caso do polo de Sinop, MT. **Ciência Florestal**, v.14, n. 2, p. 91-101, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050981809>
2. BIASI, C. P. **Rendimento e eficiência no desdobro de três espécies tropicais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005. 73p.
3. BIASI, C. P.; ROCHA, M. P. Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais. **Floresta**, v. 37, n. 1, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/uf.v37i1.7845>
4. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil) Resolução nº 474, de 06 abril de 2016. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 05 mai. 2016. Seção 1, p. 74.
5. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil) Resolução nº 484, de 22 março de 2018. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 29 mar. 2018. Seção 1, p. 252.
6. DANIELLI, F. E. et al. Modelagem do rendimento no desdobro de toras de *Manilkara* spp. (Sapotaceae) em serraria do estado de Roraima, Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 641-651, 2016. DOI: dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.10
7. DELMIRO, L. B.; PEREIRA, K.; PINTO, C. V. Diagnóstico das serrarias no Município de Alta Floresta - MT. **Nativa** - , v. 4, n. 2, p. 0-10, 2015.

8. DUTRA, R.I.J.P; NASCIMENTO, S.M; NUMAZAWA, S. Resíduos de indústrias madeireiras: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Ed. 5, 2005.
9. GARCIA, F. M. **Rendimento operacional de uma serraria com a espécie cambará (*Qualea albiflora* Warm.) na Região Amazônica**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu- SP. 2013. 72 p.
10. GERWING, J. et al. **O rendimento no processamento de madeira no estado do Pará**. Belém: Imazon. Série Amazônica, n.18, 2001, 38 p.
11. IBDF - INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Norma para medição e classificação de toras de madeiras de folhosas**. Brasília, 1984. 42p.
12. LIMA, R. B. de. et al. Effect of species and log diameter on the volumetric yield of lumber in northern Brazilian Amazonia: preliminary results. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 39, n.3, p. 283-299, 2020. DOI: [10.1080/10549811.2019.1636661](https://doi.org/10.1080/10549811.2019.1636661).
13. MARCHESAN, R. **Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 94p. 2012.
14. MELO, R. R. et al. Análise da influência do diâmetro no rendimento em madeira serrada de cambará (*Qualea* sp.). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 393-398, 2016.
15. MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M.; PIERIN, L. C. Coeficiente de rendimento em madeira serrada de oito espécies nativas de Mato Grosso. **Nativa**, v.5, esp., p. 568-573, 2017. DOI: [10.31413/nativa.v5i7.4430](https://doi.org/10.31413/nativa.v5i7.4430)
16. RIBAS C. et al. Estudo da influência do diâmetro e do comprimento das toras de *Pinus elliottii* na produção de madeira serrada e de resíduos de serraria. **Revista do Instituto Florestal**, v. 1, n. 1, p. 51-65, 1989.
17. ROCHA, M. P. **Técnicas e planejamentos de serrarias**. Edição Revisada. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2002.
18. SALES, R. B. B. **Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos de três espécies tropicais; Itaúba (*Mezilaurus itauba*), Angelim Pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) e Cupiúba (*Goupia glabra*)**. Monografia (Curso em Engenharia Florestal) - Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara – (CESIT) UEA. Itacoatiara. 2017. 49p.
19. SANTOS, R. O. et al. Modelagem do rendimento em madeira serrada para espécies comerciais em serrarias do estado do Amapá. **Nativa**, v. 5, n. esp, p. 612-618, 2017. DOI: [10.31413/nativa.v5i7.4599](https://doi.org/10.31413/nativa.v5i7.4599)
20. SOUZA, H. U S. **Rendimento volumétrico do desdobro de toras em madeira serrada em indústrias localizadas no município de Itaituba – PA**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. 2019. 62f.
21. TONINI, H.; ANTONIO, L. M. M. F. Rendimento em madeira serrada de cupiuba (*Goupia glabra*), caferana (*Erisma uncinatum*) e angelim pedra (*Dinizia excelsa*). **Embrapa Roraima-Comunicação Técnico (INFOTECA-E)**, 2004.
22. VITAL, B. R. **Planejamento e operações de serrarias**. Viçosa, MG, Ed. UFV, 2008. 211 p.

Caracterização de painéis cimento- madeira reforçados com lignina

| **Raquel Marrchesan**
UFT

| **Thatiele Pereira Eufrazio de Moraes**
UFT

| **Renata Carvalho da Silva**
UFPR

| **Júlia Gabriela do Nascimento Mendes**
UFT

| **Fernanda Kuffel Meireles**
UFT

| **Meire Cirqueira Santos**
UFT

| **André Orathes do Rêgo Barros**
UFT

| **Guilherme Henrique Carvalho Vieira**
UFT

| **Rodrigo Araújo Fortes**
IFTO

| **André Ferreira do Santos**
UFT

RESUMO

Objetivo: O trabalho teve por objetivo produzir e caracterizar painéis cimento-madeira reforçados com lignina, visando aumentar sua resistência mecânica e diminuir a absorção de água. **Método:** Para a caracterização dos painéis foram avaliadas: densidade aparente (g/cm^3), resistência à compressão axial (MPa) e absorção de água (%) em duas e 24 horas. Na confecção dos painéis foram utilizados cimento Portland CP II, água, agregados miúdos, partículas de pinus, lignina e aditivo. A madeira de pinus foi submetida à moagem e secagem à 8,0% de umidade e a lignina kraft de origem industrial foi utilizada em pó com 4,6% de umidade. Após a argamassa pronta, esta foi colocada em moldes confeccionados de acordo com a NBR 5738:2003 e D-1037:1999, submetidos a adensamento vibro-mecânico. Determinou-se quatro tratamentos para confecção dos painéis: T1- cimento e pinus; T2 - cimento, pinus e lignina; T3 - cimento e lignina; e T4 - cimento e areia. **Resultados:** O T1 apresentou maior percentual de absorção de água (29,55%), o T3 apresentou valores de densidade e absorção satisfatórios ($1,16 \text{ g/cm}^3$ e 9,62 %, respectivamente) e o T2, dentre os painéis cimento-madeira, foi o que apresentou as melhores características para a utilização como concreto, pois atingiu maior média de resistência (10,35 MPa), densidade aparente ($1,27 \text{ g/cm}^3$) e teores de absorção (13,85%) satisfatórios. **Conclusões:** A lignina influenciou positivamente a densidade aparente e absorção de água nos painéis. O tratamento com pinus e lignina, dentre os painéis de madeira, foi o que apresentou melhor comportamento de resistência à compressão axial.

Palavras-chave: Painéis Cimentícios, Materiais Lignocelulósicos, Propriedades Físicas e Mecânicas.

■ INTRODUÇÃO

Os painéis cimento-madeira são tipos especiais de painéis aglomerados, constituídos basicamente de partículas de madeira com um aglutinante de origem mineral, sendo o cimento o produto mais empregado na sua manufatura. Nos painéis cimento-madeira, a resina do tipo ureia-formaldeído é substituída pelo cimento, cujo processo de endurecimento é decorrente de reações exotérmicas resultantes da hidratação do cimento na presença de água (IWAKIRI; PRATA, 2008).

A lignina, que consiste em 10 a 25% da biomassa lignocelulósica, é o segundo polímero natural mais abundante. Ela é insolúvel em água e estável na natureza, agindo como a “cola” que liga a celulose e a hemicelulose. Sua estrutura é tridimensional constituída de três grupos fenol que incluem: p-hidroxifenila (H), guaiacila (G) e siringila (S) (FENGEL; WEGENER, 1983).

Devido a sua importância econômica, a lignina tem sido extensivamente estudada. Os biopolímeros são polímeros ou copolímeros produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis como as advindas de espécies florestais madeireiras e não madeireiras (ABNT, 2008). Dentre eles destacam-se o látex natural extraído da *Hevea brasiliensis*, os taninos extraídos de espécies do gênero *Eucalyptus* sp. e *Acacia* sp. e a lignina extraída de processos químicos para a produção de celulose. Esses biopolímeros tem grande potencial aglomerante e adesivo, podendo substituir os polímeros sintéticos em diversos usos como na construção civil na produção de concretos e argamassa. A lignina tem sido também utilizada na composição de adesivos para a indústria de painéis de madeira, oferecendo maior resistência diminuindo a absorção de água pelos painéis.

O gênero *Pinus* spp. é da família das Pinaceae, e abrange plantas em geral arbóreas, lenhosas, tronco reto, copa em forma de cone e sem uma altura padrão. A madeira de *Pinus* spp. possui massa específica aparente entre 400 e 520 kg/m³, com uma umidade de 15%. Segundo dados da ABIMCI (2009), em um período de dez anos a produção de madeira de *Pinus* spp. no Brasil aumentou em 20,48%. Isso comprova que a geração de resíduos por parte da indústria de madeira também cresceu no período, sem, entretanto, aumentar a preocupação sobre como reaproveitar este descarte até então sem valor. A indústria da construção civil utiliza o pinus como material definitivo e provisórios. O gênero é utilizado como madeira serrada para elementos estruturais, madeira beneficiada para acabamentos e peças para vedação como forros, portas e caixilhos, para situações temporárias como construção de alojamentos e instalações auxiliares e ainda, como peças estruturais nervuradas para reforço em painéis de forma para concreto (IPT, 2013). Atualmente, o painel cimento-madeira com a utilização dos resíduos gerados nas indústrias de base florestal, também vem ganhando

espaço na construção civil, principalmente em países mais desenvolvidos como Alemanha, Canadá, Japão e Estados Unidos visando a utilização sustentável desses resíduos.

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo produzir e caracterizar painéis cimento-madeira compostos por cimento Portland, pinus e reforçados com lignina, visando aumentar a resistência mecânica dos painéis e diminuir a absorção de água.

■ MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi – TO. Para a confecção dos painéis cimento-madeira foram utilizados três tipos de agregados: partículas de pinus, lignina e areia. A lignina kraft utilizada foi fornecida por uma indústria de papel e celulose e o pinus utilizado foi coletado em indústrias madeireiras do município de Gurupi, estado do Tocantins. Os resíduos de pinus foram moídos, com a utilização de um moinho de facas do tipo Willey, gerando partículas que foram peneiradas passando na peneira de 40 mesh e ficando retidas em peneira de 60 mesh para a obtenção de agregado miúdo, segundo a classificação descrita por Pinheiro (2010).

Foram utilizados três tipos de tratamentos diferentes mais a testemunha, sendo:

- T1: resíduo de pinus e cimento;
- T2: resíduo de pinus, lignina e cimento;
- T3: lignina e cimento;
- T4 (testemunha): areia e cimento.

Todos os tratamentos utilizaram a proporção de 5:1 de partículas e como relação cimento-água (C:A) utilizou-se 0,60 nos tratamentos T1, T2 e T3 e 0,40 em T4.

Considerando a massa seca das partículas para fabricação dos corpos de prova, as partículas de pinus e lignina foram submetidas à determinação do teor de umidade na base úmida conforme a norma TAPPI (1996), para determinar a quantidade de água presente nas mesmas, que juntamente com a quantidade de aditivo sintético, são descontadas do total de água utilizada na composição do painel, calculada pela equação do consumo de água (SIMATUPANG (1978) apud. PARCHEN, 2012). Essa equação determina a quantidade de líquidos necessários para compor a mistura usada na fabricação dos corpos de prova desses painéis. Para este procedimento foi realizado o cálculo do teor de umidade e do consumo de água, conforme as Equações 1 e 2:

$$TU = \frac{MU - MS}{MU} \times 100 \quad (1)$$

Em que: TU: teor de umidade (%), MU: massa úmida (g) e MS: massa seca (g).

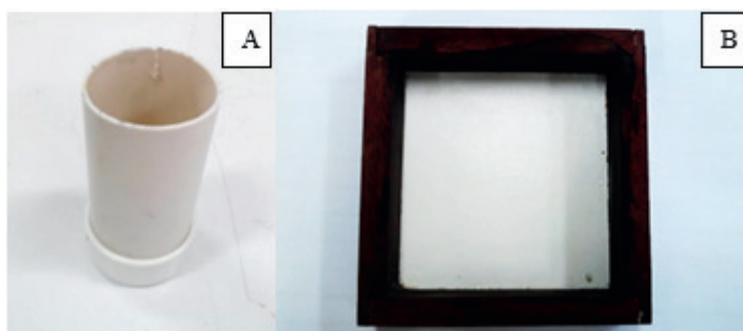
$$CA = A/C \times C + (30 - TU) \times M \quad (2)$$

Em que: CA: consumo de água (g), C: massa de cimento (g), TU: teor de umidade da partícula, M: massa das partículas (g) e A/C: relação água-cimento (0,40 e 0,60).

Para a confecção dos corpos de prova do ensaio de resistência à compressão axial foram utilizados moldes cilíndricos confeccionados com tubos PVC de 40 mm de diâmetro com corte transversal ao longo da geratriz (Figura 1) adaptados às normas NBR 5738 (ABNT, 2003) e ASTM D-1037 (ASTM, 1999). Estes corpos de prova possuíam dimensões de 40 mm de diâmetro externo com 80 mm de comprimento, obtendo um volume líquido de 86,01 cm³ e como fundo foi utilizado um cap (tampa de fechamento) para cano de 40 mm de PVC.

Para os corpos de prova de absorção de água utilizaram-se moldes prismáticos de madeira (Figura 1), com dimensões de 2,5 cm x 10,0 cm x 10,0 cm totalizando um volume líquido de 250 cm³. Todos os moldes foram untados com vaselina sólida para facilitar a retirada dos corpos de prova.

Figura 2. Moldes cilíndrico (A) e prismático (B) para confecção de corpos de prova para determinação da resistência à compressão axial e para a absorção de água.



Fonte: O autor (2019).

Os materiais utilizados na fabricação dos painéis foram o cimento Portland do tipo II (CP II), água, agregado miúdo (areia, pinus e lignina) e aditivo sintético derivado de copolímero estireno acrílico denominado adesivo sintético na proporção de 4:1, sendo quatro partes de água para uma de aditivo, proporcionando uma melhor liga aos materiais utilizados (Figura 2).

Figura 2. Insumos utilizados para a confecção dos painéis: agregados: partículas de pinus, lignina e areia; líquidos: água e aditivo sintético.



Fonte: O Autor (2019).

Por meio de pré-testes foi observado o ponto de liga do cimento com os agregados utilizados. Estimou-se também a densidade média dos corpos de provas de 1,20 g/cm³ com proporções de 5:1, sendo cinco partes de cimento para uma de partículas. Assim, com o valor da densidade estimada, utilizando a Equação 3, determinou-se a quantidade em gramas de cimento e de partículas, considerando sua massa seca, necessária para compor um corpo de prova, já que os volumes dos moldes utilizados eram conhecidos.

$$Da = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Em que: Da: densidade aparente unitária (g/cm³), m: massa (g) e V: volume (cm³).

Na Tabelas 1 e 2 são apresentadas as quantidades de insumos utilizadas na confecção dos corpos de prova de compressão axial e absorção respectivamente para os três tratamentos mais a testemunha.

Tabela 1. Insumos utilizados na fabricação dos corpos de prova destinados aos ensaios de compressão axial.

Tratamentos	Insumos (g)					
	Cimento	Água	Areia	Pinus	Lignina	Aditivo sintético
Pinus (T1)	86,01	40,06	-	18,69	-	13,84
Pinus + Lignina (T2)	86,01	39,07+24,13	-	9,34	9,02	13,40
Lignina (T3)	86,01	41,14+31,87	-	-	18,04	13,99
Testemunha (T4)	86,01	38,70	17,20	-	-	12,90

Tabela 2. Insumos utilizados na fabricação dos corpos de prova destinados aos ensaios de absorção.

Tratamentos	Insumos (g)					
	Cimento	Água	Areia	Pinus	Lignina	Aditivo sintético
Pinus (T1)	250	116,40	-	54,34	-	40,25
Pinus + Lignina (T2)	250	115,25+24,13	-	27,17	26,22	38,97
Lignina (T3)	250	119,63+31,87	-	-	52,44	12,90
Testemunha (T4)	250	21,67	50	-	-	10

Os valores da massa seca das partículas de pinus e lignina expostos nas Tabelas 1 e 2, foram obtidos através do cálculo da massa absolutamente seca (AS), Equação 4:

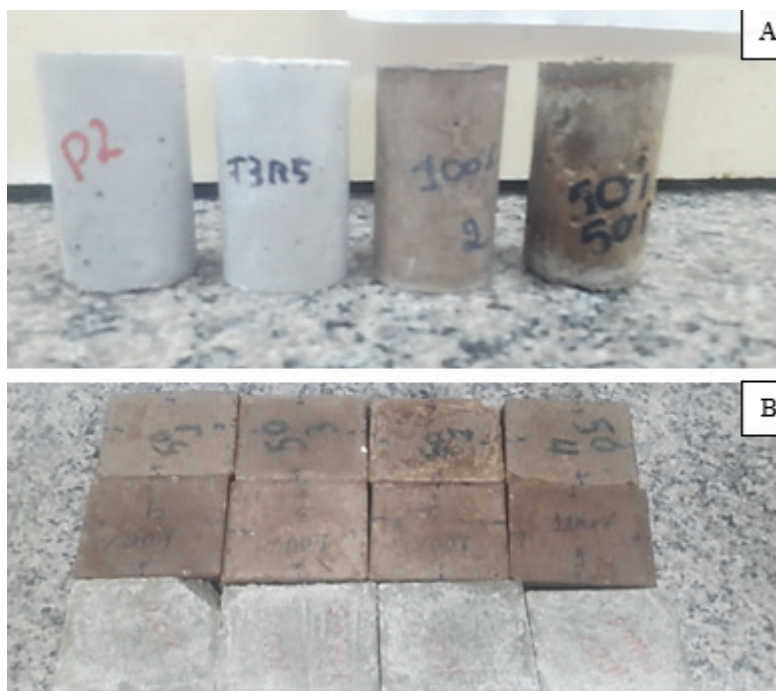
$$AS\% = \frac{MS}{MU} \times 100 \quad (4)$$

Em que: AS: massa absolutamente seca (%), MS: massa seca (g) e MU: massa úmida (g).

Com o traço estabelecido os materiais foram misturados até a formação de uma argamassa homogênea, colocando-a nos moldes cilíndricos para a confecção de 6 corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão axial para cada tratamento mais a testemunha, totalizando 24 corpos de prova e, nos moldes prismáticos para a confecção de 6 corpos de prova para o ensaio de absorção de água em 2 e 24 horas para cada tratamento mais a testemunha, totalizando 24 corpos de prova (Figura 3).

Os corpos de prova foram submetidos a compactação vibro- mecânica realizada na mesa vibratória, com duração de 90 segundos para os corpos de prova de compressão axial e 120 segundos para os corpos de prova de absorção. A cura dos corpos de prova foi realizada em temperatura ambiente e a partir do sétimo dia foram retirados dos moldes, em que se iniciou o processo de cura úmida com a borrifação de água diariamente até completar 28 dias de cura.

Figura 3. (A) corpos de prova destinados aos ensaios de resistência à compressão axial; (B) corpos de prova destinados aos ensaios de absorção a 2 e 24 horas.



Fonte: autor (2019).

Para os corpos de prova cilíndricos foram realizadas a caracterização mecânica pelo ensaio de resistência à compressão axial, em concordância com a NBR 7215 (ABNT, 1996)

e a caracterização física e densidade aparente de acordo com a norma EN-323 (EUROPEAN STANDARD, 1993). Os ensaios de compressão axial, que determinam a resistência do material foram realizados utilizando a prensa hidráulica manual, com capacidade de 10.000 kgf. O cálculo de densidade aparente foi realizado através da determinação do volume e peso de cada corpo de prova cilíndrico com auxílio de paquímetro e balança semi-analítica. Os dois testes foram realizados aos 28 dias de cura.

Figura 4. Prensa Hidráulica utilizada no ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos.



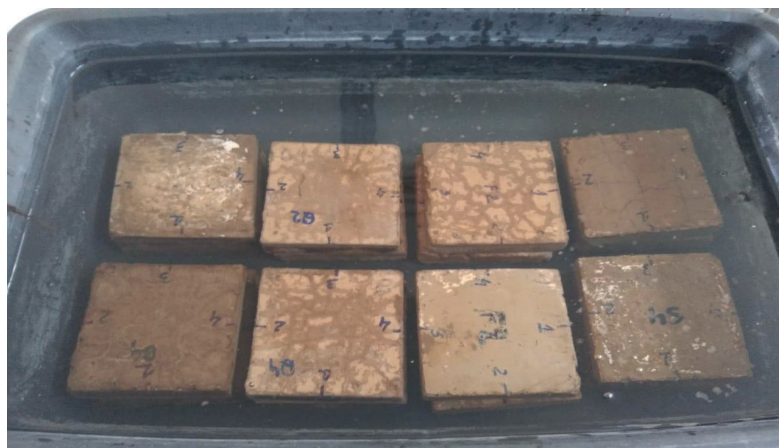
Fonte: autor (2019).

Para os corpos de prova prismáticos foram realizados os ensaios de absorção (Figura 5). O percentual de absorção, foi obtido através da obtenção da massa inicial e posteriormente das massas a duas e 24 horas após imersão em água, utilizando-se a Equação 5, de acordo com a norma D-1037 (ASTM, 1999), adaptada.

$$ABS = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (5)$$

Em que: ABS: absorção (%), MU: massa úmida (g) e MS: massa seca (g).

Figura 5. Corpos de prova prismáticos submersos em água para os testes de absorção em duas e 24 horas



Fonte: autor (2019).

A análise estatística foi em delineamento inteiramente casualizado simples com três tratamentos mais a testemunha e seis repetições cada, em que, primeiramente fez-se o teste de Bartlett para analisar a homogeneidade das variâncias. Em seguida foram testadas as normalidades por meio do teste de Shapiro-Wilk, sendo comprovada a normalidade dos dados fez-se a análise de variância (ANOVA) e, havendo diferença significativa entre os tratamentos, aplicou-se o teste de Tukey. Para realização do desdobramento utilizou-se o programa Sisvar 5.6.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de densidade aparente, resistência à compressão axial e absorção a 2 horas e 24 horas para os tratamentos e testemunha (T1: cimento e pinus T2: cimento e lignina, T3: cimento pinus e lignina e T4: cimento e areia) encontram-se apresentados na Tabela 3.

Observa-se diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para todos os parâmetros avaliados ao nível de 5% de probabilidade. Em relação à densidade aparente dos painéis o T4 (testemunha) foi o que apresentou maior valor (1,78 g/cm³), seguido pelo T1 (1,30 g/cm³) e T3 (1,27 g/cm³). O tratamento T2 apresentou a menor média (1,16 g/cm³).

Tratando-se dos valores de resistência a compressão axial dos painéis, obteve-se maior valor médio para o T4 de 13,21 MPa, seguido pelo T2 (10,35 MPa), T1 (9,15 MPa) e por fim o T3 (6,63 MPa) que apresentou a menor resistência. Em relação aos valores obtidos no teste de absorção em 2 horas e 24 horas o T1 apresentou os maiores valores de absorção 27,02% e 29,55%, respectivamente, por esta característica, indica-se esse compósito para fabricação de painéis de uso interno sem contato direto com a umidade. Os painéis com menores valores de absorções foram aqueles com lignina na composição, sendo o T3 com menor (9,62%), igualando-se estatisticamente à T4 (testemunha) em 24 horas de imersão.

Tabela 3. Valores médios de densidade aparente (g/cm^3), tensão de compressão (MPa), absorção a 2 horas e a 24 horas (%) e o coeficiente de variação entre os tratamentos (%).

Tratamentos	Parâmetros			
	Da (g/cm^3)	fc (MPa)	ABS 2h (%)	ABS 24 (%)
Pinus (T1)	1,30 b (4,26)	9,15 c (6,54)	27,02 c (2,32)	29,55 c (2,16)
Pinus + Lignina (T2)	1,27 b (3,66)	10,35 b (7,57)	7,33 b (8,16)	13,85 b (9,61)
Lignina (T3)	1,16 c (6,67)	6,63 d (13,88)	3,90 a (4,19)	9,62 a (5,39)
Testemunha (T4)	1,78 a (11,11)	13,21 a (10,49)	6,29 b (11,27)	9,13 a (6,29)
P	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*

NOTA: T1: cimento e pinus; T2: cimento e lignina; T3: cimento pinus e lignina; T4: cimento e areia (testemunha); Da: densidade aparente em (g/cm^3); fc resistência a compressão em megapascal (MPa); ABS: absorção em 2 horas e em 24 horas em porcentagem. Médias seguidas pelas letras minúsculas na coluna diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($P \geq 0,05$). Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

O resultado médio de densidade aparente observado para o painel com lignina (T3) de $1,16 \text{ g/cm}^3$ produzido neste estudo, comparado com os dados de densidade aparente de compostos de resíduos e cimento produzidos por Santos (2018), em que a autora obteve valores para os painéis compostos por pinus de $1,5 \text{ g/cm}^3$ e casca de arroz de $1,44 \text{ g/cm}^3$, foi menor.

Dolabella (2018) e Prata (2010) apresentam valores de densidade aparente de materiais comumente utilizados na construção civil como o tijolo cerâmico furado que assume densidades entre $1,1 \text{ g/cm}^3$ a $1,4 \text{ g/cm}^3$ e o tijolo cerâmico poroso entre $1,0 \text{ g/cm}^3$ a $1,1 \text{ g/cm}^3$, no presente trabalho os painéis estão enquadrados entre $1,1$ e $1,40 \text{ g/cm}^3$ podendo ser utilizados como matéria prima para a produção de tijolos furados.

Em relação à resistência à compressão axial, percebe-se que, com a adição somente de lignina ao painel (T3), perdeu-se resistência em comparação a testemunha, porém apresentou menores densidades e valores de absorção bem próximos, o que pode ser considerado um ponto positivo na produção de materiais como telhas de concreto. Porém, a combinação entre as partículas de pinus e lignina (T2) melhorou a média de resistência à compressão ($10,35 \text{ MPa}$) dos painéis, quando comparada aos tratamentos T1 ($9,15 \text{ MPa}$) e T3 ($6,63 \text{ MPa}$), diminuiu o teor de absorção em relação ao T1 e aumentou o teor de absorção em relação ao T3. Esse comportamento se deve ao fato de a lignina ser hidrofóbica, porém em grandes quantidades prejudicar as ligações internas do concreto ou argamassa, e o pinus apresentar maior potencial de absorção de água, contudo auxiliar no reforço dessas ligações, quando se trata de painéis cimento-madeira.

Em relação aos valores obtidos no teste de absorção em 2 horas e 24 horas pode-se afirmar que a lignina, por ser um polímero natural hidrofóbico, melhorou o comportamento dos painéis neste quesito, essa característica reforça a aplicabilidade do compósito na fabricação de telhas de concreto, material esse que exige menor densidade e menor percentual de absorção.

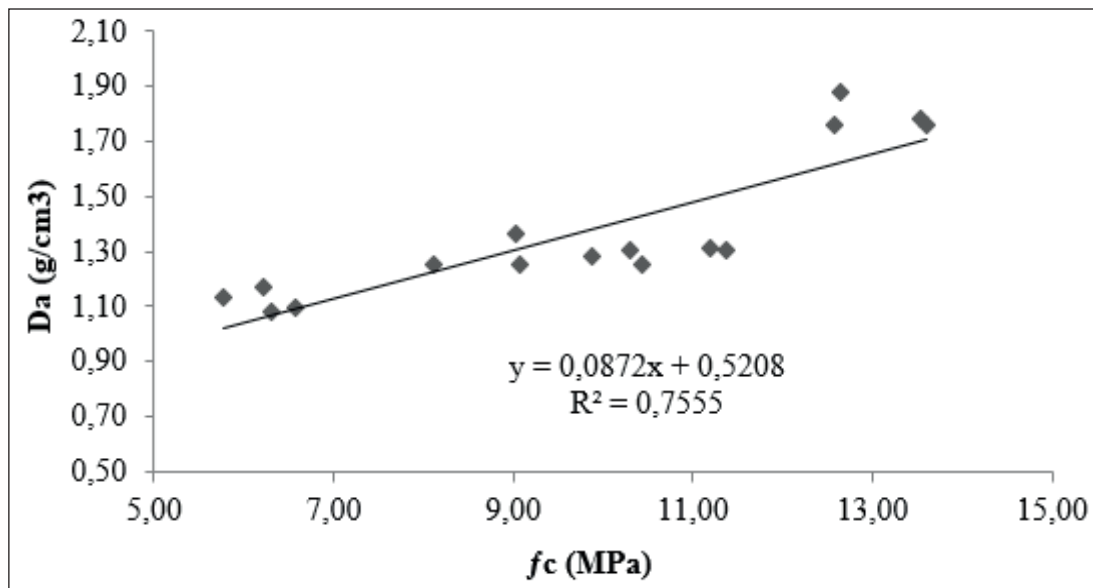
Os resultados encontrados para resistência à compressão axial e densidade vão de encontro aos obtidos por Hermeto (2016) que substituiu o cimento por lignina em argamassa para revestimento e observou que ao adicionar diferentes proporções de lignina (0; 2,5%; 5% e 7,5%), à medida que aumentava a quantidade a relação dos valores de resistência eram inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a quantidade de lignina na argamassa menor a resistência da mesma. Silva *et al.* (2015) também confirmou reduções nos valores da resistência à compressão relacionadas a adição de lignina ao adicionar 2,5% na substituição parcial do cimento, apresentando média de 25,1 MPa. Quando aumentou a quantidade de lignina para 7,5% a resistência diminuiu para 10,3 MPa, resultados estes que corroboraram com o presente trabalho, identificando que os altos teores de lignina na composição da argamassa reduzem as ligações físicas entre os componentes.

Santos (2018) em seu trabalho estudando painéis de cimento com resíduos de casca de arroz, bagaço de cana e pinus encontrou menor valor de absorção em sua média para o painel de pinus (7,38%), resultado este que corroborou com Fonseca (2017) para a mesma mistura. Situação contrária ocorreu para compósito de cimento e pinus neste estudo, em que apresentou maior média na absorção, sendo de 24,50%, devido a maior proporção de pinus.

Na Figura 6 é apresentada a correlação de Pearson geral entre a densidade aparente e resistência a compressão axial.

Através do fator de correlação de Pearson pôde-se determinar que a densidade aparente e a resistência apresentaram uma forte correlação positiva (0,87), próxima a 1, o que indica ser diretamente proporcional, ou seja, quanto maior a densidade dos painéis maior a sua resistência à compressão axial. A correlação da densidade aparente com a absorção dos painéis neste caso foi negativa e baixa (-0,26), pois nos corpos de prova em que a lignina foi acrescentada na matriz apresentaram baixa densidade e baixa absorção, fato que contribui na diminuição da correlação, já que com os painéis de cimento e pinus ocorreu o contrário. Isso explica o fato de a lignina ser um polímero hidrofóbico.

Figura 6. Correlação entre a densidade aparente e a resistência a compressão axial.



Fonte: O Autor (2019)

■ CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

A inserção de lignina no painel não só melhorou a densidade aparente, como também influenciou positivamente no percentual de absorção de água, porém afetou a resistência à compressão axial de forma negativa.

Houve alta correlação diretamente proporcional entre densidade aparente e da resistência à compressão axial, ou seja, quanto menor a densidade menor a resistência.

Em relação à absorção de água com a densidade aparente, houve baixa correlação entre essas duas propriedades. A densidade não exerceu influência significativa na absorção devido provavelmente a presença de lignina na composição.

O tratamento T1 (cimento e pinus) apresentou maior percentual de absorção em comparação aos outros painéis, desta forma podem ser recomendados para a fabricação de painéis termoacústicos para ambientes internos, em ambientes com contato com baixo teor de umidade;

O tratamento T2 (cimento, pinus e lignina), dentre os painéis de madeira, foi o que apresentou melhor comportamento, podendo ser indicado para ambientes com utilização em argamassas de revestimento e para telhas de concreto;

O tratamento T3 (cimento e lignina) apresentou menor resistência, porém os valores de densidade e absorção foram satisfatórios. Devido a isso podem ser direcionados na fabricação de telhas de concreto.

■ REFERÊNCIAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D-1037**: Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particles Panel Materials. West Conshohocken, United States, 1999.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo Setorial 2008**. Documento disponível em: <www.abimci.com.br>. Acesso em: 08/04/2019.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1996.
5. DOLABELLA, R. Peso específico de materiais. Disponível em: <http://www.ricardodolabella.com/downloads/pesosespecificos.doc>. Acesso em: 30/05/2018
6. EUROPEAN STANDARD. **EN-323**: Determinação da densidade. Versão Portuguesa, 1993.
7. FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood**: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.
8. FONSECA, M. R. **Painel cimento madeira produzido por compactação vibro dinâmica no sul do Tocantins**. 31 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – UFT - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi TO, 2017.
9. HERMETO, M. R. Estudo de substituição de cimento pela lignina em argamassa para revestimento, 2016. 54f, Monografia (Graduação) - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2016.
10. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SP (IPT). **Catálogo de Madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo, 2013.
11. IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis de cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 68-74, 2008.
12. PARCHEN, C. F. A. **Compósito madeira-cimento de baixa densidade produzido com compactação vibro dinâmica**. 2012. 172 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.
13. PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de Pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels - EGP)**. 114f. Tese (doutorado) - Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
14. SANTOS, A. C. P. **Análise das propriedades físico-mecânicas de painéis compostos por cimento e resíduos advindos da indústria agrícola e florestal**. 2018. 30 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – UFT - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi TO, 2018.
15. SILVA, D.; CASANATTO, A.; FOSSUNA, M.; FLEMING, R. Influência da lignina em argamassa típica de revestimento. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 57. **Anais**. Bonito, 2015.
16. TAPPI. **Preparation of wood for chemical analysis. T-264 om-88**. TAPPI test methods. Atlanta: TAPPI Press. 1996.

Efeitos da substituição de aditivo sintético por aditivos naturais nas características da argamassa de cimento portland

| **Thaiury Oliveira Sousa**
UFT

| **Samara Farias de Melo**
UFT

| **Raquel Marchesan**
UFT

| **André Orathes do Rêgo Barros**
Unopar

| **Meire Cirqueira Santos**
UFT

| **Rodrigo Araújo Fortes**
IFTO

| **Renata Carvalho da Silva**
UFPR

| **Floriano Pastore Júnior**
UnB

| **Amanda Stephany Dutra de Oliveira**
UFT

| **Carla Jovania Gomes Colares**
UFT

RESUMO

Objetivo: O objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos da substituição do aditivo sintético por aditivos naturais (látex, lignina e tanino) à composição de argamassas de cimento Portland. **Metodologia:** Foram realizados quatro tratamentos com aditivos (tanino, lignina, látex sintético e natural), com seis repetições. Os corpos de provas foram confeccionados utilizando o Cimento Portland, agregado miúdo de areia média ou fina, aditivos sintéticos (acetato de polivinila e estireno butadieno) e água, variando o tipo de aditivo natural, conforme tratamento. Estes iniciaram o processo de cura por 7 dias nos moldes e, depois, mais 7 dias em imersão em água e, em seguida, 14 dias em temperatura de 20 a 25 °C, com aspersão de água. Foram então submetidos à testes para determinação das densidades aparentes unitárias, absorção em água e as resistências à compressão axial. **Resultados:** Todos os corpos de prova obtiveram densidade aparente unitária maior que a nominal ($2,0 \text{ g.cm}^{-3}$). Na compressão axial houve diferença significativa entre todos os ensaios, em que a maior média foi para o látex sintético, com 33,36 MPa, e a menor foi para o tanino, com 2,88 MPa. No teste de absorção, o látex sintético, látex natural e a lignina obtiveram resultados médios de 3,16%, 3,20%, e 3,27% respectivamente, enquanto o tanino atingiu 9,18%. **Conclusão:** O látex natural demonstrou maior potencial para substituição do aditivo sintético, podendo ser indicado para uso em blocos estruturais, em pisos intertravado e revestimento. O tratamento com o aditivo lignina se mostrou eficiente no parâmetro absorção, podendo ser utilizado em argamassa para fins de revestimento.

Palavras-chave: Absorção, Compressão Axial, Densidade, Polímeros.

■ INTRODUÇÃO

A argamassa produzida com o cimento Portland é muito utilizada na construção civil, devido às suas propriedades mecânicas, baixo custo, comportamento compatível com as exigências ambientais, níveis aceitáveis de energia requerida na fase de produção, fácil moldagem e estética agradável. Apesar da sua versatilidade, em diversas situações pode apresentar manifestações patológicas intensas e de grande incidência. Visando aumentar sua durabilidade, resistência e economia, novas tecnologias vêm sendo aplicadas com o intuito de melhorar as propriedades e desempenho das argamassas, favorecendo a qualidade final das construções.

De acordo com Pimenta (2012) os aditivos são utilizados para melhoria das condições de trabalhabilidade, na diminuição da retração e da permeabilidade, no aumento da resistência mecânica e durabilidade do concreto. Atualmente existem diversos aditivos sintéticos disponíveis no mercado, que adicionados ao cimento melhoram seu desempenho e resistência mecânica. Pesquisas realizadas mostraram que o uso de látex sintéticos como o acetato de polivinila (PVA), copolímeros acrílicos (SAE), copolímeros de etileno de vinil acetato (EVA) e o copolímero estireno butadieno (SBR), que são alguns dos polímeros utilizados em concretos e argamassas, apresentaram melhoras significativas nas suas propriedades, principalmente de resistência e durabilidade. Porém, em alguns casos, eles apresentam como principal desvantagem o alto teor de toxicidade ao meio ambiente.

Segundo Brito (2011), produtos produzidos a partir de materiais poliméricos não biodegradáveis, advindos de fontes fósseis, são considerados um problema devido ao gradativo número de descartes sem um fim adequado e ao longo período de degradação desses materiais no meio ambiente. Indústrias e pesquisadores vêm buscando opções para minimizar os impactos ambientais ocasionados pelo descarte inadequado de produtos fabricados com polímeros sintéticos. Dentre as alternativas estão o reaproveitamento e a reciclagem, práticas que vêm aumentando com o tempo. Recentemente a fabricação e emprego dos biopolímeros biodegradáveis surgem como mais uma alternativa que, devido sua viabilidade técnica e econômica, oferece grande potencial de expansão.

Os biopolímeros são polímeros ou copolímeros produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, como as advindas de espécies florestais madeireiras e não madeireiras. Dentre eles, destacam-se o látex natural extraído da espécie *Hevea brasiliensis*, os taninos extraídos de espécies do gênero *Eucalyptus* sp. e *Acacia* sp. e a lignina extraída da espécie *Eucalyptus* sp. Esses biopolímeros podem apresentar grande potencial aglomerante e adesivo, podendo substituir os polímeros sintéticos em diversos usos na construção civil, como na produção de concretos e argamassas.

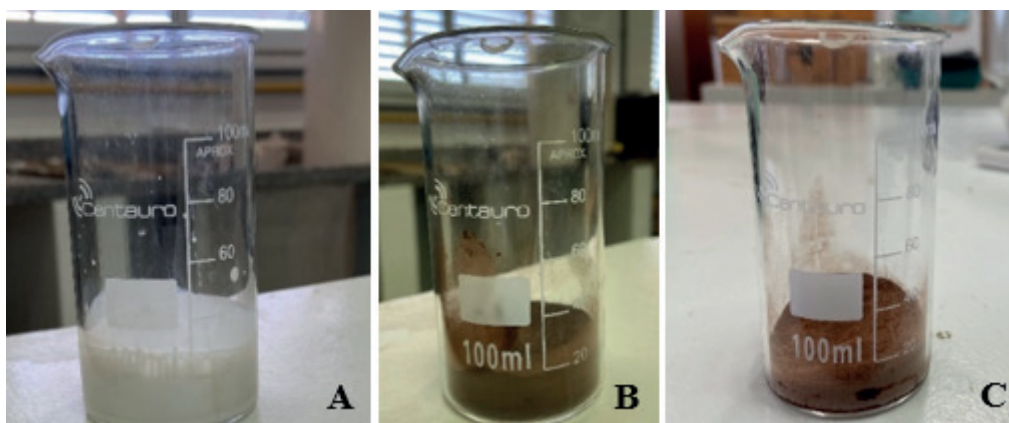
Neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos da substituição do aditivo sintético por aditivos naturais (látex, lignina e tanino) à composição de argamassas de cimento Portland.

■ MÉTODO

Coleta e preparo do material

Os materiais utilizados na produção da argamassa foram: cimento Portland tipo II (CP II), agregado miúdo (areia média ou fina), água, aditivos sintéticos (Acetato de Polivinila e Estireno Butadieno) e aditivos naturais (látex natural de *Hevea brasiliensis*, tanino de *Acacia* spp. e lignina de *Eucalyptus* spp), obtidos em parceria com o LATEQ/IQ da Universidade de Brasília (UNB), A Empresa TANAC – Unidade Tanino e em uma empresa produtora de celulose e Papel (Figura 1).

Figura 1. Aditivos naturais usados: látex (A), tanino (B) e lignina (C).



Fonte: Autor (2021).

A produção dos corpos de prova e ensaios físico-químicos foram executados nos Laboratórios de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da Universidade Federal do Tocantins (UFT) - Campus Gurupi. Os ensaios de resistência mecânica foram realizados no Laboratório de Resistência dos Materiais na Universidade Federal do Tocantins – Campus Palmas.

Ao todo foram produzidos seis corpos de provas cilíndricos e seis corpos de prova prismáticos para cada tratamento.

Determinação de quantidade de insumos

Na produção da argamassa para confecção dos corpos de provas, inicialmente determinou-se a densidade aparente nominal dos mesmos em $1,20 \text{ g/cm}^3$, em seguida, foi definido

para cada corpo de prova cilíndrico e prismático o volume dos recipientes e a proporção de cimento, areia, água e aditivo necessário para um corpo de prova, sendo utilizado a proporção de 1:2 de cimento/areia.

Determinou-se a quantidade total de sólidos, considerando a massa seca necessária para compor um corpo de prova, de acordo com os volumes dos moldes utilizados; corpos de prova cilíndricos com volume de 86,01 cm³ e corpos de prova prismáticos com volume de 250 cm³. Em seguida, foi determinada a quantidade de líquidos totais (água + aditivos) a ser utilizada na argamassa por meio de pré-testes, já que cada aditivo se comporta de forma particular.

Para definir a massa total de cimento e areia utilizou a densidade de 1,20 g/cm³ e o volume dos moldes, para consequentemente adquirir a massa total de sólidos por meio da equação 1.

$$Da = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Em que:

Da = densidade aparente (g/cm³);

M = massa total de sólidos (g);

V = volume do corpo de prova (cm³).

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as quantidades de insumos utilizados para a confecção dos corpos de prova cilíndrico e confecção dos corpos de prova prismáticos, respectivamente.

Tabela 1. Insumos utilizados na fabricação de um corpo de prova de cilíndricos destinado aos ensaios de densidade aparente unitária e compressão axial.

INSUMOS	TRATAMENTOS			
	LS ¹ (g)	LN (g)	LG (g)	TN (g)
Areia	137,6	137,6	137,6	137,6
Cimento	68,8	68,8	68,8	68,8
Aditivos	7,5	1	3	3
Plastificante	0,136	0,136	0,136	0,136
Água	22,5	29	27	27

¹ LS: Látex Sintético; LN: Látex Natural; LG: Lignina; TN: Tanino.

Tabela 2. Insumos utilizados na fabricação de um corpo de prova prismáticos destinado ao ensaio de absorção.

INSUMOS	TRATAMENTOS			
	LS ¹ (g)	LN (g)	LG (g)	TN (g)
Areia	200	200	200	200
Cimento	100	100	100	100
Aditivos	15	2,9	8,7	8,7
Plastificante	0,4	0,4	0,4	0,4
Água	60	60	60	60

¹ LS: Látex Sintético; LN: Látex Natural; LG: Lignina; TN: Tanino.

Confecção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram fabricados seguindo a norma ABNT NBR 5738 (2003). Os corpos de provas cilíndricos continham dimensões de 40 mm de diâmetro exterior e 80 mm de comprimento, proporcionando ao molde um volume líquido de 86,01 cm³. Para o fechamento do fundo do molde, colocou-se um cap próprio para tubos de PVC e foi também realizado um corte ao longo do cilindro para promover a fácil retirada dos corpos de prova (Figura 2).

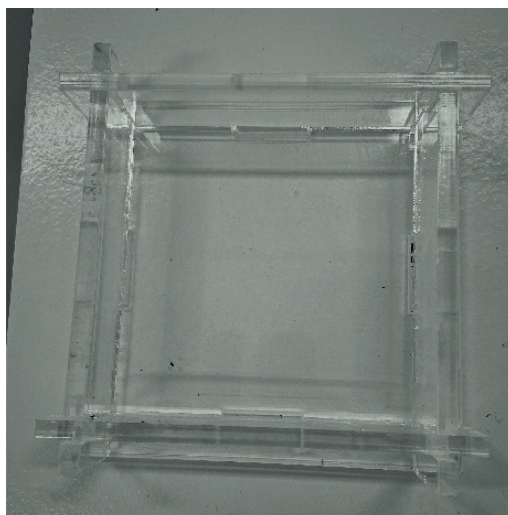
Figura 2. Molde cilíndrico de argamassa.



Fonte: Autor (2021).

Os corpos de prova prismáticos, para ensaio de absorção, foram produzidos em acrílico, com dimensões de 2,5 cm x 10,1 cm x 10,0 cm (altura x largura x comprimento, respectivamente), obtendo um volume líquido de 250 cm³ (Figura 3). Uma das laterais do molde foi elaborada com encaixe, de forma a ser removida para a fácil retirada dos corpos de prova.

Figura 3. Molde prismático.



Fonte: Autor (2021).

Inicialmente, para a mistura dos insumos, os materiais sólidos foram submetidos a pesagem exata em uma balança semi-analítica. Após a pesagem, fez-se a mistura da parte sólida (areia e cimento) aos líquidos de forma gradual, realizando a homogeneização da argamassa até conferir sua consistência plástica.

Em seguida, com a argamassa já pronta, esta foi transferida para os moldes até o enchimento total e os mesmos foram sujeitos à compactação com uma almofatriz de aço, para retirada dos vazios, evitando fissuras, e colocados em superfície plana para a cura dos corpos de prova.

Posteriormente, ainda em seus moldes, os corpos de prova foram alocados em temperatura ambiente de 20 a 25 °C por sete dias, para facilitar o desmolde. Após este período, foram retirados dos moldes e alocados em água em temperatura ambiente por mais 7 dias (Figura 4). Por fim, foram retirados da água e mantidos em temperatura ambiente com aspersão de água fria diariamente até completar 28 dias.

Figura 4. Corpos de prova imersos em água.



Fonte: Autor (2021).

Ensaio dos corpos de prova

Para realização dos cálculos de densidade aparente e resistência à compressão axial, foi necessária a determinação da área de superfície de topo pelo volume e peso dos corpos de prova cilíndricos.

Densidade aparente unitária

De acordo com a norma EN 323 (ABNT, 1993), calculou-se a densidade aparente unitária por meio da relação da massa e do volume de cada corpo de prova conforme a Equação 2.

$$Da = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Em que:

Da = densidade aparente unitária (g/cm³);

M = massa (g);

V = volume (cm³).

Compressão axial

Baseando-se na NBR 7215 (ABNT, 1996), que estabelece a resistência do material, os corpos de provas cilíndricos foram sujeitos ao ensaio mecânico de compressão axial. Desta forma, foi possível obter a resistência de compressão axial em Mega Pascal (MPa) de acordo com a Equação 3.

$$f = \frac{F}{S} \quad (3)$$

Em que:

f = resistência à compressão axial (MPa);

F = força exercida (N);

S = área (mm²)

O ensaio foi realizado com o auxílio de uma máquina universal de ensaio da marca QUANTEC (Figura 5).

Figura 5. Máquina universal com célula de carga, utilizada no ensaio de compressão axial dos corpos de prova cilíndricos.



Fonte: Autor (2021).

Absorção

Para análise de absorção, os corpos de prova prismáticos foram mantidos 24 horas em temperatura ambiente para perda de água e então pesados. Depois, foram imersos em água por 2 horas (Figura 6), anotados os valores de peso e então por mais 24 horas imersos, para nova pesagem.

Figura 6. Corpos de prova prismáticos imersos em água.



Fonte: Autor (2021).

Análises estatísticas

Para a análise estatística dos dados, aplicou-se primeiramente o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e, em seguida, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e, por fim, utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Para correlacionar os resultados, foi utilizado o teste de Correlação do Pearson.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios para os parâmetros densidade unitária, resistência à compressão axial e absorção em 2 e 24 horas, obtidos aos 28 dias de cura, para os tratamentos com látex sintético, látex natural, lignina e tanino.

Tabela 3. Valores médios de densidade aparente e resistência à compressão axial, e absorção e seus respectivos coeficientes de variação.

Tratamentos	Daunitária (g/cm ³)	Fc (MPa)	Abs 2 hs (%)	Abs 24 hs (%)
Látex Sintético	2,11 a ¹ (0,15)	33,36 a (6,79) ²	1,89 c (3,71)	3,16 b (8,00)
Latex Natural	2,07 b (0,60)	22,99 b (5,39)	2,67 b (3,94)	3,20 b (4,74)
Lignina	2,01 c (1,63)	11,89 c (10,12)	1,92 c (1,84)	3,27 b (2,30)
Tanino	2,00 c (0,67)	2,88 d (15,90)	8,61 a (13,67)	9,18 a (8,68)
Pr>Fc	*	*	*	*

¹ As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (5%).

² Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \geq 0.05$).

De acordo com os resultados, houve diferença significativa para a variável densidade aparente unitária, onde pode-se observar que o tratamento com látex sintético apresentou maior densidade (2,11 g/cm³) e o látex natural foi o que mais se aproximou do comparativo (2,07 g/cm³). Quanto a lignina e o tanino, pode-se observar que ambos assemelham estatisticamente. De maneira geral, todos os tratamentos ficaram com a densidade aparente unitária real superior à densidade aparente unitária nominal (1,20 g/cm³) definida no início dos testes. Levando em consideração os coeficientes de variação, todos os dados apresentaram baixo coeficiente de variação, isso significa que não ocorreu discrepância nas coletas dos dados, tornando as análises mais confiáveis.

Para o teste de compressão axial houve diferença significativa entre todos os tratamentos, sendo que a maior resistência à compressão foi observada para o látex sintético (33,36 MPa), seguido do látex natural (22,99 MPa), lignina (11,89 MPa) e, por fim, pelo tanino (2,88 MPa), que apresentou a média mais baixa em comparação com os demais.

Para os valores de absorção coletados às 2 h e 24 h em imersão, é possível observar que houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o látex sintético apresentou menor média nas duas situações (1,89 e 3,16%, respectivamente) e o tanino, a maior média nas duas situações (8,61 e 9,18%, respectivamente). Dentre os polímeros naturais, o látex natural (2,67 e 3,20%, respectivamente) e a lignina (1,92 e 3,27%, respectivamente) apresentaram comportamentos similares, com valores baixos para absorção, tanto para 2 h como para 24 h.

Na Tabela 4 é apresentada a correlação entre os parâmetros estudados; densidade unitária, resistência a compressão axial e absorção. Para tal, foi utilizada a correlação de Pearson (r).

Tabela 4. Correlação entre densidade unitária, resistência a compressão axial e absorção.

Parâmetros	Densidade aparente (g/cm ³)	Fc ¹ (MPa)	Abs 2 h (%)	Abs 24 h (%)
Densidade (g/cm ³)	1			
Fc (mpa)	0,9001	1		
Abs 2 h (%)	-0,5667	-0,7440	1	
Abs 24 h (%)	-0,5862	-0,7541	0,9940	1

¹ fc: resistência; Abs 2 hs: absorção em 2 horas; Abs 24 hs: absorção em 24 horas.

É possível observar uma forte correlação diretamente proporcional entre a densidade aparente unitária e a resistência à compressão, apresentando coeficiente de 0,9001, ou seja, quanto maior a densidade do corpo de prova, maior será a resistência do mesmo.

Entre a densidade e a absorção em 2 horas e em 24 horas, houve correlação média negativa, sendo inversamente proporcional, apresentando coeficientes de -0,5667 e -0,5862 respectivamente, assim, quanto maior for a densidade, menor será a absorção de água pelo concreto. Também apresentou correlação negativa na resistência à compressão em

relação à absorção em 2 e 24 horas, ou seja, quanto maior a absorção, menos resistente será o corpo de prova.

Por meio do teste de correlação de Pearson, foi possível identificar que quanto maior a densidade aparente unitária dos corpos de prova, maior foi a resistência a compressão e menor foi a absorção, podendo-se afirmar que aditivos que auxiliam na menor absorção acabam influenciando no aumento da densidade e no aumento da resistência do corpo de prova.

Segundo a NBR 8953 (ABNT, 2015) é considerado concreto normal, quando compreender densidade seca entre 2,0 g/cm³ a 2,8 g/cm³, nesse sentido, todos os tratamentos ficaram nessa faixa de densidade.

No trabalho de Nechel (2018), onde relata a densidade do concreto leve comparado com o concreto convencional, o concreto convencional apresentou densidade de 2,46 g/cm³, ficando dentro do esperado pela NBR 8953 (ABNT, 2015) quando comparado ao corpo de prova feito com látex sintético, sendo superior ao realizado no trabalho, porém, este fato pode ser explicado pelo uso do agregado graúdo na confecção da massa, e o concreto leve aparentar densidade de 1,64 g/cm³.

Considerando os valores de compressão axial, pode-se afirmar que, dentre os aditivos naturais, o que demonstrou maior potencial para substituição do aditivo sintético foi o látex natural, considerando-se valor de resistência satisfatório, porém um pouco abaixo da indicada pela NBR 8953 (ABNT, 2015), de 25 MPa.

Comparando com o trabalho realizado por Ferreira (2017), os valores de compressão axial encontrados para os corpos de prova com adição do látex natural, em comparação ao látex sintético, também foram mais baixos, obtendo média de 21,96 MPa para o componente natural e média de 26,80 MPa para o componente sintético aos 28 dias de cura. Isso pode ser explicado devido ao aumento da relação água/cimento no corpo de prova produzido com látex natural; como foi utilizada menor quantidade de aditivo, necessitou-se utilizar quantidade superior de água, implicando na sua resistência.

Quanto à variável absorção, de acordo com os resultados da Tabela 3, o polímero natural que mais se destacou foi o látex natural; tanto na resistência à compressão quanto na absorção ele se assemelhou ao látex sintético. Esse comportamento se deve ao fato de o látex natural ser uma macromolécula orgânica dispersa em água, formando dispersões estáveis que, quando seco, apresenta características ligantes, impermeáveis e de alta resistência mecânica. A utilização do látex natural no seu estado polimérico prolonga a hidratação e acrescenta ar na argamassa, características que podem influenciar no tempo de cura (SOUZA, 2019).

Já em trabalhos utilizando lignina, Calado *et al.* (2018) substituíram parte do cimento por lignina, em proporções variando de 2,5 a 5 % do polímero na massa para a constituição do

concreto. O resultado para a resistência do concreto foi aceitável, desde que não ultrapasse a substituição de 5%, ou seja, a utilização da lignina é viável, pois os dados obtidos ficaram próximos do comparativo, principalmente na absorção, pois tem o potencial de reduzir os espaços vazios da argamassa.

Relacionando a densidade unitária, resistência a compressão axial e absorção, por meio do teste de correlação de Pearson, foi possível identificar que quanto maior a densidade aparente unitária dos corpos de prova, maior foi a resistência a compressão e menor foi a absorção, podendo-se afirmar que aditivos que auxiliam na menor absorção acabam influenciando no aumento da densidade e no aumento da resistência do corpo de prova.

■ CONCLUSÃO

O uso do látex natural tem grande potencial para substituição do aditivo sintético, podendo ser indicado para uso em blocos estruturais, em pisos intertravados e revestimento.

A lignina, como aditivo, se mostrou eficiente quanto ao quesito de absorção, podendo ser utilizado em argamassa para fins de revestimento.

O uso do tanino como aditivo não é indicado para a utilização em argamassas, devido à baixa densidade, resistência e alto poder de absorção, que são características não desejáveis para argamassas e concreto.

■ REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. EM 323: **Concreto: Determinação da densidade**. Rio de Janeiro 1993.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
5. BRITO, G. F. Et al. **Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes**. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*. CAMPINA Grande, PB, v.6.2 (2011) 127-139, setembro de 2011.
6. CALADO, C. F. DE A. et al. **Estudo de viabilidade técnica para substituição parcial de cimento por lignina no concreto auto-adensável (CAA)**. 2018.

7. FERREIRA, L. R. B. **Estudos das propriedades do concreto com adição de látex para aplicação em pavimento.** Dissertação (mestrado) apresentada à Universidade Estadual Paulista na área de Estruturas. 90 p., Ilha Solteira, SP, 2017.
8. NECHEL, W.R. **Análise comparativa entre a resistência à compressão, massa específica e absorção de água do concreto normal e concreto leve.** Trabalho de conclusão de curso - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, F. 52. 2018.
9. PIMENTA, D. S. **Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita.** 2012. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.
10. SOUZA, G. F. A. **Avaliação da utilização de aditivo biopolimérico extraído do cacto Opuntia ficus indica em pastas e microconcretos de cimento Portland.** 2019.

Log-verossimilhança combinada para comparação de estruturas de continuidade espacial em floresta estacional decidual

| **Julio Cesar Wojciechowski**
UNEMAT

| **Julio Eduardo Arce**
UFPR

| **Saulo Henrique Weber**
PUC-PR

| **Paulo Justiniano Ribeiro Jr.**
UFPR

| **Carlos Alberto da Fonseca Pires**
UFSM

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo verificar a dependência espacial e distribuição do volume por hectare em três fragmentos de Floresta Estacional Decidual, localizados ao nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. As áreas possuem idades pós intervenção de 30, 55 e 75 anos e encontram-se geograficamente separadas. Por meio da combinação dos parâmetros de modelos geoestatísticos, foi verificado as diferenças ou semelhanças dos volumes nas áreas. Os dados foram coletados em 56 unidades amostrais de 250 m², distribuídas sistematicamente nas áreas em uma malha de 40 x 40 m, onde foram medidos os indivíduos com diâmetro a altura do peito (DAP) acima de 10 cm a partir do centro da unidade conforme metodologia descrita por Prodan. Para tanto, os dados foram submetidos a dois tipos de análise, sendo o primeiro um ajuste individual das áreas a título de comparação entre seus modelos e o segundo, um ajuste proposto pelo método combinado, ambos utilizando modelos geoestatísticos, com ajuste pela função da maximização do logaritmo da verossimilhança. O segundo método é proposto e investigado como alternativa para melhor explorar a informação contida nos dados, em geral escassos neste tipo de estudos para análises geoestatísticas. Foi utilizado como função de correlação o modelo exponencial da família Matèrn. Após o ajuste os modelos foram comparados pelo critério de informação de Akaike (AIC) e a relação do parâmetro alcance como indicação do grau de dependência espacial. Os resultados mostram que os modelos combinados foram superiores pois apresentaram menores valores de AIC além de um maior grau de dependência espacial em relação aos ajustes dos modelos para as áreas individuais. Indica-se a aplicação de modelos geoestatísticos de log-verossimilhança combinados em formações florestais fragmentadas para uma melhor análise e detecção da estrutura de correlação espacial do volume.

Palavras-chave: Geoestatística, Inventário Florestal, Modelos Mistos, Critério de Akaike.

■ INTRODUÇÃO

Modelos geoestatísticos baseados em ajustes por máxima verossimilhança apresentam vantagens em relação aos métodos tradicionais de inferência espacial, dentre as principais, está a maior eficiência na estimativa de parâmetros e avaliação da incerteza envolvida na estrutura da dependência, que pode ser facilmente integrada na previsão, ao contrário da geoestatística baseada em variograma (DIGGLE; RIBEIRO JR., 2007). A máxima verossimilhança é uma ferramenta de grande uso para inferência espacial, incluindo avaliação de significância estatística, cálculo de intervalos de confiança (IC), modelo de avaliação e previsão (PLONE; DUTTER, 2000).

O estimador de máxima verossimilhança possui propriedades assintóticas tal como sendo normalmente distribuído, sem viés e eficiente, ao mesmo tempo em que possui flexibilidade para as diferentes transformações da variável resposta, sendo útil para modelagem estatística em geral e para aplicações em geoestatística (DIGGLE; RIBEIRO JR., 2007)

Segundo Millar (1999) o logaritmo da função da verossimilhança (L-V) é mais utilizado na inferência do que a própria função da verossimilhança, devido a qualidades decorrentes do fato que os algoritmos numéricos possuem melhor comportamento para maximizar a log-verossimilhança do que diretamente a função de verossimilhança. Os valores da probabilidade podem ser pequenos na maioria dos casos, mas também podem ser números extremamente grandes, dependendo do modelo testado e do número de dados para estimar a função, gerando cálculos potencialmente imprecisos pela máxima verossimilhança em relação ao uso da função log-verossimilhança. A curvatura do logaritmo da verossimilhança altera em sua inclinação, conforme a derivada de 2ª ordem tendo fundamental importância, tanto na teoria quanto na prática da inferência estatística, pois marca onde o valor é máximo para a função.

Modelos combinados mistos podem ser utilizados para as seguintes finalidades (DEMIDENKO, 2013): Modelar dados com múltiplas fontes de variação; modelar dados agrupados ou longitudinais complexos (dados geográficos); modelar variabilidade e heterogeneidade biológica; como um modelo estatístico para log-verossimilhança; para fornecer uma base teórica fidedigna para o critério de informação de Akaike (AIC); para lidar com parâmetros de multidimensionalidade (reconstituição e calibração de imagens geoposicionadas), dentre outras aplicações matemáticas.

As variáveis dendrométricas como a altura, diâmetro, área basal, biomassa aérea e volume podem demonstrar certa dependência espacial, resultante dos processos naturais de crescimento inerentes à competição por espaços e recurso disponíveis em um determinado local. Essa interdependência pode ser analisada através da distância entre as árvores ou fatores relacionados à estabilização das espécies ao longo do desenvolvimento de uma determinada floresta (WHITMORE, 1990; RODE *et al.*, 2010; AMARAL *et al.*, 2011).

No presente estudo, objetivou-se verificar a dependência espacial e distribuição do volume por hectare em três fragmentos de Floresta Estacional Decidual com uso de um modelo geoestatístico capaz de expressar as diferenças ou semelhanças biológicas desses fragmentos considerando nas análises a combinação dos dados das três áreas.

■ MATERIAL E MÉTODOS

Aspectos gerais e fitofisionômicos

Os fragmentos localizam-se próximos ao município de Santa Tereza, região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. As áreas somam 9 hectares subdivididos por critérios de homogeneidade fisionômica e idade pós-intervenção (corte raso de árvores de interesse) em: floresta madura (FMA) com 75 anos; floresta em estágio secundário (FES), com 55 anos e floresta em estágio inicial (FEI) com 30 anos (VACCARO, 1997). A distância entre as áreas FEI e FES é de 0,8 km, enquanto que a área mais afastada (FMA) dista 3,5 km em relação aos outros dois fragmentos. O Clima é classificado como tipo Cfa, subtropical úmido, segundo Köppen (MORENO, 1961).

A vegetação é classificada como Floresta Estacional Decidual (70% a 90% das árvores emergentes perdem completamente as folhas durante o inverno) e pertence a região fitogeográfica da Bacia do rio Jacuí (REITZ *et al.*, 1988). Em relação às fitofisionomias e às espécies encontradas pode-se afirmar que a FMA, apresentou três estratos arbóreos bem definidos e um estrato superior emergente com alguns indivíduos de grande porte, sendo: *Gymnanthes concolor* Spreng., *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W. C. Burger *et al.* e *Trichilha elegans* A. Juss., as espécies mais frequentes encontradas na área. Notou-se na FES a existência de dois estratos de porte arbóreos contínuos e bem definidos e um terceiro estrato acima destes em formação, com árvores esparsas e sem entrelaçamento de copas, enquanto que a FEI apresentou dois estratos arbóreos não muito definidos, com um estrato arbustivo denso composto de *Cupania vernalis* Cambess., *Trichilha elegans* A. Juss., *Allophylus edulis* (A. St.-Hil. *et al.*) Radlk. e *Luehea divaricata* Mart. et Zucc., e um herbáceo composto principalmente de gramíneas para ambas as áreas de FEI e FES.

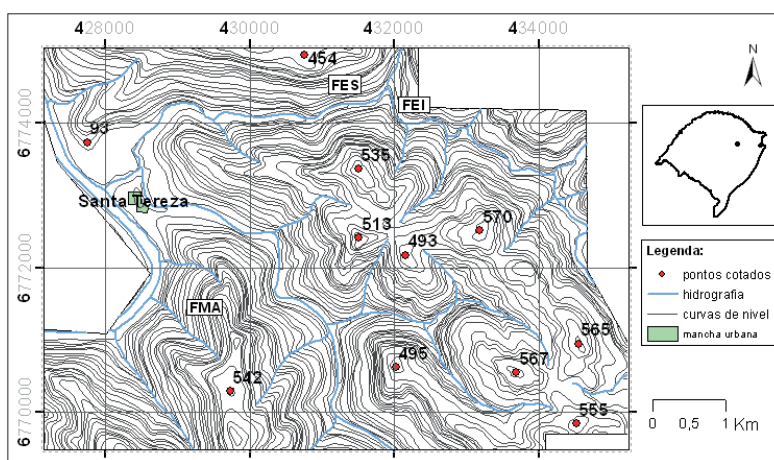
Amostragem e obtenção dos dados

Foi utilizada uma amostragem do tipo sistemática onde cada nó da malha de pontos era alocado uma unidade amostral, totalizando 56 parcelas distribuídas de forma a cobrir toda a extensão dos fragmentos. As unidades amostrais (u.a) foram instaladas com

distâncias regulares de 40 x 40 m com auxílio de um mapeamento prévio utilizando GPS e trena, sendo divididas entre as áreas da seguinte forma: 17 na FEI, 20 na FES e 19 na FMA. O efeito de borda foi atenuado, tomando-se uma distância mínima de 15 metros para o interior dos fragmentos.

Adotou-se parcela de área variável com o método de amostragem com inclusão das árvores proporcional à distância. A intensidade amostral mínima admitida foi de 10 %, que resultou em parcelas com tamanhos entre 200 a 250 m², conforme metodologia descrita por Prodan (1965). No entanto, foi adotado como raio da unidade amostral a distância da oitava árvore, ou seja, inclusão de 2 árvores a mais do método de 6 árvores, o que resultou em uma diminuição de 20 % do total da variância por u.a. Assim, foram medidas 8 árvores próximas do ponto amostral de cada parcela, sendo a 8ª árvore contada como meia. Todas as árvores com DAP ≥ 10 cm foram identificadas e medidas suas distâncias, altura comercial e total, para posterior cálculo do volume. Para o cálculo do volume individual comercial utilizou-se um fator de forma “f = 0,65” adotado para florestas decíduais na região serrana do Estado do Rio Grande do Sul (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2001). A Figura 1 ilustra a posição dos fragmentos no estado e em detalhe no município.

Figura 1. Localização dos fragmentos FEI, FES e FMA próximo ao município de Santa Tereza-RS.



Análise dos dados

Foi elaborado a partir da estatística espacial descritiva um gráfico dos quantis, bem como, uma análise que verifica possíveis tendências na distribuição espacial em relação aos eixos de coordenadas X e Y (UTM) e por fim, um histograma de frequência para o volume (m³.ha⁻¹). A análise da transformação dos dados foi realizada pelo perfil da log-verossimilhança dado pelo método de *Box-Cox* (BOX; COX, 1964), assumindo como parâmetro de transformação o valor $\lambda = 0$, o que corresponde à transformação logarítmica.

Ajuste e seleção dos modelos pela função log-verossimilhança

Foram testados modelos, individuais M01 (FEI), M02 (FES) e M03 (FMA) e combinados (M04 a M11). Os modelos combinados foram construídos com base na complexidade de parâmetros resultante da combinação entre (β , τ^2 , σ^2 e Φ), a partir do modelo mínimo (todas as áreas são semelhantes), até o modelo máximo (todas as áreas são distintas), conforme tabela 1.

Tabela 1. Resumo dos modelos geoestatísticos combinados e número de parâmetros.

Modelo	Parâmetros combinados dos modelos geoestatísticos	Npars
M04	Combinação dos parâmetros β , τ^2 , σ^2 e Φ iguais nas áreas FEI, FES e FMA	4
M05	Combinação da variância espacial (σ^2) e o alcance (Φ) iguais FEI, FES e FMA	7
M06	Combinação dos parâmetros β , τ^2 , σ^2 e Φ iguais nas áreas FEI e FES	8
M07	Combinação da média dos volumes (β) e efeito pepita (τ^2) iguais nas áreas FEI e FES, e do parâmetro alcance (Φ) nas áreas FES e FMA	9
M08	Combinação da média dos volumes (β) nas áreas FEI e FES e da variância espacial (σ^2) e alcance (Φ) nas áreas FES e FMA.	9
M09	Combinação da média dos volumes (β), efeito pepita (τ^2) e alcance (Φ) nas áreas FEI e FES	9
M10	Combinação da variância espacial (σ^2) nas áreas FEI, FES e FMA	10
M11	Combinação todos os parâmetros β , τ^2 , σ^2 e Φ diferente nas áreas FEI, FES e FMA	12

Foi utilizado o modelo exponencial para explicar a correlação do (log) volume nas áreas. Este modelo é um caso particular da função Matèrn (MATÈRN, 1986), que se aproxima do modelo exponencial quando utilizado $kappa$ (κ) = 0,5 como parâmetro de suavização (1).

$$\rho(u) = \{2^{K-1}\Gamma(K)\}^{-1}(u/\Phi)^K K_K(u/\Phi) \quad (1)$$

Foi utilizado o modelo “ $y_i = D\beta + s(x_i) + e_i$ ” como base para o ajuste dos (log) volumes por verossimilhança, sendo as observações $y_i = y_1, y_2, \dots, y_n$, normalmente distribuídas, em que y_i é o vetor da variável resposta observada na posição x_i , D é uma matriz de covariáveis com dimensão $n \times p$; β o vetor dos parâmetros da regressão e; e_i , um termo independente associado ao erro aleatório com média “0” e variância “ τ^2 ”. Sendo o “ τ^2 ” conhecido como “*nugget effect*” ou efeito pepita. $S(x_i)$ é a matriz de efeitos aleatórios na qual admite-se que segue uma distribuição normal multivariada (NMV) por aproximação dada por $S(x_i) \sim NMV [0, \sigma^2 R(\Phi)]$, com média zero; variância σ^2 e função de correlação $\rho(u; \Phi, K)$. Sendo “ u ” a distância euclidiana entre os pontos observados, em função do grau de associação espacial Φ , do parâmetro de suavização $kappa$ e da matriz de covariâncias $R(\Phi)$ do elemento $\rho(u)$ (DIGGLE; RIBEIRO JR., 2007).

Dessa forma, os parâmetros do modelo geoestatístico foram estimados pela função do logaritmo da verossimilhança maximizada de acordo com a expressão (2):

$$L(\beta, \tau^2, \sigma^2, \Phi) = -1/2 \{n \log(2\pi) + \log\{|\sigma^2 R(\Phi) + \tau^2 I|\} + (y - D\beta)^T (\sigma^2 R(\Phi) + \tau^2 I)^{-1} (y - D\beta)\} \quad (2)$$

Adotou-se como critério de seleção de modelos a Informação de Akaike (AKAIKE, 1974), para as diferentes relações de covariância dos parâmetros combinados, sendo que o melhor modelo é aquele que apresenta o menor valor de AIC, calculado pela seguinte expressão (3):

$$AIC = -2 * (L - V) + k * Npar \quad (3)$$

Em que, L-V é o logaritmo da verossimilhança maximizada; k é o termo da fórmula que penaliza o modelo de maior número de parâmetros em relação a um de menor número (k = 2), para a fórmula clássica do AIC e Npar é o número de parâmetros estimados pelo modelo. O termo (L-V) foi utilizado para avaliar o comportamento da função frente à transformação logarítmica do conjunto de dados da variável resposta, no caso o volume em m³ por hectare.

De acordo com Burnham; Anderson (2002), o teste de AIC não somente seleciona o modelo mais adequado, mas também o quanto, sendo utilizado para qualquer tipo de modelo, tanto lineares, como não lineares, aninhados e não aninhados.

Todos os dados utilizados para os diferentes métodos foram tabulados e analisados utilizando o programa computacional R Core Team (2013), e os pacotes geoR (RIBEIRO JR.; DIGGLE, 2001), MASS (VENABLES; RIPLEY, 2002) e sp (PEBESMA; BIVAND, 2005).

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estatística descritiva e análise exploratória

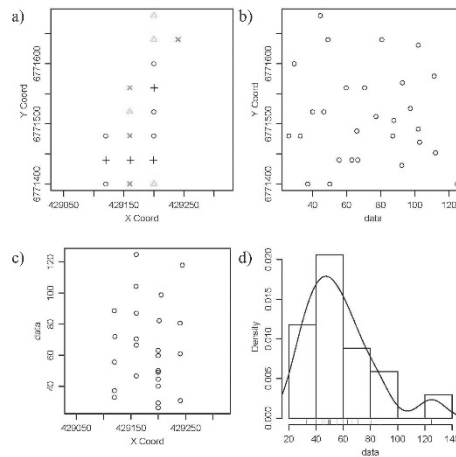
Observou-se que na área de FEI, os valores mínimos e máximos da distribuição dos volumes foram, respectivamente, 26,3 m³ e 125,0 m³, com média 56,8 m³ por hectare, divididos em quartis de 40,2; 50,2 e 66,6 m³. Na FES, os valores mínimos e máximos da distribuição foram 25,1 m³ e 249,0 m³ respectivamente, com média de 90,3 m³ por hectare, com quartis de 42,4; 73,1 e 111 m³ por hectare.

A FMA obteve valores mínimos e máximos de 10,8 m³ e 265 m³ respectivamente, com média igual a 82,0 m³ por hectare, com quartis de 37,8; 66,1 e 115,1 m³. No total dos fragmentos, os volumes estimados obtiveram valores de coeficiente de variação máximo de 30%.

A figura 2 apresenta os gráficos de análise exploratória após a retirada dos valores atípicos, para os dados da área FEI. No gráfico “a” estão representados os símbolos dos quartis de uma distribuição empírica dos valores de volume (m³ ha⁻¹).

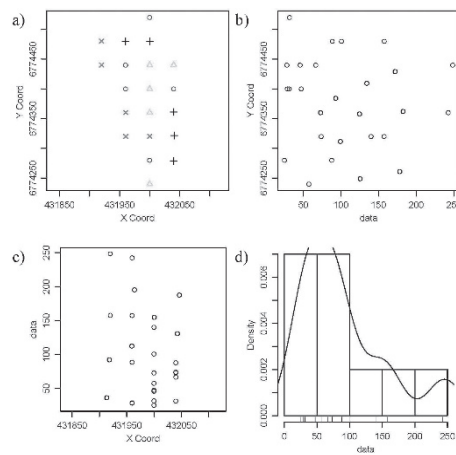
O gráfico “b” e “c” apresentam a dispersão linear em razão das coordenadas “x” e “y”, indicando uma possível não estacionaridade da média, porém de difícil confirmação com esta quantidade de dados. O gráfico “d” mostra um histograma onde observa-se um maior número de indivíduos na classe que compreende os volumes entre 40,0 a 60,0 m³.ha⁻¹.

Figura 2. a) Parcelas (+ = valor mínimo até 25% do total observado, Δ = 25 a 50%, o = 50 a 75% e x = 75% até o valor máximo observado); b) e c) dispersão dos valores contra as coordenadas da área; d) histograma de frequência do volume ($m^3 \cdot ha^{-1}$) na área de FEI.



O histograma da FES (Figura 3) revela maior concentração dos volumes entre o intervalo de 0 a $100 m^3 \cdot ha^{-1}$, enquanto na FMA, entre os intervalos de 0 a 50 e de 100 a $150 m^3 \cdot ha^{-1}$, mostrando falhas na distribuição, oriundas de classes do volume faltantes, padrões típicos de florestas que sofreram cortes seletivos de indivíduos de maior interesse comercial (SCHNEIDER; FINGER, 2000).

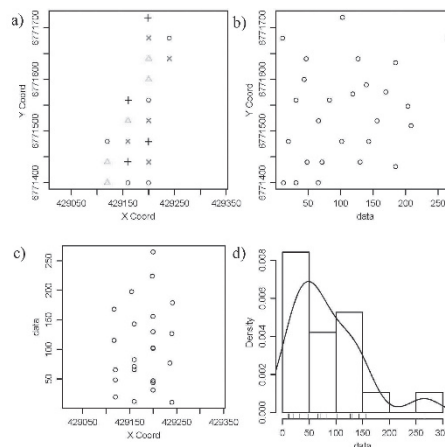
Figura 3. a) Parcelas (+ = valor mínimo até 25% do total observado, Δ = 25 até 50%, o = 50 até 75% do total observado, x = 75% ao valor máximo observado); b) e c) dispersão dos valores contra as coordenadas da área; d) histograma de frequência do volume ($m^3 \cdot ha^{-1}$) na área de FES.



Analisando o conjunto de informações para a FES e FMA (Figuras 3 e 4), a dispersão dos dados contra as coordenadas “x” e “y” parecem semelhantes para ambas as áreas, sem tendências evidentes em nenhum sentido do eixo de coordenadas, porém, mal distribuídos.

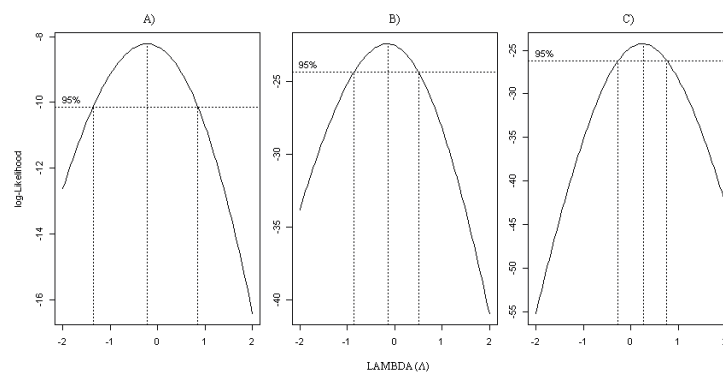
Vieira (1995) comenta, a respeito da distribuição não uniforme de observações, que tal fato pode gerar semivariograma sem patamar, ou com patamar não definido, os chamados variogramas transitivos, dificultando a aplicação dos ajustes por esse método.

Figura 4. a) Parcelas (+ = valor mínimo até 25% do total observado, Δ = 25 até 50%, o = 50 até 75%, x = 75% ao valor máximo observado); b) e c) dispersão dos valores contra as coordenadas da área; d) histograma de frequência do volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) na área de FMA.



Os gráficos de histogramas nas figuras 2, 3 e 4 bem como os testes de normalidade aplicados para cada área em separado, indicaram a necessidade da transformação dos dados da variável resposta volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), de tal forma que acarretou na redução da variabilidade e normalização dos resíduos. Para Ribeiro Jr. (1995), a normalidade dos dados é uma exigência na aplicação das técnicas de modelagem pelo método de máxima verossimilhança, no qual tem por base a distribuição de Gauss. A transformação dos dados pela análise gráfica do perfil da verossimilhança de Box-Cox resultou em um valor de lambda ($\lambda = 0$) comum para as três áreas (Figura 5). Esse resultado possibilitou a integração dos modelos combinando a informação dos volumes das diferentes áreas.

Figura 5. Perfil da log-verossimilhança para o parâmetro de transformação Box-Cox aplicado a variável volume nas áreas: A) FEI, B) FES e C) FMA.



Para Vuolo (1996) a transformação obtida melhora a aproximação à normalidade, porém é necessária cautela, pois, não há garantias de que mesmo a melhor escolha de transformação a ser realizada produzirá um conjunto de dados transformados que seja adequado à suposição de normalidade. É possível após uma transformação, alguns dos valores originalmente fora do conjunto de dados podem acompanhar a distribuição (KITANIDIS, 1997). O autor ressalta ainda que, os resultados obtidos por uma transformação devem ser

cuidadosamente examinados, pois em muitos casos, os chamados valores extremos são as medidas mais interessantes no conjunto de dados. Essa recomendação de fato vale para qualquer transformação usada em modelos. A transformação reduziu a variância do volume, que no caso dos dados transformados, acompanham a média.

Ajuste dos modelos pela função log-verossimilhança

Na Tabela 2 se encontram os resultados do ajuste para as áreas em separado, onde o modelo “M02” obteve um alcance prático (a) de 44,03 m, enquanto que os modelos “M01” e “M03” para o mesmo parâmetro foram 7,43 m e 7,62 m respectivamente. Os valores do ajuste indicam ser possível, dado o espaçamento entre parcelas adotado (malha de 40 m), explicar a estrutura da continuidade espacial, ou seja, a homogeneidade dos volumes de maneira satisfatória apenas no fragmento FES onde o alcance foi maior. Assim sendo, a estimativa individual das áreas não acarretaria em vantagens do ponto de vista da predição do fenômeno estudado, pois teríamos apenas uma superfície com a distribuição dos volumes modelada pelo respectivo valor médio.

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros ajustados por log-verossimilhança aplicada à variável volume nas áreas FEI-FES-FMA.

Modelos	Estimativas (4 parâmetros)					a
	β	τ^2	σ^2	$\tau^2 + \sigma^2$	Φ	
M01 (FEI)	3,995	0,151	0,005	0,156	2,4747	7,43
M02 (FES)	4,273	0,001	0,474	0,475	14,697	44,03
M03 (FMA)	4,101	0,685	0,025	0,710	2,546	7,62

β = média dos volumes; τ^2 = efeito pepita; σ^2 = contribuição; $\tau^2 + \sigma^2$ = patamar; Φ = alcance; a = alcance prático (3Φ para $Kappa$ 0,5).

Ajuste dos modelos pela função log-verossimilhança combinada

Observa-se na Tabela 3 o ajuste do modelo (M04) mais parcimonioso ou modelo mínimo, partindo da suposição de que todas as áreas são semelhantes, ou seja, possuem valores muito próximos de seus volumes médios (β), variância não espacial (τ^2) bem como os componentes pertencentes à variabilidade espacial explicada (σ^2) e o alcance (Φ).

Em uma análise preliminar, partindo da premissa básica que os fragmentos pertencem à mesma fitofisionomia e que diferem somente em idades pós-intervenção, a resposta do grau de associação espacial entre as parcelas para o modelo resultou em um o alcance prático abaixo do espaçamento entre as amostras (a = 9,15 m). Dessa forma, têm-se uma variabilidade explicada até essa distância. Outro ponto a ser observado é a relação sinal-ruído que é a razão da variância espacial pela variância aleatória, considerada fraca para esse modelo (BONAT *et al.*, 2011).

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros ajustados por log-verossimilhança aplicada à variável volume combinando (β , τ^2 , σ^2 e Φ) do modelo nas áreas FEI-FES-FMA.

M04	Estimativas (4 parâmetros)					a
	β	τ^2	σ^2	$\tau^2 + \sigma^2$	Φ	
FEI						
FES	4,1168	0,0070	0,4939	0,5009	3,0493	9,15
FMA						

β = média dos volumes; τ^2 = efeito pepita; σ^2 = contribuição; $\tau^2 + \sigma^2$ = patamar; Φ = alcance; a = alcance prático (3Φ para kappa 0,5).

Na tabela 4 são apresentados os resultados de um novo modelo de log-verossimilhança (M05) que testa a possibilidade das áreas possuírem o mesmo componente estrutural, considerando comuns a variabilidade espacial (σ^2) e o alcance (Φ). Esse modelo estimou 8 parâmetros sendo elaborado de modo a ajustar valores diferentes para média do volume (β) e variabilidade não espacial (τ^2) em cada área

Tabela 4. Estimativa dos parâmetros ajustados por log-verossimilhança aplicada à variável volume combinando (σ^2 e Φ) do modelo nas áreas FEI-FES-FMA.

M05	Estimativas (8 parâmetros)					a
	β	τ^2	σ^2	$\tau^2 + \sigma^2$	Φ	
FEI	3,9599	0,0020		0,3226		
FES	4,2648	0,0020	0,3206	0,3226	5,2162	15,65
FMA	4,1014	0,3838		0,7044		

β = média dos volumes; τ^2 = efeito pepita; σ^2 = contribuição; $\tau^2 + \sigma^2$ = patamar; Φ = alcance; a = alcance prático (3Φ para kappa 0,5).

Analisando os resultados das estimativas dos parâmetros para esse cenário, houve uma alteração no alcance (a) de 9,15 m no modelo “M04” para 15,56 m no modelo “M05”. Contudo não se configura em um modelo adequado, pois o alcance prático de 15,65 m ainda é inferior ao espaçamento mínimo entre parcelas.

Os modelos combinados “M04” e “M05” resultaram em uma perda do grau de dependência espacial em relação ao encontrado no modelo ajustado para as áreas individuais “M02”. Sendo que, o alcance do modelo foi reduzido de 44,03 m para 15,65 e 9,15 m respectivamente nos modelos “M05” e “M04”. Dessa forma, as áreas podem tanto combinar informações com a finalidade de explicar a dependência espacial da variável resposta, como também, a resultante dessa combinação, pode reduzir a extensão da correlação espacial de acordo com a configuração do modelo.

Wu (2010) comenta que, em se tratando de modelos mistos a combinação resultante da tentativa de ajuste dos parâmetros, tem inferência direta na matriz de variância e covariância dos modelos. Isso é possível, pois os modelos foram construídos de forma a garantir que as áreas analisadas expressem suas similaridades ou diferenças, dando a mesma chance para ambas ocorrerem.

O modelo “M06” relaciona duas das áreas que são mais próximas, no caso a áreas FEI e FES (0,8 km) em relação à área FMA (3,5 km), combinando os parâmetros (β , τ^2 , σ^2 e Φ) entre as áreas FEI e FES, com separabilidade na área de floresta madura (FMA), conforme tabela 5.

Tabela 5. Estimativa dos parâmetros ajustados por log-verossimilhança aplicada à variável volume com combinação dos parâmetros (β , τ^2 , σ^2 e Φ) do modelo nas áreas FEI-FES.

M06	Estimativas (8 parâmetros)					a
	β	τ^2	σ^2	$\tau^2 + \sigma^2$	Φ	
FEI	4,1247	0,0069	0,3439	0,3508	13,1749	39,52
FES						
FMA	4,1014	0,2039	0,6892	0,8931	3,4366	10,31

β = média dos volumes; τ^2 = efeito pepita; σ^2 = contribuição; $\tau^2 + \sigma^2$ = patamar; Φ = alcance; a = alcance prático (3Φ para $kappa$ 0,5).

Pode-se observar no parâmetro alcance (Φ), que houve um aumento da extensão da correlação espacial em relação aos modelos anteriores (15,65 m para 39,52 m), porém ainda abaixo do menor espaçamento entre os pontos. Dessa forma temos que, as áreas FEI e FES, em conjunto, nessa configuração do modelo, não explicam a variabilidade dos volumes em toda a extensão das mesmas.

Ao truncar os parâmetros do modelo para determinada hipótese incluímos uma condição, ou inferência *a priori* para analisar seus efeitos no modelo *a posteriori*. O resultado do processo é analisado de forma integrada, porém, antes dos testes de validação, um parâmetro importante a ser observado é o alcance prático (a), pois representa uma distância em metros com seu resultado obtido pela multiplicação do valor do parâmetro (Φ) por 3 ($kappa = 0,5$) para função de correlação exponencial.

Os parâmetros alcance (Φ) e suavidade $kappa$ (k) do modelo Matèrn não são ortogonais, isso implica que as escalas correspondentes as diferentes ordens de correlação Matèrn não são diretamente comparáveis, mas uma depende da outra. Para tal, suas aproximações são dadas para o alcance prático em 3 ; $4,75$ e $5,9 \Phi$, para o parâmetro $kappa$ igual a $0,5$; $1,5$ e $2,5$ respectivamente, e $\sqrt{3}\Phi$ para função de correlação gaussiana (DIGGLE; RIBEIRO JR, 2007)

Foi testado um modelo intermediário com 9 parâmetros ajustados “M07” (Tabela 6), combinando a média (β) e o *nugget* (τ^2) para as áreas FEI e FES, e fixando o alcance (Φ) do modelo nas áreas de FES e FMA. Nessa condição, os padrões espaciais para o volume possuem forte correlação de continuidade espacial nas áreas quando combinando a informação desses dois fragmentos, corroborado pelos valores do alcance prático que aumentaram de 39,52 m (M06) para 66,09 m (M07) nas áreas.

Tabela 6. Estimativa dos parâmetros ajustados por log-verossimilhança aplicada à variável volume combinando (β e τ^2) do modelo nas áreas FEI-FES e (Φ) nas áreas FES-FMA.

M07	Estimativas (9 parâmetros)					a
	β	τ^2	σ^2	$\tau^2 + \sigma^2$	Φ	
FEI	4,0155	0,0007	0,1585	0,1592	0,5043	1,51
FES			0,5374	0,5381	22,0324	66,09
FMA	4,1014	0,7097	0,1211	0,7098		66,09

β = média dos volumes; τ^2 = efeito pepita; σ^2 = contribuição; $\tau^2 + \sigma^2$ = patamar; Φ = alcance; a = alcance prático (3Φ para $kappa$ 0,5).

Na Tabela 7 são apresentados os resultados dos testes com hipótese de que o volume médio (β) e semelhante nos fragmentos FEI e FES, com a variabilidade associada ao erro aleatório (τ^2) diferente entre as áreas, porém como os componentes da variabilidade espacial estruturada σ^2 e Φ semelhante para FES e FMA. O modelo obteve um alcance prático igual a 35,37 m para as áreas FES e FMA. Na floresta em estágio inicial (FEI) o alcance prático (7,62 m) ficou bem abaixo do menor espaçamento entre as parcelas (40 m).

Tabela 7. Estimativa dos parâmetros ajustados por log-verossimilhança aplicada à variável volume combinando (β) do modelo nas áreas FEI-FES e (σ^2 e Φ) nas áreas FES-FMA.

M08	Estimativas (9 parâmetros)					a
	β	τ^2	σ^2	$\tau^2 + \sigma^2$	Φ	
FEI		0,0195	0,1426	0,1620	2,5388	7,62
FES	4,0394	0,0070	0,5084	0,5154	11,7897	35,37
FMA	4,0980	0,2169		0,7253		35,37

β = média dos volumes; τ^2 = efeito pepita; σ^2 = contribuição; $\tau^2 + \sigma^2$ = patamar; Φ = alcance; a = alcance prático (3Φ para $kappa$ 0,5).

O modelo “M09” ajustou os parâmetros levando em conta o compartilhamento de β , τ^2 e Φ para as áreas FEI-FES, enquanto que o parâmetro da variabilidade espacial (σ^2) foi diferente para as 3 áreas. Essa condição ajustou um modelo que é forte candidato a predição em uma primeira análise, visto que o alcance prático foi o maior dentre os modelos testados até o momento (75,54 m). Sendo confirmado esse modelo pelos critérios de seleção propostos (AIC), a espacialização dos volumes se daria apenas em 2 áreas. Percebe-se até agora a ausência de um modelo que explique de maneira satisfatória, através da inferência resultante dos seus parâmetros combinados, a variabilidade espacial em todas as áreas (Tabela 8).

Segundo Pélissier; Goreaud (2001), a formação de padrões em sistemas biológicos é normalmente muito mais complexa, pois possuem como característica forte a heterogeneidade espacial, visto que métodos clássicos de estudos de padrões e distribuição do ponto de vista espacial costumam assumir a hipótese da homogeneidade.

Tabela 8. Estimativa dos parâmetros ajustados por log-verossimilhança aplicada à variável volume combinando (β , τ^2 e Φ) do modelo nas áreas FEI-FES.

M09	Estimativas (9 parâmetros)					a
	β	τ^2	σ^2	$\tau^2 + \sigma^2$	Φ	
FEI	4,0154	0,1582	0,0700	0,2282	25,1811	75,54
FES			0,4723	0,6305		
FMA	4,1014	0,0597	0,7055	0,7652	0,1932	0,57

β = média dos volumes; τ^2 = efeito pepita; σ^2 = contribuição; $\tau^2 + \sigma^2$ = patamar; Φ = alcance; a = alcance prático (3Φ para $kappa$ 0,5).

O modelo “M10” supõe que as áreas possuem em comum a distribuição espacial dos volumes (σ^2) de seus indivíduos no espaço, diferindo em suas médias (β), erro aleatório (τ^2) e alcance do processo (Φ). Conforme pode ser observado na Tabela 9, o modelo ajustou os parâmetros para essa condição e obteve um alcance de 3,43 m; 46,69 m e 9,21 m respectivamente para FEI, FES e FMA.

Tabela 9. Estimativa dos parâmetros ajustados por log-verossimilhança aplicada à variável volume combinando (σ^2) do modelo nas áreas FEI-FES-FMA.

M10	Estimativas (10 parâmetros)					a
	β	τ^2	σ^2	$\tau^2 + \sigma^2$	Φ	
FEI	3,9599	0,0009		0,1562	1,1442	3,43
FES	4,2682	0,3164	0,1557	0,04926	15,5642	46,69
FMA	4,1014	0,5539		0,7153	3,0692	9,21

β = média dos volumes; τ^2 = efeito pepita; σ^2 = contribuição; $\tau^2 + \sigma^2$ = patamar; Φ = alcance; a = alcance prático (3Φ para $kappa$ 0,5).

Agora, assumiu-se *a priori*, para ajuste da equação o modelo “M11”, que todas as áreas possuem características distintas, ou seja, sem estipular efeitos fixos. Esse modelo considera somente os efeitos aleatórios, deixando os parâmetros livres para as estimativas das médias (β) para os valores observados de volume, variabilidade espacial (σ^2), erro aleatório (τ^2) e grau de dependência espacial (a), distintos para todas as áreas.

Tabela 10. Estimativa dos parâmetros ajustados por log-verossimilhança aplicada à variável volume nas áreas FEI-FES-FMA.

M11	Estimativas (12 parâmetros)					a
	β	τ^2	σ^2	$\tau^2 + \sigma^2$	Φ	
FEI	3,9600	0,0005	0,1556	0,1561	0,2763	0,83
FES	4,2733	0,0012	0,4722	0,4734	14,7003	44,10
FMA	4,1014	0,0042	0,7054	0,7096	0,2104	0,63

β = média dos volumes; τ^2 = efeito pepita; σ^2 = contribuição; $\tau^2 + \sigma^2$ = patamar; Φ = alcance; a = alcance prático (3Φ para $kappa$ 0,5).

Em análise, as áreas mais fracas do ponto de vista do número de parcelas (FEI-FMA) perderam parte do alcance para FES, tendo seu alcance prático aumentado para 44,10 m. Sendo esse modelo, algo mais próximo do ajuste para as áreas individuais (M02, a = 44,03 m), dado a pequena diferença entre os alcances encontrados de um modelo para o outro. Isto indica que os efeitos livres (todas as áreas diferentes) dos parâmetros de um modelo combinado podem ser muito próximos aos ajustes individuais.

Seleção do modelo pelo critério de Akaike (AIC) e alcance (a)

Na Tabela 11 é apresentado o ranking dos modelos ajustados em ordem crescente de AIC. Observa-se que os modelos ajustados pelo método de combinação das áreas obtiveram sucesso em melhorar as estimativas dos parâmetros, que apresentaram valores de AIC menores em comparação aos modelos ajustados individualmente (M01, M02 e M03). O maior valor do AIC dos modelos compartilhados (M11, AIC = 129,77), é inferior ao menor valor encontrado nos modelos ajustados individualmente (M01, AIC=159,3). A utilização de covariáveis como altura, ou mesmo variáveis de distância, podem melhorar substancialmente a interpretação dos efeitos mistos nos modelos ajustados por máxima verossimilhança, melhorando os valores do AIC (GREGOIRE; SCHABENBERGER, 1994)

Tabela 11. Seleção pelo critério Akaike e alcance prático dos modelos combinados nas áreas FEI, FES, FMA.

Mod.	Parâmetros				L-V	(a)	AIC
	β	τ^2	σ^2	Φ			
M04	fei=fes=fma	fei=fes=fma	fei=fes=fma	fei=fes=fma	-58,4	9	124,99
M07*	(fei=fes)≠fma	(fei=fes)≠fma	fei≠fes≠fma	fei≠(fes=fma)	-54,0	2, 66, 66	125,02
M09	(fei=fes)≠fma	(fei=fes)≠fma	fei≠fes≠fma	(fei=fes)≠fma	-54,0	75, 75, 1	125,11
M05	fei≠fes≠fma	(fei=fes)≠fma	fei=fes=fma	fei=fes=fma	-55,5	16	125,18
M10	fei≠fes≠fma	fei≠fes≠fma	fei=fes=fma	fei≠fes≠fma	-52,9	3, 47, 9	125,86
M08	(fei=fes)≠fma	fei≠fes≠fma	fei≠(fes=fma)	fei≠(fes=fma)	-54,2	8, 35, 35	126,59
M06	(fei=fes)≠fma	(fei=fes)≠fma	(fei=fes)≠fma	(fei=fes)≠fma	-56,7	39, 39, 10	129,55
M11	fei≠fes≠fma	fei≠fes≠fma	fei≠fes≠fma	fei≠fes≠fma	-52,8	1, 44, 1	129,77
M01	-	-	-	-	-75,6	7	159,30
M03	-	-	-	-	-105,1	7	218,30
M02	-	-	-	-	-111,9	44	231,30

Mod. = modelo matemático; * = melhor modelo pelo critério de Akaike (AIC) e alcance prático ($a = 3\Phi$ para $kappa 0,5$); β = vetor de médias; $\tau^2 = nugget$; σ^2 e Φ = correlação espacial; L-V = log-verossimilhança para FEI, FES, FMA respectivamente.

O modelo “M07” obteve o melhor ajuste dentre os modelos testados com um AIC de 125,02 e extensão da correlação espacial $3\Phi = 66,09$ m. Outro ponto que deve ser levado em consideração quando se trata de modelos combinados, é que o modelo deve explicar a dependência espacial da variável em estudo, no maior número de locais possíveis. Quando se tratam de áreas compostas, o parâmetro alcance é um indicativo importante como resultado do processo de escolha, sendo também um dos critérios adotados para predição da superfície utilizando krigagem.

O melhor valor de AIC encontrado foi no modelo “M04”, porem o grau de dependência espacial resultante foi de apenas 9 m, indicando que a correlação entre os pontos, na condição de igualdade para as três áreas e fraca. Os modelos “M07” e “M09” aparecem como boas alternativas para relação de dependência espacial, com valores de alcance prático de 66 m (FES-FMA) e 75m (FEI-FES), respectivamente e valores de AIC próximos do modelo “M04”.

O modelo “M11” ajustado com 12 parâmetros, que testa a hipótese de que a média dos volumes (β), o *nugget* (τ^2), a variabilidade espacial (σ^2) e o alcance (Φ) são características individuais de cada área, resultou em um valor mais alto de AIC (129,77), além de um alcance (Φ) igual a 1 m nas áreas FEI e FMA, e um alcance prático na FES de 44 m. Esse modelo de acordo com os critérios estabelecidos de parcimônia, maximização da função log-verossimilhança e grau de dependência espacial obteve uma relação fraca do ponto de vista da estrutura espacial dos volumes.

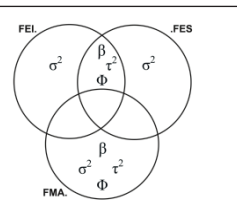
Foram selecionados a título de comparação dos parâmetros, os modelos que obtiveram os melhores resultados em relação ao valor do teste de AIC e grau de dependência espacial (maior valor de Φ), de forma a checar a congruência entre os métodos de ajuste utilizados.

Os modelos “M09” e “M07” combinaram a mesma informação dos parâmetros (β , τ^2 , σ^2), ocorrendo dependência espacial em até 66 m na FES e FMA no modelo “M07” e até 75 m no modelo “M09” para as áreas FEI e FES. Esse resultado, do ponto de vista geoestatístico é importante pois, mostra que ocorreu dependência espacial entre duas áreas distantes 3,5 km entre si, que combinaram seus parâmetros explicando a variabilidade espacial do volume existente entre elas, com uma boa sobreposição do alcance (Φ) em relação à malha amostral.

Nas Tabelas 12 e 13 podemos observar a separabilidade resultante dos efeitos fixos e aleatórios aplicada aos parâmetros dos modelos “M07” e “M09”, representada pelos diagramas de Venn.

Tabela 12. Separabilidade dos parâmetros do modelo “M09” em relação ao grau de dependência espacial (Φ).

Parâmetros	Áreas
β	(FEI = FES) \neq FMA
τ^2	(FEI = FES) \neq FMA
σ^2	FEI \neq FES \neq FMA
Φ	(FEI = FES) \neq FMA

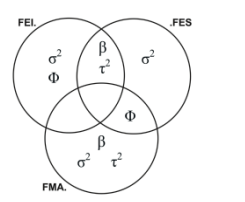


β = vetor de médias; τ^2 = nugget; σ^2 e Φ = parâmetros de correlação espacial ou variância estruturada.

Pode-se notar que o parâmetro variabilidade espacial do volume por hectare foi distinto entre as áreas nos modelos “M09” (Tabela 12) e “M07” (Tabela 13). Vale lembrar que, testada esta hipótese no modelo, o resultado foi o que melhor se ajustou aos dados, obtendo assim uma maior correlação espacial entre os pares de pontos das unidades amostrais.

Tabela 13. Separabilidade dos parâmetros do modelo “M07” em relação ao grau de dependência espacial (Φ).

Parâmetros	Áreas
β	(FEI = FES) \neq FMA
τ^2	(FEI = FES) \neq FMA
σ^2	FEI \neq FES \neq FMA
Φ	(FEI = FES) \neq FMA



β = vetor de médias; τ^2 = nugget; σ^2 e Φ = parâmetros de correlação espacial ou variância estruturada.

■ CONCLUSÃO

Os ajustes dos modelos individuais não foram satisfatórios para explicar a dependência espacial dos volumes por hectare nas áreas.

O modelo “M07” foi o melhor dentre todos os modelos testados apresentando um AIC de 125,02 e um alcance prático (a) para as áreas de FES e FMA de 66 m.

Em comparação aos modelos ajustados para as áreas individualmente, os modelos combinados foram superiores para os valores de AIC, grau de dependência espacial e valor máximo de função do logaritmo da verossimilhança (L-V).

O critério de Akaike (AIC) adotado para seleção dos modelos foi eficiente, uma vez que comparou os diferentes níveis de ajustes propostos na metodologia do trabalho, selecionando um modelo compatível com a realidade das áreas e com os padrões da distribuição espacial do volume.

É possível recuperar informações de locais com baixa amostragem, através dos modelos combinados, gerando estimativas de volume por hectare distribuído espacialmente.

Os resultados ressaltam a necessidade de que malhas amostrais de pontos não sejam completamente regulares, impondo um espaçamento mínimo entre as amostras possivelmente abaixo da extensão de dependência espacial. É recomendado que a amostragem contemple uma configuração com pontos amostrais à diferentes distâncias, incluindo pequenas distâncias. Tais configurações são mais úteis para ajustes de modelos espaciais em florestas naturais permitindo uma espacialização adequada.

O uso de modelos geoestatísticos combinados baseados em verossimilhança para classificação de unidades homogêneas em florestas naturais é uma alternativa promissora em relação aos métodos de ajuste por semivariogramas, pois amplia o poder das análises e torna possível um melhor uso da informação proveniente das diferentes áreas.

■ AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

■ REFERÊNCIAS

1. AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, Boston, v. 19, n. 6, p. 716–723, Dec. 1974.
2. AMARAL, L. P.; MICHELLE DULLIUS, M.; GREFF, L. T. B., FERREIRA, R. A. DALMOLIN, R. S. D.; SCHNEIDER, P. R. Dependência espacial de diferentes alturas das árvores em um fragmento de floresta secundária na região do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. In: **SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE MANEJO FLORESTAL**, 5., 2011, Santa Maria. Anais... Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011. p. 365-373.
3. BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of Transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.
4. BONAT, W. H.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; ZEVIANI, W. M. Comparando predições por modelos geoestatístico e aditivo generalizado para reconstituição de superfícies contínuas gaussianas. **Energia na Agricultura**, v. 26, n.2, p. 119-128, 2011.
5. BURNHAM, P. K.; ANDERSON, D. R. **Model selection and multimodel inference: a practical information: theoretic approach**. 2nd. ed. Colorado: Springer, 2002. 347p.
6. DEMIDENKO, E. **Mixed Models: theory and applications with R**. 2^a ed. Canada: Willey, 2013. 637p.
7. DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JR, P. J. **Model-Based geostatistics**. New York: Springer, 2007. 228p.
8. GREGOIRE, T. G.; SCHABENBERGER, O. Fitting bole-volume equations to spatially correlated within-tree data. In: ANNUAL CONFERENCE OF APPLIED STATISTICS IN AGRICULTURE, 6., 1994, Manhattan. **Proceedings...** Kansas, 1994. p. 120-133.
9. KITANIDIS, J. K. **Introduction to geostatistics: applications in hydrology**. New York: Cambridge University Press, 1997. 247p.
10. MATÈRN, B. **Spatial Variation**. Berlin: Springer, 1986. 594p.
11. MILLAR, R. B. Simulated maximum likelihood applied to non-Gaussian and nonlinear mixed effect and state-space models. **Australian and New Zealand Journal of Statistics**, v. 46, issue 4, p. 543-544, 2004.
12. MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 73 p.
13. PEBESMA, E. J.; BIVAND, R. S. Classes and methods for spatial data in R. **R News**, v. 5, n. 2, 2005. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/doc/Rnews/>>. Acesso em: 18 mar. 2014.
14. PÉLISSIER, R.; GOREAUD, F. A practical approach to the study of spatial structure in simple cases of heterogeneous vegetation. **Journal of Vegetation Science**, v.12, issue 1, p. 99-108, 2001.
15. PLONER, A.; DUTTER, R. New directions in geostatistics. **Journal of Statistical Planning and Inference**, Amsterdam, v. 91, p. 499-509, 2000.
16. PRODAN, M. **Holzmesselehre**. Frankfurt, J. D. Sauerländer's Verlag, 1965. 644 p.

17. R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 12 abr. 2014.
18. REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CORAG, 1988. 525 p.
19. RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. The geoR package functions for geostatistical data analysis: **R. News**, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.
20. RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial dos parâmetros do solo**. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
21. RODE, R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; GALVÃO, F. Análise do padrão espacial de espécies e de grupos florísticos estabelecidos em um povoamento de *Araucária angustifolia* e em uma Floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 2, p. 255-268, 2010.
22. SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo Sustentado de Florestas Inequiâneas Heterogêneas**. Santa Maria: UFSM, 2000. 195p.
23. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Inventário florestal contínuo do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Convênio UFSM/SEMA, 2001. 706 p. (Relatório final original).
24. VACCARO, S. **Caracterização fitossociológica de três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, no município de Santa Tereza, RS**. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Centro de Ciências Florestais, UFSM, Santa Maria, 1997.
25. VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern Applied Statistics With S**. 4th ed. New York: Springer, 2002.
26. VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 405-412, 1995.
27. VUOLO, J. H. **Fundamentos da Teoria de Erros**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1996. 247p.
28. WU, L. **Mixed Effects Models for Complex Data**. Canada: Tylor & Francis Group, 2010. 419p.
29. YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215p.

Influência do manejo no desenvolvimento de espécies arbóreas em um sistema agroflorestal

| **Cezarina do Socorro de Souza Carvalho**
LIGNUM AMBIENTAL

| **Daniela Pauletto**
UFOPA

| **Ádria Fernandes da Silva**
INPA

| **Thiago Gomes de Sousa Oliveira**
UFPR

| **Verena Santos de Sousa**
UFPR

| **Orlanilson da Silva Brito**
PMS

| **Lucas Sérgio de Sousa Lopes**
UFV

RESUMO

Objetivo: o trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento inicial de 3 espécies florestais implantadas em sistema agroflorestal, sob diferentes condições de manejo, sendo elas o ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. O. Grose), mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) e paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke)).

Método: O experimento foi instalado na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA no município de Santarém, Pará, em março de 2016, em área equivalente a 1 ha, ocupada anteriormente por vegetação secundária, na forma de plantio consorciado de espécies florestais e espécies frutíferas. O experimento foi dividido em quatro blocos de 50 x 50 m com quatro repetições dos arranjos em delineamento em blocos casualizados composto de quatro repetições de 25 x 25 m cada. No experimento foram utilizados dois tipos de manejo e preparo de área: mecanizado (MEC) e semi-mecanizado (SMEC). Para todas as espécies o espaçamento adotado foi de 8,3 x 8,3 m.

Resultados: o paricá foi a espécie que obteve os maiores valores de altura aos 20 meses (4,6 a 4,1 m), seguido do mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) (3,0 a 2,7 m) e, posteriormente do ipê amarelo (1,7 a 1,8 m). O diâmetro do coleto das plantas (DC) indicou que as maiores médias foram para MEC, aos 20 meses, e o paricá foi a espécie que obteve as maiores alturas aos 20 meses (7,83 cm) sendo o MEC superior ao SMEC para todas as idades avaliadas. Para o ipê amarelo o DC aos 19 meses o tratamento SMEC se destaca com as melhores médias. O paricá e o mogno brasileiro apresentaram as melhores médias de altura total (HT) e DC no tratamento MEC. A melhor taxa de sobrevivência ocorreu para a espécie ipê amarelo com 100% no SMEC, seguido do paricá com 96,9% no MEC. O mogno brasileiro foi a espécie que apresentou as menores taxas de sobrevivência com 93,8% no tratamento SMEC. **Conclusão:** todas as espécies avaliadas responderam positivamente para as diferentes condições de manejo para todas as variáveis avaliadas. O paricá foi a espécie que melhor respondeu as condições de manejo para a implantação em sistemas agroflorestais.

Palavras-chave: Interações Ecológicas, Sustentabilidade dos Agroecossistemas, Crescimento.

■ INTRODUÇÃO

Desde a sua colonização, a região Amazônica tem sido marcada por intensos processos de degradação ambiental, como a construção de grandes projetos, o extrativismo predatório, a expansão pecuária, a agricultura itinerante e a relação inadequada homem/meio ambiente, nos quais são vistas como causas principais dos problemas socioambientais vivenciados na região (PARAENSE *et al.*, 2013).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) apresentam como proposta aumentar a produção, de forma contínua, além de alcançar maior diversificação dos produtos, reduzindo a utilização de insumos externos e os impactos ambientais (ALTIERI, 2012). Estes sistemas são baseados na dinâmica, na ecologia e na gestão dos recursos naturais que, por meio da integração de árvores na propriedade e na paisagem agrícola, diversificam e sustentam a produção com maiores benefícios sociais, econômicos e ambientais para todos aqueles que usam o solo em diversas escalas (ICRAF, 2016).

Contudo, os SAFs apresentam algumas restrições quanto ao uso ou implantação: na implantação do sistema é importante a escolha das espécies de acordo com o ecossistema local (ALTIERI, 2012). Ainda de acordo com o mesmo autor, a estrutura, composição e arranjo dos componentes é uma classificação bastante difundida, que auxilia na diferenciação dos SAFs. Segundo Preissler (2013) para evitar aumento nos gastos econômicos no manejo de espécies incompatíveis com o local implantado é importante um bom planejamento destes sistemas. A competição entre espécies é outro fator que deve ser analisado na sua escolha. O aspecto econômico é uma restrição em muitos casos devido à necessidade de grande investimento inicial no SAF, sendo necessário planejar os retornos a curto e longo prazo. Pensar o tipo de SAF, os componentes, o arranjo (espacial e temporal), são tarefas importantes para um agrossilvicultor que busque o sucesso do seu sistema.

É no decorrer do manejo dos SAF que os objetivos precisam ser cuidadosamente monitorados para avaliar se eles estão sendo alcançados. Ademais, é possível modificá-los durante a sua evolução, desde que novos propósitos sejam traçados, considerando a importância das análises físicas e químicas do solo, periodicamente, para fazer as correções necessárias (SENAR, 2017).

Os benefícios proporcionados pelo componente florestal, nos sistemas agroflorestais, são maximizados à medida que se aumenta a diversidade de espécies na área, no entanto, deve-se atentar ao associar-se diferentes espécies, pois cada uma apresenta ritmos de crescimento e necessidades ecológicas específicas (PEREIRA e RODRIGUES, 2012).

Quando as etapas iniciais do plantio são bem feitas os tratamentos culturais de manutenção são reduzidos, o que diminui custos e tempo de acompanhamento. Neste sentido, a plantação de mudas requer planejamento desde a seleção das espécies utilizadas, até sua manutenção

por cerca de 2 anos após a plantio para garantir o êxito do mesmo (FLORA JUNIOR, 2020). Ainda de acordo com o mesmo autor, além da manutenção, o monitoramento também deve ser realizado continuamente, este tem como objetivo observar o desenvolvimento e avaliar o sucesso da plantação e após esta avaliação, nova tomada de decisão pode ser necessária, pois ele indica se a técnica escolhida foi adequada e se está bem conduzida.

No Brasil, o setor de árvores plantadas tem sido um importante indicador de desenvolvimento econômico, social e ambiental, uma vez que promove mudanças econômicas locais, oferecendo novas oportunidades de trabalho e gerando renda para a população, bem como contribuindo com a adaptação e mitigação das mudanças climáticas e na provisão de serviços ecossistêmicos (IBÁ, 2020). Ainda segundo a mesma fonte, em 2019, a área total de árvores plantadas totalizou 9,0 milhões de hectares, onde a maioria (77%) é representada pelo cultivo de eucalipto, com 6,97 milhões de hectares, e 18% de pinus, com 1,64 milhão de hectares, e existem ainda 0,39 milhão de hectares plantados de outras espécies.

O paricá caracteriza-se por ser é uma espécie heliófila, sob condições favoráveis apresenta rápido crescimento e alto índice de sobrevivência a campo, destacando-se como importante alternativa para uso em plantios de povoamentos florestais puros e em consórcios implantados em diferentes condições edafoclimáticas (DIAS *et al.*, 2015). De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997) a madeira do paricá pela sua densidade característica, encontra-se na classe C 20 de resistência em dicotiledôneas, na qual a densidade vai até 0,50 g/cm³. A madeira possui baixa densidade, boa resistência à compressão paralela e grande potencial de utilização na construção civil quando comparada com outras espécies (Almeida *et al.*, 2013).

Outra espécie com destaque é o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King), uma espécie de grande importância econômica devido à sua madeira, que é durável e muito apreciada para a fabricação de móveis de luxo e artigos de decoração (COSTA *et al.*, 2013). A madeira é de fácil trabalhabilidade, sendo moderadamente pesada (0,55 a 0,70 g/cm³); possui boa estabilidade dimensional; não possui cheiro e sabor característico; seca facilmente ao ar e em câmara de secagem, sem demonstrar defeitos (MELO, *et al.*, 1989).

Destaca-se ainda, o ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. O. Grose), espécie que ocorre em áreas de floresta estacional e ombrófila na Mata Atlântica e Amazônia (LOHMANN, 2015). É uma das espécies mais valiosas do mercado madeireiro atual, com produção legal oriunda da Amazônia (ROLIM *et al.*, 2018). De acordo com Mota (2014), sua madeira também possui importância econômica por ser resistente é muito utilizada em construções civis e marcenarias. Segundo LORENZI (2008), sua madeira é pesada (densidade 0,98 g/cm³) muito dura ao corte, com propriedades mecânicas altas e grande durabilidade natural e alta resistência ao ataque de organismos xilófagos, utilizadas em acabamentos

internos e externos. Árvores plantadas de ipê-amarelo podem ser derrubadas depois para a produção de madeira, desde que o plantio ou reflorestamento tenha sido previamente cadastrado no órgão ambiental competente e a exploração ser previamente declarada nele para fins de controle de origem e estarão sujeitas a autorização de corte e colheita conforme área onde foram inseridas na propriedade (área de uso alternativo ou reserva legal) conforme instruído pela Lei de Proteção a vegetação Nativa (BRASIL, 2012).

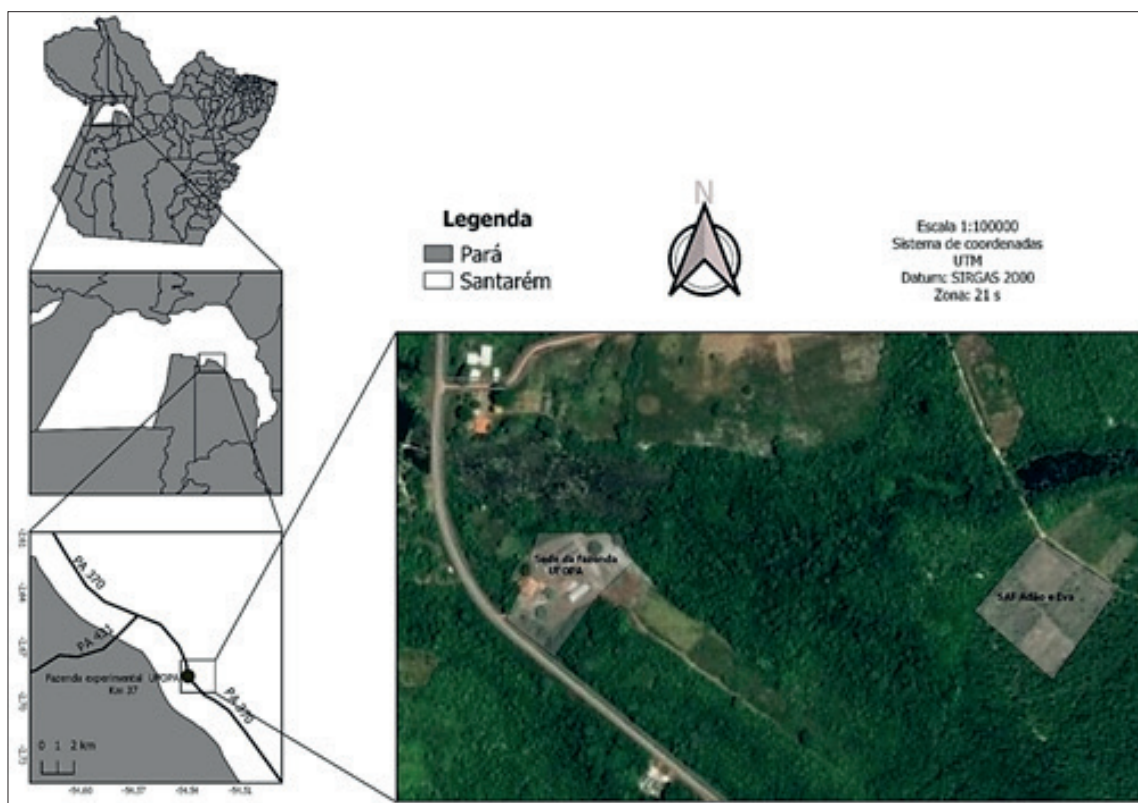
No âmbito econômico e social, a força de trabalho na cadeia produtiva do setor florestal apresentou ligeiro aumento. Pelas estimativas produzidas pela nova metodologia desenvolvida para o relatório Ibá 2020, foram gerados como empregos diretos 1,3 milhão de postos de trabalho, na cadeia de árvores plantadas, no ano de 2019 (IBÁ, 2020). Segundo o mesmo autor, este número exemplifica a relevância das atividades formadoras de uma cadeia que transcende os limites do próprio setor, pois além do número de pessoas empregadas, da massa de salários pagos e de sua participação na geração da produção nacional, deve-se levar em consideração sua relação com o restante da economia.

Neste contexto o presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento inicial de 3 espécies florestais implantadas em sistema agroflorestal (ipê-amarelo, mogno brasileiro e paricá), sob diferentes condições de manejo.

■ MÉTODO

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA (Figura 1), localizada às margens da rodovia PA 370 (Rodovia Curuá-Una), no Município de Santarém-Pará, com sede nas coordenadas 02° 24" 52"S e 54° 42" 36"W. A Fazenda Experimental está localizada em uma área de aproximadamente 660 hectares que, segundo relatos de moradores da região, tem como histórico de uso atividade agropecuária desde 1980. A atividade predominante foi a pecuária, principalmente para criação de animais de grande porte, nos primeiros 26 anos, e posterior pousio por cerca de 10 anos, com estabelecimento de vegetação secundária.

FIGURA 1. Localização do experimento (SAF Adão e Eva) e da sede da Fazenda Experimental da UFOPA no município de Santarém, Pará.



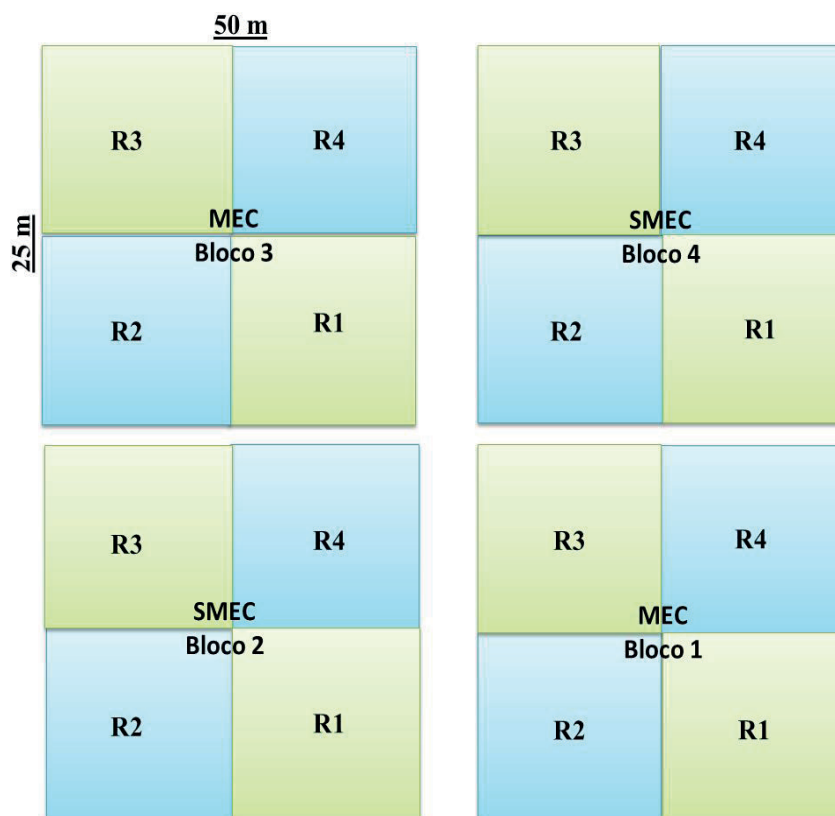
Fonte: Cezarina S. S. Carvalho (2021).

A classificação climática da região é Am (classificação Köppen), sendo equatorial úmido, com uma estação seca bem definida e outra com índices pluviométricos elevados (ANDRADE *et al.*, 2013). A temperatura média anual varia de 25° a 28°C, com umidade relativa do ar média de 86%, a precipitação pluvial média anual é de até 1.920 mm, com média anual de 2.282,6 mm (SILVA *et al.*, 2016). Os solos da região são classificados do tipo Latossolo Amarelo, com teores de argila entre 490 a 930 g/kg, que resulta em solos muito argilosos, que quando secos apresentam textura dura e friável, se tornando pegajoso e plástico quando úmido (ROCHA, 2014).

Os dados de precipitação foram coletados através de um pluviômetro manual instalado na Fazenda Experimental durante o monitoramento do experimento. De acordo com a análise de solo, com amostra composta, o solo da área apresentava no ano de instalação do experimento pH em água de 4,7, no entanto, a área não sofreu calagem.

O experimento foi instalado em março de 2016, em área equivalente a 1 ha, na forma de plantio consorciado de espécies florestais e espécies frutíferas. O experimento foi dividido em quatro blocos de 50 x 50 m com quatro repetições dos arranjos em delineamento em blocos casualizados composto de quatro repetições de 25 x 25 m cada (R). No experimento foram utilizados dois tipos de manejo e preparo de área: mecanizado (MEC) instalado nos blocos 1 e 3 e, semi-mecanizado (SMEC) nos blocos 2 e 4 dispostos conforme ilustrado na Figura 2.

FIGURA 2. Esquema do desenho experimental do sistema agroflorestal localizado no município de Santarém/PA.



Fonte: Cezarina S. S. Carvalho (2021).

QUADRO 1. Preparo da área para o Sistema Mecanizado (MEC) e para o sistema Semi-mecanizado (SMEC).

Sistema Mecanizado – MEC	Sistema Semi-mecanizado – SMEC
Supressão total da vegetação com uso de trator com garfo enleirador e posterior gradagem	Supressão total da vegetação com motosserra e ferramentas manuais
Não houve deposição dos resíduos	Deposição dos resíduos vegetais sobre o solo da própria área para decomposição e formação de serapilheira
Sem uso do fogo	Sem uso do fogo
Tratos culturais após a instalação do tratamento MEC consistiram em coroamento das plantas, podas, roçagem da vegetação indesejada utilizando trator arador e ferramentas manuais (tesoura de poda) e semi-manuais como foice, enxada, roçadeira costal e facão	Tratos culturais como capina, podas e roçagem, foram utilizados ferramentas manuais (tesoura de poda) e semi-manuais como foice, enxada, roçadeira costal e facão
Não houve controle do mato-competição com herbicidas	Não houve controle do mato-competição com herbicidas
Adição de NPK na formulação 9-28-20 (36 g em cada cova)	Adição de esterco bovino curtido (uma pá por cova)
Periodicidade dos tratos culturais: 90 a 120 dias	Periodicidade dos tratos culturais: 90 a 120 dias
Preparo das covas para o plantio das mudas com aplicação de calcário (50 g por cova).	Preparo das covas para o plantio das mudas com aplicação de calcário (50 g por cova).

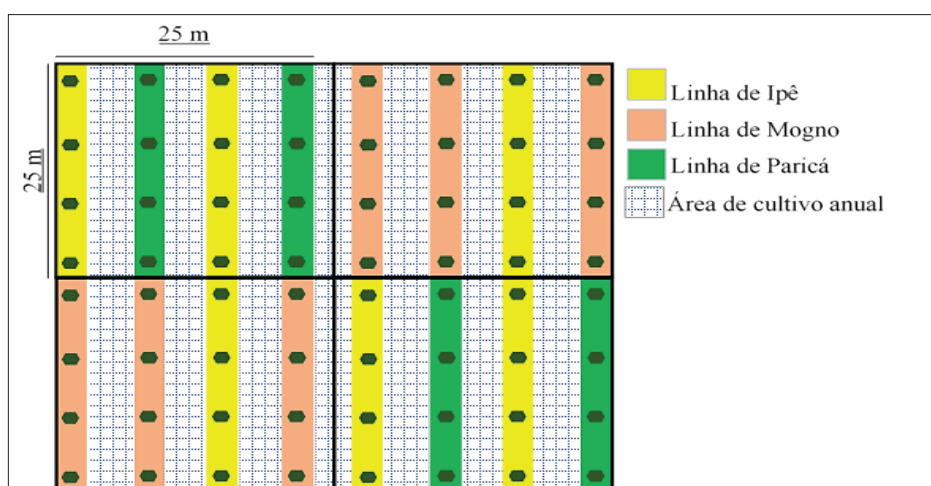
Fonte: Cezarina S. S. Carvalho (2021).

Na implantação do plantio permaneceram exemplares de espécies selecionadas (mudas, arvoretas ou árvores) que possuíam algum uso ou potencial de acordo com a identificação parobotânica desde que não estivessem localizadas nas linhas de plantio ou próximas destas. Conforme houve avanço no crescimento das espécies inseridas o sistema foi sendo manejado e as espécies remanescentes sendo utilizadas como material para poda

ou permanecendo no local, com o cuidado de não interferir no arranjo proposto por meio de sombreamento ou outra influência silvicultural.

Nos blocos foram introduzidos dois tipos de arranjos de plantio consorciado, que se repetem nos dois tratamentos, de forma a compor 8 parcelas de cada arranjo (Figura 3). No primeiro arranjo foram introduzidos paricá. No segundo arranjo, foram introduzidas as espécies mogno brasileiro e ipê amarelo. Para todas as espécies e ambos os arranjos, o espaçamento adotado foi de 8,3 x 16,6 m. Para o plantio do experimento, foram utilizadas mudas fornecidas pelos viveiros instalados na UFOPA, bem como de doações de produtores rurais da região. As mudas foram produzidas em recipientes plásticos de polietileno, sendo levadas a campo com aproximadamente 120 dias de idade, o tamanho das mudas variou de 15 a 180 cm.

FIGURA 3. Arranjo das espécies no sistema agroflorestal implementado.



Fonte: Cezarina S. S. Carvalho (2021).

O monitoramento do crescimento das espécies lenhosas arbóreas foi feito através da mensuração das variáveis altura total (HT) e diâmetro do coleto (DC). Para isso, todos os indivíduos foram enumerados por meio de placas de identificação como forma de melhor orientar a coleta. Foram utilizados paquímetro digital e trena durante as mensurações mensais que perduraram 14 meses, correspondente ao período de novembro de 2016 (7º mês) a dezembro de 2017 (20º mês de plantio).

A taxa de crescimento absoluto (TCA) é um importante índice fisiológico usado para se ter ideia da velocidade média de crescimento ao longo do período de observação (BENINCASA, 2003). A partir dos dados das variáveis mensuradas foram calculadas as Taxas de Crescimento Absoluto (TCA) e Taxa de Crescimento Relativo (TCR) das espécies (BENINCASA, 2003), por meio das seguintes fórmulas:

$$TCA = \frac{(p2 - p1)}{(t2 - t1)}$$

Em que: TCA = Taxa de crescimento absoluto da variável avaliada (cm por mês); p1 (valor da primeira medição obtida) e p2 (valor da última medição obtida) (cm) = variável acumulada nos tempos de observação t1 (idade inicial 7 meses) e t2 (idade final 20 meses).

$$TCR = \frac{(\ln p2 - \ln p1)}{(t2 - t1)}$$

Em que: TCR é a taxa de crescimento relativo (cm por mês); p1 (valor da primeira medição obtida) e p2 (valor da última medição obtida) (cm) é a variável acumulada nos tempos de observação t1 (idade inicial 7 meses) e t2 (idade final 20 meses).

Em que: ICA: é a diferença entre as dimensões de uma árvore ou uma floresta tomada no fim (Y_2) e início (Y_1) do período de um ano de crescimento. Ele é calculado pela seguinte expressão:

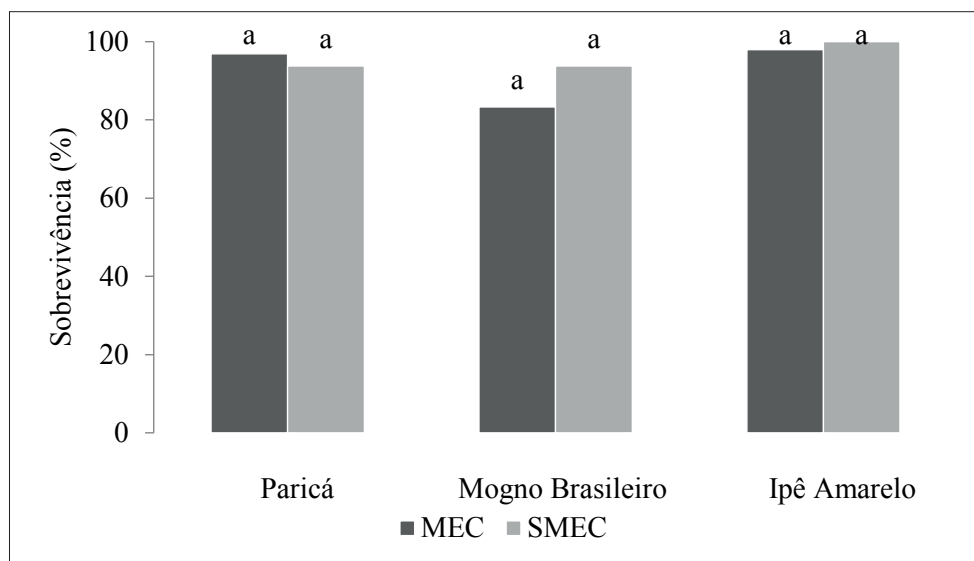
$$ICA = Y_1 - Y_2$$

Os dados de crescimento e sobrevivência foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk (W), e posteriormente o teste de comparação de médias - Teste t de Student não pareado ao nível de 95% de probabilidade, com uso do programa Action Stat 3.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo observamos que os sistemas de manejo adotados na implantação e manutenção de sistemas agroflorestais impactaram no desenvolvimento das espécies avaliadas, sendo que o sistema MEC foi o que apresentou as melhores taxas de sobrevivência para o ipê amarelo (100%), seguido do paricá (96,9% no sistema SMEC) e do mogno brasileiro que foi a espécie que apresentou as menores taxas de sobrevivência (83,3 a 93,8%) com destaque para o tratamento MEC (Figura 4).

FIGURA 4. Taxa de sobrevivência de espécies florestais arbóreas em dois regimes de manejo em um sistema agroflorestal em Santarém, Pará.



Fonte: Cezarina S. S. Carvalho (2021).

As espécies ipê amarelo e paricá obtiveram elevada taxa de sobrevivência em ambos os tratamentos. Primeiramente, isto pode ser atribuído ao tipo e tamanho do recipiente em que as mudas foram produzidas, pois segundo MELOTTO *et al.* (2009) a boa qualidade de mudas tende a favorecer a maior sobrevivência em campo. Para este experimento as mudas constaram com recipientes de sacos de polietileno e substrato com terra e esterco bovino curtido.

Um segundo fator que pode ter contribuído para as taxas encontradas são as atividades de coroamento e poda conduzidas no experimento. Estes tratamentos silviculturais são preconizados como fatores de aumento de sobrevivência em plantios (ARAÚJO *et al.*, 2013; SANCHES, 2014), pois favorece a produção de madeira de boa qualidade, reduz o risco de incêndios, mantém constante o incremento após o desbaste e facilita o acesso ao povoamento. Ao longo do período de análise foram realizadas atividades como: limpeza e coroamento. A poda foi realizada nos galhos inferiores para otimizar o crescimento e reduzir a evapotranspiração das mudas. Entretanto, apesar de necessária, faz-se necessário definir uma intensidade da desrama, pois a poda severa ocasiona diversos danos à planta, tais como a redução da fotossíntese (CUNHA NETO, *et al.*, 2019).

A sobrevivência do paricá está associada às características fisiológicas da espécie, que apresenta respostas positivas quando submetida a condições extremas, sobretudo, na região amazônica que passa por períodos de seca intensa em determinados períodos do ano (COSTA *et al.*, 2013).

A taxa de mortalidade de 16,7% do mogno brasileiro no tratamento MEC ocorreu inicialmente pela morte da região apical e posteriormente seca total da planta. Fatores que podem ter contribuído para esta mortalidade são a escassez de eventos pluviométricos, no

período de julho a novembro, haja vista, que na região ocorre um período de estiagem mais intensa. Costa *et al.* (2013), ao avaliar a espécie, aos 360 dias, em um sistema silvipastoril instalado em área de pasto, obteve uma taxa de mortalidade de 47,97%, portanto superior a encontrada neste estudo.

Em estudo realizado em zonas ripárias degradada de Paranaíta/MT, avaliando-se mudas de ipê amarelo com 4 meses de idade, obtiveram taxas de sobrevivência de 55,5% (Souza *et al.*, 2015), que se configuram inferiores às encontradas no presente estudo.

Avaliando-se a altura total apresentada na Tabela 1, para o período de 14 meses, nota-se que os maiores valores de altura, aos 20 meses, foram obtidos a espécie paricá (4,6 a 4,1 m), seguido do mogno brasileiro (3,0 a 2,7 m) e, posteriormente do ipê amarelo (1,7 a 1,8 m). O tratamento com maiores alturas para as espécies paricá e mogno brasileiro foi MEC, tendo o ipê amarelo maior crescimento em SMEC. O paricá apresenta desempenho satisfatório em diferentes sistemas silviculturais, entretanto, pode manifestar significativas variações no incremento, tanto em altura como em diâmetro dependendo do sistema de manejo adotado (TAVARES *et al.* 2013), assim como da procedência das sementes (DAPONT *et al.* 2014).

TABELA 1. Médias de altura total (m) das espécies florestais arbóreas em dois regimes de manejo, em sistema agroflorestal em Santarém, Pará.

Data	Precipitação (mm)	Idade (meses)	Paricá		Mogno brasileiro		Ipê amarelo	
			MEC	SMEC	MEC	SMEC	MEC	SMEC
nov/16	60	7	1,6 a ¹	1,5 a	1,3 b	1,5 a	0,8 b	1,0 a
dez/16	140	8	1,7 a	1,6 a	1,5 b	1,7 a	1,0 b	1,2 a
jan/17	191	9	1,9 a	1,8 a	1,9 a	2,0 a	1,3 a	1,3 a
fev/17	203	10	2,2 a	2,0 a	2,0 a	2,1 a	1,3 a	1,4 a
mar/17	412	11	2,5 a	2,1 a	2,3 a	2,2 a	1,4 a	1,5 a
abr/17	250	12	2,8 a	2,5 a	2,4 a	2,4 a	1,5 a	1,6 a
mai/17	206	13	3,2 a	2,7 b	2,6 a	2,4 a	1,5 a	1,6 a
jun/17	97	14	3,5 a	3,1 a	2,8 a	2,6 a	1,6 a	1,6 a
jul/17	91	15	3,8 a	3,4 a	2,9 a	2,6 b	1,6 a	1,7 a
ago/17	30	16	4,0 a	3,6 a	3,0 a	2,7 b	1,7 a	1,7 a
set/17	5	17	4,1 a	3,8 a	3,0 a	2,7 b	1,7 a	1,7 a
out/17	11	18	4,3 a	4,0 a	3,0 a	2,7 b	1,7 a	1,7 a
nov/17	11	19	4,5 a	4,1 a	3,0 a	2,7 b	1,7 a	1,7 a
dez/17	157	20	4,6 a	4,1 a	3,0 a	2,7 b	1,7 a	1,8 a

¹Médias seguidas das mesmas letras, na mesma linha por espécie, não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste t de Student, com 5% de probabilidade.

O paricá apresenta desempenho satisfatório em diferentes sistemas silviculturais, entretanto, pode manifestar significativas variações no incremento, tanto em altura como em diâmetro, dependendo do sistema de manejo adotado, assim como, da procedência das sementes (TAVARES *et al.* 2013; DAPONT *et al.* 2014).

Estudos realizados por Rayol *et al.* (2019) em dois sistemas agroflorestais obteve para o paricá aos 12 meses, com crescimento a pleno sol, 3,40 m de altura, enquanto no presente estudo a espécie alcançou, a mesma altura só aos 14 meses.

O mogno brasileiro teve suas maiores alturas associadas ao sistema MEC onde atribui-se este desempenho a influência das características ecológicas da espécie que é heliófila, que tende a ter maior crescimento em ambientes com maiores taxas de luminosidade (LORENZI, 2002). Entre o 7° ao 14° mês os tratamentos não se diferenciaram entre si, com inversão deste quadro a partir do 15° mês em que o tratamento MEC obteve as maiores alturas com 53,75% maior em relação a SMEC. Ressalta-se que neste período as plantas sofreram ataques de insetos, o que pode ter interferido no crescimento das espécies no tratamento SMEC.

O ambiente de SMEC favoreceu o crescimento inicial das mudas de mogno brasileiro por disponibilizar microclima favorável em função das árvores remanescentes e apesar de ser reconhecido como espécie heliófila, o mogno brasileiro tem características de boa resistência ao sombreamento (COSTA *et al.*, 2013). Aos 20 meses o ipê amarelo obteve um leve crescimento no tratamento SMEC, que tem maior sombreamento, apresentando alturas iguais estatisticamente. O que faz com que os resultados encontrados neste trabalho venham a divergir de SABINO *et al.* (2016), que encontrou maior crescimento desta espécie, aos 3 meses, em ambientes com maior oferta de luminosidade.

Ao longo dos primeiros quatorze meses de implantação do sistema agroflorestal o recurso mobilizado para 0,5 hectare de experimento e para a manutenção de faixas de acesso e limpeza variou de R\$ 6.191,48 R\$ a 8.115,58 (PAULETTO, *et al.*, 2018). Ainda segundo os mesmos autores, o total dos custos destacaram-se o montante dispensado para limpeza e preparo de área que consumiu entre 38 e 45 % do recurso empenhado, os resultados demonstram que a implantação de sistema agroflorestal requer grande aporte de recursos no primeiro ano o que indica a necessidade de fomento bancário ou governamental para que este tipo de atividade seja viabilizada para agricultores familiares.

Os resultados da Tabela 2 apresentam as médias de DC para as três espécies. As maiores médias foram para MEC, aos 20 meses e o paricá foi a espécie que obteve as maiores alturas aos 20 meses (7,83 cm) sendo o tratamento MEC superior ao SMEC para todas as idades avaliadas.

TABELA 2. Médias de Diâmetro do coleto (cm) de espécies florestais arbóreas em dois regimes de manejo em sistema agroflorestal em Santarém, Pará.

Data	Precipitação (mm)	Idade (meses)	Paricá		Mogno brasileiro		ipê amarelo	
			MEC	SMEC	MEC	SMEC	MEC	SMEC
Nov/16	60	7	3,1 a	2,5 b	2,8 a	2,8 a	1,2 b	1,5 a
Dez/16	140	8	3,4 a	2,8 b	3,0 a	3,1 a	1,4 b	1,7 a
Jan/17	191	9	3,8 a	3,0 b	3,3 a	3,3 a	1,6 a	1,8 a
Fev/17	203	10	4,2 a	3,4 b	3,7 a	3,6 a	1,8 a	1,9 a
Mar/17	412	11	5,0 a	3,9 b	4,2 a	3,9 b	2,1 a	2,1 a
Abr/17	250	12	5,7 a	4,4 b	4,6 a	4,1 b	2,2 a	2,2 a
Mai/17	206	13	6,1 a	4,7 b	4,8 a	4,2 b	2,3 a	2,2 a
Jun/17	97	14	6,7 a	5,4 b	5,2 a	4,5 b	2,5 a	2,3 a
Jul/17	91	15	7,0 a	5,7 b	5,4 a	4,6 b	2,6 a	2,4 a
Ago/17	30	16	7,4 a	6,1 b	5,6 a	4,8 b	2,7 a	2,4 a
Set/17	5	17	7,5 a	6,2 b	5,6 a	4,8 b	2,7 a	2,5 a
Out/17	11	18	7,6 a	6,4 b	5,7 a	4,8 b	2,7 a	2,4 a
Nov/17	11	19	7,7 a	6,5 b	5,9 a	4,6 b	2,7 a	2,3 a
Dez/17	157	20	7,8 a	6,7 b	6,0 a	4,7 a	2,8 a	2,4 a

Valores na linha, por espécie, seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste t de Student, com 5% de probabilidade.

Para a variável DC o mogno brasileiro não apresentou, até os 11 meses, diferença entre os tratamentos avaliados sendo que a partir do 12º até o 19º mês a espécie apresentou um crescimento contínuo que o diferenciou estatisticamente entre os tratamentos. No entanto, não se confirmou no último mês avaliado, onde os tratamentos não diferiram estatisticamente com médias de 6,0 e 4,7 cm para MEC e SMEC, respectivamente.

No presente estudo verificou-se que aos 12 meses de idade o DC obtido foi de 4,1 a 4,6 respectivamente. Já para Costa *et al.* (2013) identificou-se resultados inferiores para a mesma espécie, idade e variável onde consta média de 1,80 cm, em plantios realizados em Marabá/PA.

Para o ipê amarelo no último mês avaliado, os tratamentos voltam a não se diferirem estatisticamente. Nos estudos realizados por Souza *et al.* (2015), ao avaliarem o crescimento inicial do ipê amarelo durante 4 meses em campo encontraram DC de 0,39 cm, diferentemente das médias encontradas neste estudo, que se mostraram superiores.

Cordeiro *et al.* (2015) encontrou dados maiores para a espécie paricá com idade de 3 anos em um sistema agroflorestal, onde o DAP foi de 9,86 cm sendo que o preparo do solo consistiu de limpeza da vegetação com roçagem mecânica, seguida de aragem e gradagem. Contudo, ressalta-se que o preparo do solo fora o mesmo adotado no presente trabalho em um dos tratamentos, apenas com idade diferentes, mas mesmo assim a espécie estudada se mostrou eficiente, quando tratou-se do crescimento em diâmetro, mesmo com idade menor.

A tabela 3 apresenta as médias de TCA e TCR para a variável HT e DC onde pode-se notar que estes índices tiveram respostas mais evidentes aos tratamentos para a variável diâmetro, nas três espécies avaliadas.

TABELA 3. Taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR) e incremento corrente anual em altura total (m) e diâmetro do coleto (cm) das espécies florestais arbóreas em dois regimes de manejo em um sistema agroflorestal em Santarém, Pará.

Índice	Variável dendrométrica	Espécie	MEC	SMEC
TCR (cm.cm ⁻¹ /mês)	HT	paricá	6,1 a	6,0 a
		mogno brasileiro	5,7 a	5,6 a
		ipê amarelo	5,1 a	5,1 a
	DC	paricá	4,3 a	4,2 b
		mogno brasileiro	4,1 a	3,8 b
		ipê amarelo	3,3 a	3,1 b
TCA (cm ⁻¹ /mês)	HT	paricá	23,0 a	20,7 a
		mogno brasileiro	13,3 a	10,6 b
		ipê amarelo	6,8 a	6,1 a
	DC	paricá	3,6 a	3,2 a
		mogno brasileiro	2,5 a	1,5 b
		ipê amarelo	1,2 a	0,7 b
ICA	HT	paricá	3,0	2,7
		mogno brasileiro	1,7	1,4
		ipê amarelo	0,9	0,8
	DC	paricá	4,7	4,2
		mogno brasileiro	3,2	1,9
		ipê amarelo	1,6	0,9

Valores na linha seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste t de Student, com 5% probabilidade.

O presente estudo mostrou que os melhores valores de TCA e TCR foram atribuídos ao paricá, para as duas variáveis, e isto indica o que a TCA pode ser usada para se ter ideia da velocidade média de crescimento ao longo do período de observação (Benincasa, 2003). A TCR considera o incremento, ou seja, é a medida da rapidez com que uma planta cresce quando comparada com o seu tamanho inicial (Benincasa, 2003). Estudos realizados por Cordeiro, *et al.*, (2015) afirmam que espécies de crescimento rápido, como é o caso do paricá, são capazes de manterem-se vigorosas em ambientes extremos, porém, se forem manejadas adequadamente, elas tendem a apresentar diferenças entre os tratamentos, garantindo níveis significativos de ganhos no crescimento, como também na capacidade produtiva do sítio.

Ao se tratar da TCA do diâmetro observa-se diferença entre os tratamentos apenas para as espécies de mogno brasileiro e ipê amarelo. Já o TCR é um índice fisiológico mais apropriado para comparar os efeitos de diferentes manejos agrônômicos, por não depender de pressuposições matemáticas (RADFORD, 1967). Quando nos referimos a TCR para HT não apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos.

O mogno brasileiro obteve a segunda melhor TCR entre as espécies avaliadas para o tratamento MEC, com diferenças estatísticas entre os tratamentos, isso pode ser explicado pelo fato da espécie adaptar-se melhor em locais com alta incidência de luminosidade, apesar dos percentuais obtidos entre os tratamentos serem ínfimos. O ipê amarelo foi a espécie que

apresentou a menor TCR, possivelmente por ser uma espécie de crescimento lento, e possuir limitações de adaptar-se em solos com baixa capacidade de drenagem, uma vez que esta espécie tem preferência por solos bem drenados situados nas encostas (LORENZI, 2008).

A Tabela 3 mostra ainda os resultados do ICA para a variável diâmetro ocorreram no tratamento MEC para todas as espécies estudadas, com ICA maior para o paricá e menor para o ipê amarelo. Ao contrário das demais espécies, o paricá se adapta bem em ambos os sistemas, com maior destaque para ambientes com taxas intermediárias de sombreamento, onde pode dispor de maior aporte de incremento (GUIMARÃES, 2015).

■ CONCLUSÃO

Todas as espécies avaliadas responderam positivamente para as diferentes condições de manejo para todas as variáveis avaliadas. O paricá foi a espécie que melhor respondeu as diferentes condições de manejo para implantação em sistemas agroflorestais.

O ipê amarelo e o paricá foram as espécies que obtiveram as melhores taxas de sobrevivência, em ambos os manejos, podendo ser recomendadas para o plantio em sistemas agroflorestais, com boa adaptação em solos mecanizados.

O paricá e o mogno brasileiro obtiveram os melhores resultados para altura e diâmetro, ambos nos sistemas mecanizados. O sistema mecanizado apresentou bons resultados em todos os tratamentos. O ipê apesar de não apresentar resultados satisfatórios nas variáveis HT e DC neste estudo, recomenda-se novos estudos mais detalhados devido à alta taxa de sobrevivência.

■ AGRADECIMENTOS E/OU FINANCIAMENTO

A Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA pelo fomento a pesquisa com a oferta de bolsas PIBIC e PROFIC. A Unidade Especial da Fazenda Experimental da UFOPA pela disponibilização de espaço para instalação de base científica. Ao Instituto de Biodiversidade e Florestas pelo apoio logístico nas atividades de campo.

■ REFERÊNCIAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: projeto de estruturas de madeiras. São Paulo, 1997.
2. Almeida, D. H. D., Scaliante, R. D. M., Macedo, L. B. D., Macêdo, A. N., Dias, A. A., Christoforo, A. L., & Calil Junior, C. (2013). Caracterização completa da madeira da espécie amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum* HERB) em peças de dimensões estruturais. **Revista Árvore**, 37(6), 1175-1181

3. ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Edição 3a, São Paulo: Expressão Popular, 2012. 400p.
4. ARAUJO, H. J. B.; CORREIA, M. F.; SIVIERO, A.; MACEDO, P. E. F.; OLIVEIRA, L. C. Plantios de enriquecimento em florestas de produção no Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2013. 18 p. (Embrapa Acre. **Circular Técnica**, 66).
5. BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
6. BRASIL. Lei n.12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Presidência da República**, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm
7. CORDEIRO, I. M. C. C., BARROS, P. L. C. D., LAMEIRA, O. A., & GAZEL FILHO, A. B. Avaliação de plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby de diferentes idades e sistemas de cultivo no município de aurora do Pará-PA (BRASIL). **Ciência Florestal**, vol. 25 n. 3, p. 679-687, 2015.
8. COSTA, J. R.; DE MORAIS. R. R.; & CAMPOS, L. D. S. Cultivo e manejo de mogno (*Swietenia macrophylla* King). Embrapa Amazônia Ocidental – Documentos (INFOTECA – E), 2013.
9. COSTA, M. S.; FEITOSA, C. T. L.; CRUZ, S. S.; RIBEIRO, S. B.; MORAIS, A. B. F.; OLIVEIRA, M. G. Crescimento do Mogno em sistema silvipastoril. **Revista Agroecossistemas**, v. 5, n. 2, p. 53-57, 2013.
10. CUNHA NETO, E. M.; SANTANA, G. M.; BRASIL, I. D. S.; ARAUJO, E. C.G. Produção madeireira – A importância dos tratos silviculturais. **Revista Campos & Negócios**, 2019. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/producao-madeireira-a-importancia-dos-tratos-silviculturais/>. Acessado em 22/04/2021.
11. DAPONT, E. C.; SILVA, J. B.; OLIVEIRA, J. D; ALVES, C. Z.; DUTRA, A. S. Métodos para acelerar e uniformizar a emergência de plântulas de *Schizolobium amazonicum*. **Revista Ciência Agrônômica**, 45 (3): 598-605, jul-set, 2014.
12. DIAS, P. C; ATAÍDE, G. M; XAVIER A, OLIVEIRA, L. S, PAIVA, H. N. Propagação vegetativa de *schizolobium amazonicum* por estaquia. **Cerne**, 21 (3): 379-386, 2015.
13. FLORA JUNIOR. EMPRESA JÚNIOR DA ENGENHARIA FLORESTAL DO RIO DE JANEIRO. O que fazer após um Plantio Florestal, 2020. Disponível em: [Flora%20Jr_2020_O%20que%20fazer%20após%20um%20Plantio%20Florestal_.html](https://www.flora.com.br/Flora%20Jr_2020_O%20que%20fazer%20após%20um%20Plantio%20Florestal_.html). Acessado em 01/05/2021.
14. GUIMARÃES, S. (2015). CRESCIMENTO DE *Schizolobium amazonicum* (HUBER ex DUCKE) EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO E DE DEMANDA ATMOSFÉRICA (Master's thesis, Universidade Federal do Espírito Santo).
15. IBÁ. Relatório Ibá 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 29 de abril. de 2021.
16. ICRAF. Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal. **Guia Técnico**. Brasília/DF, 2016.

17. LOHMANN, L.G. Bignoniaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível na Flora do Brasil.
18. LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Editora Plantarum, 2008. 384 p.
19. LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Editora Plantarum, 2002. 368 p.
20. MELO, J. E.; CARVALHO, G. M.; MARTINS, V. A. Espécies de madeiras substitutas do mogno. Manaus: IBAMA, 1989. 16p. (Série Técnica, 6).
21. MELOTTO, A.; NICODEMO, M. L.; BOCCHESI, R. A.; LAURA, V. A.; GONTIJO NETO, M. M.; SCHLEDER, D. D.; POTT, A.; SILVA, V. P. Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies Florestais nativas do Brasil central indicadas para sistemas Silvicultoriais. Revista *Árvore*, Viçosa/MG, v.33, n.3, p.425-432, 2009
22. MOTA, M. de S. Crescimento inicial de espécies nativas e exóticas em Sooretama, Espírito Santo. ES, 2014.
23. PARAENSE, V. C.; MENDES, F. A. T.; FREITAS, A. D. D. Avaliação Econômica de Sistemas Agroflorestais de Cacau e Mogno na Transamazônica: Um Estudo De Caso. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 9, n.16, 11 p. 2013.
24. PAULETTO, D. SILVA, R. P.; CARVALHO, C. S. S.; LOPES, L. S. S.; BALONEQUE, D. D.; SILVA, S. U. P. Custos de implantação de sistema agroflorestal experimental sob diferentes condições de manejo em Santarém, Pará. **Cadernos de Agroecologia**, 2018.
25. PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S. C. Crescimento de espécies arbóreas utilizadas na recuperação de área degradada. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v. 13, n. 41, p. 102–110, 2012.
26. PREISLER, A. A. Sistemas Agroflorestais: planejamento, práticas de manejo e legislação. 2013. 96 f. **Dissertação** (Mestrado em Gestão, Licenciamento e Auditoria Ambiental) – Universidade Norte do Paraná, Santa Rosa, 2013.
27. RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Science**, Madison, v. 7, n. 3, p. 171-175, 1967.
28. RAYOL, B. P.; ALVINO-RAYOL, F. O. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais no Baixo Amazonas, Pará, Brasil. Universidade do Estado de Santa Catarina, **Revista de Ciências Agroveterinárias** 18 (1): 2019.
29. ROCHA, J. **Solos da região sudeste do Município de Santarém, estado do Pará: Mapeamento e Classificação** (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará. Santarém, 2014.
30. ROLIM, S. G., & PIOTTO, D. Silvicultura e tecnologia de espécies da Mata Atlântica. **Editora Rona**, Belo Horizonte, 2018. 160 p..
31. SANCHES, N. S. Silvicultura - Poda e Desbaste. Disponível em: https://colheidademadeira.com.br/noticias/silvicultura_poda_e_desbaste/. Publicado em 31 de março de 2014. Acesso em 01/05/2021.

32. SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Sistemas Agroflorestais (SAFs): conceitos e práticas para implantação no bioma amazônico/ Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR) 1. ed. Brasília: **SENAR**, 2017.
33. SOUZA, A. C.; MORAIS, M. R.; SOUZA, L. M. C.; OLIVEIRA, A. L.; BLEICH, M. E. Desenvolvimento inicial do Ipê Amarelo (*Handroanthus* sp.) em zona ripária degradada. III SEMINÁRIO DE BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS AMAZÔNICOS. **Anais**. Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, v. 2, n. 1, 2015.
34. TAVARES, L. S.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO, F. C. A.; MAAS, K. D. B. Lodo do curtimento e sua influência na produção de mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) e nas propriedades químicas do solo. **Ciência Florestal**. 23 (3): 357-368, jul.-set, 2013.

Volume de galhos de copas de espécies manejadas na Amazônia Sul-Occidental

| **Scheila Cristina Biazatti**
UNIR

| **Rômulo Mõra**
UFMT

| **Marta Silvana Volpato Scoti**
UNIR

| **Cyro Matheus Cometti Favalessa**
UFMT

| **Gilson Fernandes da Silva**
UFES

| **Ronaldo Drescher**
UFMT

RESUMO

O manejo florestal sustentável prevê, dentre várias ações, também o aproveitamento de resíduos da exploração, como galhos e sapopemas. No entanto, obter estimativas da quantificação desse material madeireiro, mostra-se como principal fator limitante para seu uso. **Objetivo:** Nesse sentido, o presente estudo objetivou avaliar métodos de estimativas do volume de galhos de copa, possibilitando a utilização dos resíduos florestais, para espécies comerciais na Amazônia Sul-ocidental. **Método:** A coleta dos dados foi feita em área de concessão florestal, na Flona do Jamari. Foi realizada a cubagem de fuste e galhos de copa de 30 árvores de 12 espécies, com divisão dos galhos de copa em dois grupos baseados nas possibilidades de uso, sendo volume dos galhos da copa com $d < 30\text{cm}$ (Grupo 1) e volume dos galhos da copa com $d \geq 30\text{cm}$ (Grupo 2). Como métodos de estimativa do volume de galhos foram utilizados a relação dendrométrica entre volume comercial e volume de galhos de copa, além de equações de volume de galhos de copa. **Resultados:** Os resultados apontaram um fator de relação dendrométrica inferior ao permitido legalmente para o primeiro ano de exploração. Em relação as equações de volume de galhos, obteve-se com maior precisão a equação modelada que usa como variáveis independentes altura e volume comercial. **Conclusão:** Dessa forma, dadas as possibilidades de mensuração e quantificação dos resíduos da exploração florestal, os métodos apresentados podem ser utilizados para obtenção de estimativas do volume de resíduos de espécies nativas exploradas em áreas de manejo florestal na Amazônia Sul-ocidental.

Palavras-chave: Manejo de Impacto Reduzido, Aproveitamento Florestal, Resíduos da Exploração Florestal, Produtos Florestais.

■ INTRODUÇÃO

O manejo florestal de impacto reduzido realizado em áreas de florestas nativas na Amazônia, exige que esta atividade seja planejada e executada fundamentado em princípios ecológicos e informações eficientes e precisas sobre quantidade, qualidade e aproveitamento dos recursos florestais manejados (BRASIL, 2006; THAINES *et al.*, 2010; BORSOI *et al.*, 2012; BRAZ *et al.*, 2014; TONINI; BORGES, 2015), ressaltando a necessidade e importância do aproveitamento de resíduos da exploração florestal (BRAZ *et al.*, 2014).

Considerando as bases legais (BRASIL, 2006; BRASIL, 2009), as empresas florestais que atuam no manejo de florestas nativas na Amazônia, necessitam avaliar o potencial de uso dos resíduos, a fim de buscar maneiras de quantificar e estimar a produção volumétrica e potencializar o uso desse material em diferentes produtos florestais (BORSOI *et al.*, 2012; RIBEIRO *et al.*, 2016).

Ainda segundo os autores citados anteriormente, torna-se interessante para a produtividade da floresta que, uma mesma árvore possa ter diferentes usos com a inclusão dos galhos da copa no quantitativo volumétrico, por exemplo, serraria, carvão, produtos artesanais e energia.

De acordo com Silva-Ribeiro *et al.* (2016) os resíduos florestais advindos das atividades madeireiras têm grande importância energética, mas se tratando de florestas nativas, que predominam espécies de grande porte e valor comercial elevado, a utilização dos resíduos pode ser mais nobre. Esses resíduos podem ser usados em atividades de serraria até a geração de energia, agregando melhor aproveitamento e maior valor as florestas.

E, pensando também no fator ecológico, o uso dos resíduos pode favorecer os processos de recuperação das clareiras, uma vez que a regeneração natural no ponto em que fica depositado o material das copas só ocorre após a decomposição desse material, o que tendem a aumentar o tempo necessário para regeneração da clareira (PUIG, 2008).

Entretanto, é importante considerar que o processo de obtenção de estimativa do volume dos galhos da copa não compreende uma tarefa fácil, visto que muitas vezes os galhos não mantêm relação bem definida com a forma dos sólidos geométricos e ainda podem não apresentar compatibilidade com o volume do fuste, o que pode gerar uma baixa precisão das estimativas, quando obtidas por meio de relações dendrométricas (CAMPOS; LEITE, 2017).

Nesse sentido, estudos sobre a quantificação de resíduos florestais, como forma de possibilitar seu aproveitamento e utilização, tem grande importância, principalmente incentivando a busca por soluções, visando minimizar os desperdícios e o impactos ao meio ambiente, bem como viabilizar aspectos econômicos e contribuir para a conservação dos recursos florestais e qualidade ambiental, social e econômica do manejo florestal na Amazônia (BRAZ *et al.*, 2014).

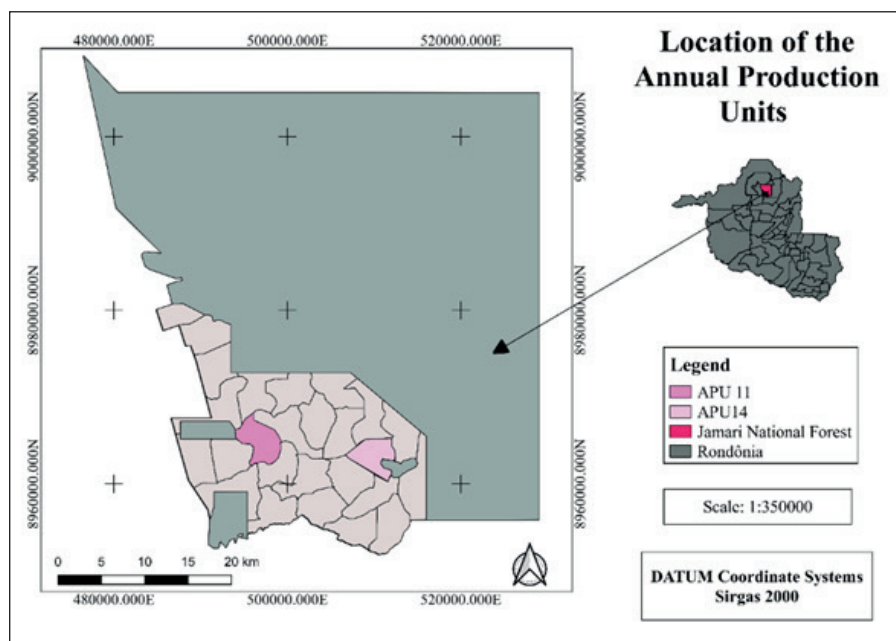
Assim sendo, o presente estudo objetivou avaliar métodos de estimativas do volume de galhos de copa de árvores de espécies nativas, possibilitando o uso desse material como resíduo em planos de manejo florestal na Amazônia Sul-ocidental.

■ MÉTODO

Localização e caracterização da área

O estudo foi desenvolvido em duas Unidades de Produção Anual (UPAs), na Unidade de Manejo Florestal (UMF) III, na Floresta Nacional (Flona) do Jamari, RO, sob regime de concessão florestal (Figura 1). As UPAs localizam-se nas porções oeste e leste da UMF III e apresentam área total de 1.846,82 ha e 2.455,69 ha, respectivamente (AMATA, 2009, 2017).

Figura 1. Localização das Unidades de Produção Anual na Unidades de Manejo Florestal III, Flona do Jamari, sob regime de concessão na Amazônia Sul-ocidental.



A região, segundo a classificação de Köppen, apresenta clima do tipo Am, com período de seca bem definido, médias anuais de temperatura entre 24 e 26 °C e precipitação entre 1900 e 2200 mm, relevo que varia de plano a levemente ondulado, com maior ocorrência de altitude de até 150 m (AMATA, 2009; ALVARES *et al.*, 2013; CLIMATE-DATA, 2018). Os principais tipos de solos encontrados são classificados como Latossolos e Argissolos, com predominância de Argissolos Vermelho-amarelo Distrófico, caracterizando-se como profundos e bem drenados, com textura argilosa (MMA-IBAMA, 2005; AMATA, 2009).

A vegetação apresenta classificação predominante de Floresta Ombrófila Aberta, com faciações de Floresta Ombrófila Densa, caracterizadas pela presença de árvores espaçadas e dossel com altura de aproximadamente 40 m, árvores de grande porte emergente com

45 a 55 m e a palmeiras em algumas áreas (MMA-IBAMA, 2005; AMATA, 2009). De acordo com o inventário realizado nas UPAs, algumas das espécies de valor comercial mais ocorrentes são: Faveira ferro (*Dinizia excelsa* Ducke), Embireira (*Couratari stellata* A. C. Sm.), Muiracatiara (*Astronium lecointei* Ducke), Garapeira (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr), Cumarú (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.), Angelim Pedra (*Hymenolobium heterocarpum* Ducke), Roxinho (*Peltogyne paniculata* Benth), Guariúba (*Clarisia racemosa* Ruíz & Pav.), Tauari-Vermelho (*Cariniana micrantha* Ducke) e Cambará (*Qualea paraensis* Ducke) (AMATA, 2009; 2017).

Coleta de dados

A amostra foi composta de 30 árvores com DAP \geq 50 cm, representando 12 espécies (Tabela 1). Essas foram escolhidas pela destinação e utilização dos galhos da copa pela serraria da empresa concessionária e por outras empresas da região.

Tabela 1. Amostra por espécie utilizada para quantificar o volume de galhos de copa em área de concessão na Amazônia Sul-ocidental.

Nome científico	Nome comum	Nº de ind.
<i>Allantoma decandra</i> (Ducke) S.A.Mori et al.	Jequitibá	1
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Garapeira	3
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Muiracatiara	4
<i>Couratari stellata</i> A.C.Sm.	Embireira	6
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Faveira ferro	2
<i>Diploptropis rodriguesii</i> H.C. Lima	Sucupira preta	1
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Cumarú	3
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	Ipê roxo	2
<i>Hymenolobium heterocarpum</i> Ducke	Angelim pedra	2
<i>Peltogyne paniculata</i> Benth.	Roxinho	4
<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	Abiu	1
<i>Qualea paraensis</i> Ducke	Cambará rosa	1

A cubagem do fuste consistiu na mensuração do diâmetro, pelo método de Smalian, nas seguintes posições: base do corte de abate, 0,5 m, 0,8 m, 1,0 m, 1,3 m (DAP) e a partir desta, a cada 2 m até a altura comercial, considerada neste caso a altura do primeiro galho vivo. Para a cubagem dos galhos da copa foi realizado o seccionamento em toretes para facilitar o manuseio, sendo mensurados todos os que atingiram diâmetro mínimo de 4 cm, conforme adaptado da metodologia de Borsoi *et al.* (2012).

O volume comercial do fuste consistiu no somatório dos volumes dos toretes da base até a altura comercial. Enquanto para obter o volume da copa realizou-se o somatório dos volumes dos galhos. Foram realizadas também medidas de comprimento e diâmetro da copa, nos sentidos longitudinal, (Diâmetro: 1-2) e perpendicular (Diâmetro: 3-4), respectivamente, tendo como referência de mensuração o centro da copa, dado pelo galho principal que estava

na mesma orientação do fuste comercial, partindo do centro para as extremidades da copa com as árvores abatidas (Figura 2).

Figura 2. Pontos de medição do diâmetro da copa de espécies nativas em área de concessão na Amazônia Sul-ocidental.



Após todas as etapas de medição foram obtidas as seguintes variáveis DAP, altura comercial (h_c), altura total (h_t), volume comercial (v_c), volume da copa (v_{copa}); comprimento da copa (cc); diâmetro da copa (dc) e área da copa (ac), sendo as últimas quatro tratadas como variáveis morfométricas da copa.

As variáveis comprimento da copa (cc) e área da copa (a) foram calculadas conforme descrito por Durlo; Denardi (1998) e Wink *et al.* (2012).

Foi realizado ainda para o volume da copa a divisão em dois grupos: volume dos galhos da copa com $d < 30\text{cm}$ (Grupo 1), e volume dos galhos da copa com $d \geq 30\text{cm}$ (Grupo 2). Essa divisão foi feita com base na utilização da copa, onde os galhos da copa com $d \geq 30\text{cm}$ são destinados a serraria e utilizados comercialmente como toretes (toras de menor qualidade) e os galhos da copa com $d < 30\text{cm}$ são deixados no campo ou podem ser utilizados para outros fins.

Análise dos dados

A partir das variáveis geradas realizou-se a análise estatística descritiva, a fim de verificar o comportamento das mesmas.

A obtenção das estimativas de volume dos galhos da copa foi realizada por meio de dois métodos: relação dendrométrica pela razão entre o volume comercial e o volume da copa e modelos para estimativa do volume.

A relação dendrométrica pela razão entre o volume comercial e o volume da copa, resulta em um fator que representa a quantidade de m³ de volume da copa para cada um m³ de volume comercial. Posteriormente foi determinado um intervalo de confiança para o volume da copa total e para as classes de d<30cm e d≥30cm.

Os modelos utilizados foram baseados em literatura específica e adaptados de modelos para volume comercial (BORSOI *et al.*, 2012), modelados com base na análise de correlação de Pearson e também utilizando a técnica de análise discriminante pelo método *Stepwise* (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos para volume da copa de espécies nativas de valor comercial em área de concessão na Amazônia Sul-ocidental.

Mod	Grupo	Equação
M1	Modelo da reta	$vcopa = \beta_0 + \beta_1 DAP + \epsilon$
M2	Borsoi et al. (2012)	$vcopa = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 hc + \epsilon$
M3		$vcopa = \beta_0 + \beta_1 (\log DAP) + \beta_2 (1/DAP) + \epsilon$
M4*	Correlação	$vcopa = \beta_0 + \beta_1 hc + \beta_2 vc + \epsilon$
M5		$vcopa = \beta_0 + \beta_1 hc + \beta_2 ht + \beta_3 vc + \beta_4 cc + \epsilon$
M6		$vcopa = \beta_0 + \beta_1 hc + \beta_2 ht + \beta_3 cc + \beta_4 DAPhc + \beta_5 vc^2 + \epsilon$
M7		$vcopa = \beta_0 + \beta_1 vc + \beta_2 cc + \epsilon$
M8	<i>Stepwise</i>	$vcopa = \beta_0 + \beta_1 hc + \beta_2 ht + \beta_3 cc + \beta_4 dc + \beta_5 DAPhc + \beta_6 vc^2 + \epsilon$
M9		$vcopa = \beta_0 + \beta_1 hc + \beta_2 ht + \beta_3 vc + \beta_4 cc + \beta_5 dc + \epsilon$
M10		$vcopa = \beta_0 + \beta_1 hc + \beta_2 ht + \beta_3 vc + \beta_4 cc + \beta_5 dc + \beta_6 DAP^2 + \epsilon$

Em que: (*) o modelo também foi obtido com base no procedimento *Stepwise*; (DAP) o diâmetro a 1,30 m do solo, em cm; (hc) a altura comercial, em m; (ht) a altura total, em m; (vc) o volume comercial, em m³; (dc) o diâmetro da copa, em m; (ac) a área da copa, em m²; (cc) o comprimento da copa, em m; (vcopa) o volume da copa, em m³; e, (ϵ) erro aleatório; ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_n$) coeficientes da regressão.

A seleção de variáveis pelo procedimento *Stepwise*, baseou-se na correlação entre as variáveis explicativas e a variável dependente. Foram testadas as variáveis DAP, hc, ht, vc, cc, dc e ac nas formas originais, transformadas e combinadas. A partir da apresentação das variáveis, essas foram incorporadas ao modelo e, por meio do Critério de Informação de Akaike (AIC), essa foram mantidas ou retiradas do modelo, evidenciando ao final, o que obtivesse menor valor de AIC.

Avaliou-se também o valor de inflação da variância (VIF), como forma de observar possíveis problemas de multicolinearidade, representados pela correlação entre as variáveis independentes.

O modelo descrito como $vcopa = \beta_0 + \beta_1 hc + \beta_2 ht + \beta_3 cc + \beta_4 DAPhc + \beta_5 vc^2 + \epsilon$, foi baseado em um dos modelos criados pelo procedimento *Stepwise* com a exclusão da variável independente dc.

Para cada equação ajustada foi testada a significância dos coeficientes ao nível de 95% de confiança pelo teste *t* de Student.

A seleção da equação mais acurada baseou-se nas estatísticas de avaliação dos valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da média em percentagem (S_{yx}) e gráficos da distribuição dos resíduos percentuais, quando utilizadas variáveis dependentes transformadas na forma logarítmica foi aplicada a correção pelo índice de Meyer.

A tabulação e organização dos dados deu-se em planilhas eletrônicas e o processamento e análise dos dados foi realizado com a utilização do *software* R (R CORE TEAM, 2017), e, todas as análises foram realizadas considerando todo o conjunto de dados, sem fragmentação, pelo baixo número de árvores por espécie.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseado nos resultados, as variáveis *vc* e *vcopa* têm elevado coeficiente de variação (>50%) (Tabela 3). Esse cenário foi causado pela alta variabilidade inter e intra espécies, que gerou amplitude dos valores das variáveis volume comercial e de copa próximos a 20 m³, além de que essa variação reflete a variabilidade de outras variáveis, usadas no cálculo dos volumes comercial e de galhos de copa.

Esse comportamento é comum em florestas naturais, devido as características das diferentes espécies que compõe esses ambientes (CORREIA *et al.*, 2017) e para a aplicação, principalmente de modelos de regressão, a elevada variação nas formas do fuste e nesse caso, também dos galhos de copa, torna-se o principal limitante para o ajuste de equações de volume (FIGUEIREDO FILHO, 1983; CYSNEIROS *et al.*, 2017).

Tabela 3. Estatística descritiva de variáveis dendrométricas e morfométricas obtidas da cubagem rigorosa de espécies nativas de valor comercial em área de concessão na Amazônia Sul-ocidental.

	Min	Max	Méd	Medi	s	Sy	CV
DAP	50,8	126,4	77,5	75,2	17,9	3,3	23,1
hc	11,0	30,2	21,1	20,6	5,5	1,0	26,3
ht	27,1	52,5	39,7	39,9	5,7	1,0	14,5
vc	2,8106	21,1480	7,4644	6,4119	4,4208	0,8071	59,2249
cc	11,6	29,7	18,6	17,9	4,7	0,9	25,2
dc	7,0	18,8	12,7	12,2	3,4	0,6	26,6
ac	38,4845	277,5911	135,8490	115,9601	68,9028	12,5799	50,7201
vcopa	1,4488	19,9928	5,8949	4,5167	4,4435	0,8113	75,3781

Em que: (Min) valor mínimo da variável, em cm, m e m³ dependendo da variável; (Méd) média aritmética, em cm, m e m³, dependendo da variável; (Medi) mediana em cm, m e m³ dependendo da variável; (Max) máximo valor da variável, em cm, m e m³, dependendo da

variável; (s) desvio padrão em cm, m e m³, dependendo da variável; (S_y) erro padrão da média, em cm, m e m³, dependendo da variável; (CV) coeficiente de variação, em porcentagem.

Destaca-se para a variável área da copa (ac) alta heterogeneidade ($CV \geq 50\%$), demonstrando, de forma geral, a expressão das condições do ambiente, principalmente de competição por luz, que influencia diretamente nas variáveis de copa, sobretudo, no arranjo de distribuição dos galhos da copa.

Outro fator importante dá-se pela contribuição de cada espécie na elevada variação de área da copa, isso porque, as espécies apresentam comportamento das variáveis dendrométricas diferentes, em que, nesse caso foram observadas espécies com copas maiores ou menores, influenciadas pelas características do fuste, principalmente relacionadas as dimensões na base e presença de sapopemas.

Exemplifica-se as espécies *Apuleia leiocarpa*, *Couratari stellata*, *Dinizia excelsa* e *Hymenolobium heterocarpum* que apresentam grandes sapopemas e/ou dimensões na base do fuste, representando também copas grandes, com muitas ramificações. Enquanto espécies como *Astronium lecointei* e *Dipteryx odorata* possuem pouca ou nenhuma sapopema, apresentam maior uniformidade volumétrica ao longo do fuste e copas com menores dimensões e pouco ramificadas.

Essas características de morfometria de copa, sobretudo as relacionadas a diâmetro e área de copa, segundo Durlo e Denardi (1998), descrevem as relações interdimensionais e refletem o espaço ocupado pelas árvores, podendo expressar também o grau de competição do povoamento florestal.

Para as demais variáveis, observou-se menor variação dos dados, refletida nos valores de coeficiente de variação, que foram inferiores a 30%, principalmente para as alturas comercial e total. A maior homogeneidade dessas variáveis, reflete uma menor variação entre as espécies, uma vez que, as árvores amostradas se encontravam estabelecidas nos estratos superiores da floresta e por isso, já apresentavam todo crescimento em altura, até o dossel da florestal.

Com base na divisão dos galhos em classes de diâmetro menores que 30cm (Classe I - galhos com $4 \leq d < 30$ cm) e maiores que 30 (Classe II - galhos com $30 \leq d \leq 119$ cm), obteve-se as médias dos volumes, o fator e o intervalo de confiança do v_{copa} para as duas classes e para o total (Tabela 4).

Tabela 4. Relação entre volume comercial e volume de galhos de copa e intervalo de confiança do volume de galhos de copa obtidos para espécies florestais de valor comercial em área de concessão na Amazônia Sul-ocidental.

	Classe I	Classe II	Conjunto de dados total
vc	7,4644	7,4644	7,4644
vcopa	2,4033	3,4916	5,8949
Relação vc/vcopa	0,3220	0,4678	0,7897
IC	$\bar{y} \pm 0,5738$	$\bar{y} \pm 1,3973$	$\bar{y} \pm 1,6550$

Em que: (\bar{y}) média aritmética do vcopa em m³; (IC) intervalo de confiança para a média de volume de galhos em m³, considerando a relação vc/vcopa; (vc) volume comercial em m³; (vcopa) volume dos galhos de copa em m³.

A Classe II de galhos, que representam os resíduos de exploração com uso mais nobre da madeira, como a destinação para serrarias e, conseqüentemente, maior valor agregado, obteve-se em média que para cada m³ de volume comercial tem-se um quantitativo de 0,4678 m³ de volume de galhos passível de uso, exemplificando que a média de volume real de copa por árvore está representada pelo intervalo de $2,0943 \text{ m}^3 \leq \bar{y} \leq 4,8889 \text{ m}^3$.

Avaliando os resultados obtidos e tendo como base a proporção dada pelas normativas legais que estabelecem os parâmetros técnicos do manejo florestal na Amazônia (BRASIL, 2006; BRASIL, 2009), de que a permissão de retirada para o primeiro ano de atividades corresponde a um metro cúbico de resíduos para cada metro cúbico de volume de fuste comercial, a proporção média obtida no estudo ficou abaixo do previsto pela Lei, com relação vc/vcopa de 0,7897 m³ para o grupo de espécies estudadas.

Considerando as condições apresentadas no estudo, a partir da média de volume comercial de 7,4644 m³ e tomando por base a legislação, que permite a exploração de até 30 m³ha⁻¹, utilizando apenas a Classe II, seria possível o aproveitamento de até 14,0340 m³ de volume de copa como matéria-prima destinada a serraria.

Utilizando-se ainda esse fator como princípio de cálculo e considerando todo o volume de galhos obtido, tem-se um quantitativo volumétrico de 23,6910 m³ de resíduos da exploração. Evidenciando que, com o uso do volume total (vc e vcopa), a exploração autorizada pela legislação, pode chegar a valores superiores a 50 m³ha⁻¹.

Como as previsões de ciclo e taxa de corte, para espécies do bioma Amazônico, consideram apenas o volume comercial explorado, o quantitativo volumétrico da copa apresenta-se como um percentual extra da exploração. No entanto, poderia ser inserido como volume comercial, já que, pelo menos 40% dos volumes de galhos (0,4678 m³ para cada 1 m³ de volume comercial) são passíveis de uso na forma de madeira serrada, destinação principal do fuste comercial. Essa pode ser uma alternativa para otimização dos recursos madeireiros da floresta e, se assim considerados, contribuir para sustentabilidade do manejo florestal, uma vez que, incorporando parte dos resíduos da exploração como volume

comercial, sugere-se a redução do número de árvores abatidas e dos impactos gerados com as atividades exploratórias.

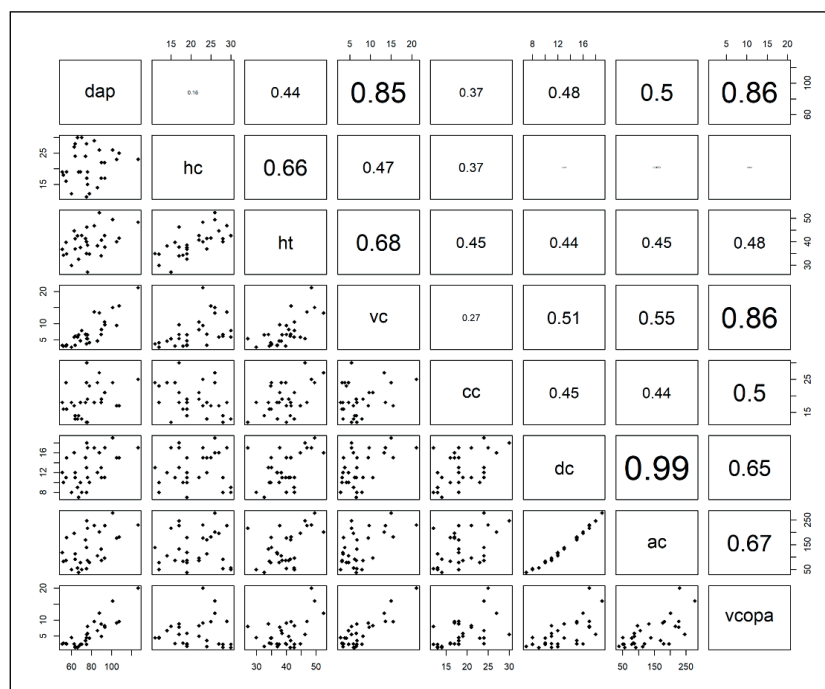
De modo geral, a partir da divisão dos galhos da copa em dois grupos permite-se o aproveitamento de subprodutos da copa, com destinação para serraria dos galhos com $d \geq 30$ cm e para galhos menores usos, por exemplo, voltados a produção de carvão, energia e produtos artesanais (móveis, biojóias e outros). Dessa forma, a agregação de valor ao volume total (volume comercial e volume de galhos da copa) atuariam na promoção dos múltiplos usos madeireiros da floresta, contribuindo para os aspectos de sustentabilidade do manejo de florestas naturais da Amazônia.

De acordo com Braz *et al.* (2014), além dos aspectos produtivos e ambientais, a partir da produção de produtos e subprodutos, agregação de valor e a redução da pressão para derrubada de novas árvores e áreas, a utilização dos resíduos florestais atua ainda nos aspectos sociais da sustentabilidade, por promover oportunidades de empreendedorismo no manejo florestal, com a possibilidade de renda e incentivo a uma nova cadeia produtiva para o setor de florestas tropicais.

Além das estatísticas descritivas e intervalos de confiança foram ainda testadas equações para estimar o volume o volume de galhos da copa. Em que, para confecção dos modelos foram utilizadas a correlação de Pearson e a técnica de Stepwise.

O resultado da análise de correlação, demonstrou correlação positiva da variável volume da copa com as variáveis DAP e volume comercial ($>0,80$), diâmetro e área da copa ($>0,60$). A observação de correlação significativamente alta, principalmente entre vcopa, DAP e vc, permite o uso dessas variáveis para testar modelos de estimativa do vcopa (Figura 3).

Figura 3. Correlação das variáveis dendrométricas de espécies nativas em área de concessão na Amazônia Sul-ocidental.



As variáveis ht e cc, que apresentaram valores de correlação com vcopa próximos a 50%, também foram empregadas nos modelos com variáveis explicativas. E, a variável hc, mesmo com a baixa correlação (<20%), foi utilizada nos modelos e apresentou quando, em modelo de dupla entrada, juntamente com vc desempenho estatístico satisfatório para estimar o vcopa.

Essa melhora dos ajustes com a inserção da variável altura, já foi comprovada por diversos autores em estudos de volumetria do fuste, como Thaines *et al.* (2010), Tonini e Borges (2015), Cysneiros *et al.* (2017) e também era esperada para as estimativas de vcopa, pois a associação de variáveis independentes tende a apresentar esse comportamento.

As equações, de forma geral, apresentaram estatísticas de avaliação com valores maiores que 60 % para R^2_{aj} e inferiores a 46 % para S_{yx} (Tabela 5).

Tabela 5. Coeficientes e estatísticas de avaliação dos modelos de volume de galhos da copa para espécies nativas de valor comercial em área de concessão na Amazônia Sul-ocidental.

Modelo	Coeficientes		R^2_{aj}	S_{yx}
M1	β_0	-10,552076*	72,20	39,74
	β_1	0,212148*		
M2	β_0	-0,21444 ^{ns}	63,00	45,85
	β_1	0,000045*		
M3	β_0	-63,784510*	65,68	44,16
	β_1	37,090060*		
M4	β_0	5,189316*	86,37	27,82
	β_1	-0,342412*		
	β_2	1,060444*		
M5	β_0	-1,121852 ^{ns}	89,99	23,84
	β_1	-50,849724*		
	β_2	50,530586*		
	β_3	-50,281485*		
	β_4	0,004346*		
M6	β_0	-1,609396 ^{ns}	89,19	24,78
	β_1	-45,687892*		
	β_2	45,513353*		
	β_3	0,934632*		
M7	β_0	-5,117239*	79,78	33,89
	β_1	0,777982*		
	β_2	0,279759*		
M8	β_0	-1,157538 ^{ns}	90,96	22,66
	β_1	-39,621518*		
	β_2	39,282242*		
	β_3	-39,108609*		
	β_4	0,185221 ^{ns}		
	β_5	0,004123*		
	β_6	0,021784*		

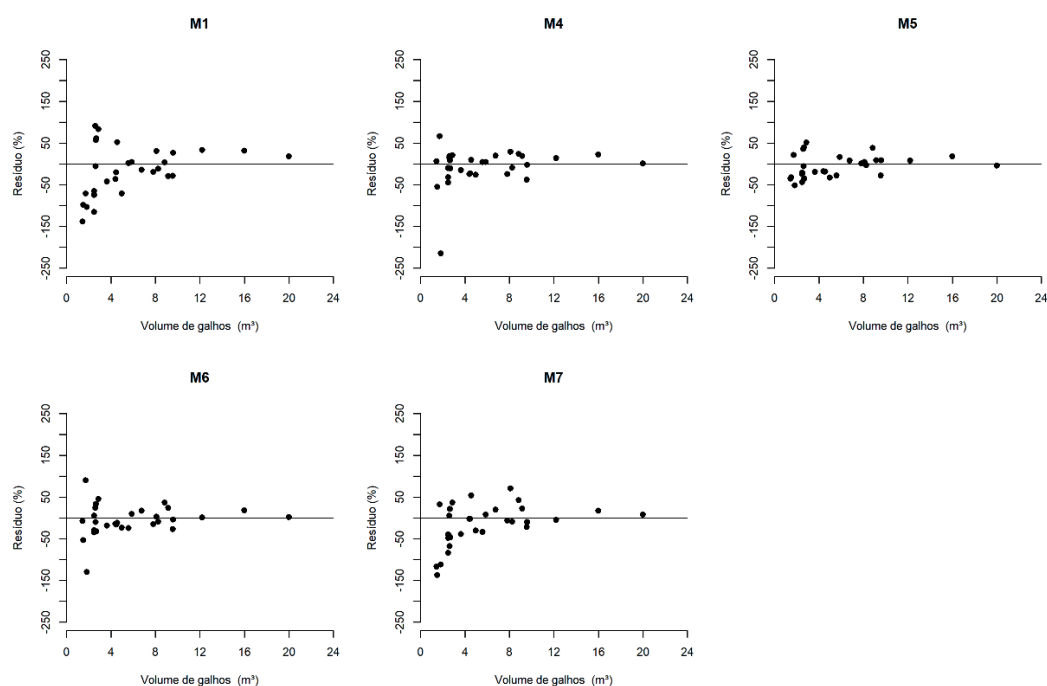
Modelo	Coeficientes		R ² aj	S _{yx}
M9	β_0	-1,688352 ^{ns}	89,82	24,05
	β_1	-35,976095*		
	β_2	35,778366*		
	β_3	0,892856*		
	β_4	-35,629135*		
	β_5	0,167153 ^{ns}		
M10	β_0	-4,317833 ^{ns}	90,49	23,24
	β_1	-40,167079*		
	β_2	40,156078*		
	β_3	0,628287*		
	β_4	-40,137927*		
	β_5	0,157162 ^{ns}		
	β_6	0,000357 ^{ns}		

Em que: (*) significativo para o teste dos coeficientes a nível de 5% de probabilidade; (ns) não significativo para o teste dos coeficientes a nível de 5% de probabilidade; ($\beta_0, \beta_1; \beta_2, \beta_n$) coeficientes da regressão.

Apesar das variáveis DAP, cc, ac e dc apresentarem correlação com o vcopa, os valores de VIF apresentaram valores superiores a 1000, quando essas foram utilizados como variáveis explicativas nos mesmos modelos, indicando multicolinearidade, provavelmente causada pela correlação entre as variáveis independentes combinadas nos modelos de múltiplas entradas. Desta forma, resultando em equações com coeficientes não significativos, como observado no ajuste dos modelos de propostos com uso do procedimento *Stepwise* (M8, M9 e M10).

Em relação ao comportamento da distribuição residual os modelos acompanharam o padrão apresentado pelos outros critérios de avaliação estatística R^2_{aj} e S_{yx} . As equações com pelo menos duas variáveis independentes para estimar o vcopa tiveram distribuição dos resíduos mais uniforme. Verifica-se que as equações de simples entrada tenderam a superestimar a variável dependente, principalmente para as árvores com menor volume de galhos de copa (Figura 4).

Figura 4. Distribuição dos resíduos percentuais para as equações testadas para a estimativa do volume de copa de espécies nativas de valor comercial em área de concessão na Amazônia Sul-ocidental.



Considera-se que, o Modelo M5 ($v_{\text{copa}} = \beta_0 + \beta_1 hc + \beta_2 ht + \beta_3 vc + \beta_4 cc + \varepsilon$) teve estimativas mais precisas, com o maior valor para R^2_{aj} (89,99%) e menor valor para S_{yx} (23,84%), assim como, distribuição residual mais uniforme e menos tendenciosa. No entanto, esse modelo apresenta como variáveis independentes hc , ht , vc e cc , e como as variáveis ht e cc são mais difíceis de medição em florestas nativas, pois necessitam da visualização completa da copa para coleta variáveis dendrométricas, isso pode limitar o estudo. Essas dificuldades podem representar limitação no uso da equação, quando as estimativas tiverem que ser geradas com a árvore em pé, pois em planos de manejo florestal, as estimativas de aproveitamento dos resíduos devem estar contempladas no Plano Operacional Anual.

Nesse sentido, a equação M4 ($v_{\text{copa}} = \beta_0 + \beta_1 hc + \beta_2 vc + \varepsilon$) pode ser sugerida como uma alternativa para gerar as estimativas de volume de galhos de copa uma vez que, essa apresentou valores estatísticos próximos ao da equação M5, com R^2 86,37% e erro inferior a 28%, bem como, comportamento da distribuição residual semelhante.

Em relação ao uso de equação para estimativas do volume de galhos de copa, Borsoi *et al.* (2012) apresenta como de maior precisão, o modelo de Naslund modificado ($v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 dh^2 + \beta_4 h^2$), em que, os autores ressaltam a alta dispersão dos resíduos mesmo com valores baixos de coeficientes de variação para a equação, associando esse comportamento ao fato das árvores serem de diferentes espécies e que essas árvores com mesmo DAP apresentam volumes médios de galhos diferentes.

O uso de equações como método de estimativa do volume de galhos da copa demonstra, segundo Borsoi *et al.* (2012), relativa precisão, podendo essas serem indicadas para

gerar estimativas, embora, as estatísticas apresentem elevados valores de erro e dispersão de resíduos, justificando que esse desempenho estatístico, pode estar associado ao número de espécies distintas e aos fatores bióticos e abióticos que influenciam o crescimento e, por consequência, a forma das árvores e volumetria.

Braz *et al.* (2014), destacam que ainda existem inúmeras dificuldades, principalmente para quantificação, resultando no desperdício dessa matéria prima, causado principalmente pela falta de interesse e tecnologias adequadas para seu aproveitamento.

Dessa forma, o quantitativo de resíduos que podem ser somados a matéria prima final extraída das florestas pode ser bem maior, considerando o retirado atualmente. Além disso, os usos dessa matéria prima em diferentes produtos pode ser melhor explorado, uma vez que, cada espécie nativa da Amazônia possui características únicas e bastante apreciadas no mercado.

Outro ponto a ser destacado, trata-se do quantitativo de indústrias que podem ser atendidas apenas com a exploração dos resíduos florestais, isso porque, esses resíduos possuem dimensões e padrões bastante variados, assim como, suas características e propriedades também se apresentam com variabilidade. Conferindo, nesse caso, possibilidades de usos em diferentes segmentos, desde o uso em termoelétricas e carvoarias, até usos mais nobres como movelaria, decoração de interiores e biojóias.

Portanto, a realização de estudos com essa temática, atua como importante meio de possibilitar o aproveitamento dos resíduos de exploração florestal, uma vez que, há um elevado desperdício desses resíduos que representam boa parte do potencial madeireiro existente na floresta, podendo inclusive ser parte do volume comercial manejado na região Amazônica.

■ CONCLUSÃO

A relação dendrométrica entre volume comercial e volume de galhos de copa, para o grupo de espécies estudadas, foi inferior ao sugerido por Lei (1 m^3 para cada m^3 de madeira colhida) para o primeiro ano de exploração, indicando a necessidade de realização de mais trabalhos nessa linha de pesquisa para desenvolver um parâmetro e atuar na reformulação da legislação vigente que não contempla todos os aspectos de produção do manejo florestal no bioma Amazônico.

Os modelos de regressão, como forma de estimativa o volume de galhos de copa, apresentam desempenho estatístico satisfatório, sobretudo considerando a elevada variação dos dados das variáveis dendrométricas, usadas como explicativas.

A equação ajustada com melhor desempenho estatístico e viabilidade prática de uso é M4 ($v_{\text{copa}} = \beta_0 + \beta_1 hc + \beta_2 vc + \varepsilon$), considerando as espécies e condições estudadas.

As diferentes abordagens sobre as formas de estimativa do volume de galhos de copa são importantes na produção de resultados que permitam o conhecimento do potencial de produção de resíduos da exploração florestal em áreas de manejo na Amazônia.

■ AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

■ REFERÊNCIAS

1. BORSOI, G.A.; MÜLLER, B.V.; BRENA, D.A. Equações de volume para galhos de espécies em diferentes grupos de valor econômico em uma Floresta Ombrófila Mista. **Revista Ambiente**, v.8, n.3, p.869-878, 2012. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/1370>>. Acesso em 13 de fev. 2019.
2. BRASIL. MMA. Instrução Normativa n. 5, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal. **Legislação federal**. 2006.
3. BRASIL. CONAMA. Resolução 406, de 02/02/2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável-PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. **Legislação federal**. 2009.
4. BRAZ, R. L.; NUTTO, L.; BRUNSMEIER, M.; BECKER, G.; SILVA, D. A. Resíduos da colheita florestal e do processamento da madeira na Amazônia – uma análise da cadeia produtiva. **Journal of Biotchnology and Biodiversity**. v.5, n.2, p. 168-181, 2014. Disponível em: <<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/JBB/article/view/1216>>. Acesso em 13 de fev. 2019.
5. CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5ª ed. Viçosa: Editora UFV. 2017. 636 p.
6. CORREIA, J.; FANTINI, A.; PIAZZA, G. Equações Volumétricas e Fator de Forma e de Casca para Florestas Secundárias do Litoral de Santa Catarina. **Floresta Ambiente**, vol.24, e20150237. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.023715>.
7. CYSNEIROS, V. C.; PELISSARI, A. L.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SOUZA, L. Modelos genéricos e específicos para estimativa do volume comercial sob concessão na Amazônia. **Scientia Forestalis**. Piracicaba-SP. v.45, n.114, p. 295-304. 2017. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/leitura.asp?Article=06&Number=114>>. Acesso em: 13 de fev. 2019. DOI: dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n114.06.

8. DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, n.1, p. 55-66. 1998. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/351>>. Acesso em 13 de fev. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/19805098351>.
9. FIGUEIREDO FILHO, A. **Estudos de modelos matemáticos para estimar o volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida na Amazônia Brasileira**. Dissertação de mestrado (Universidade Federal do Paraná). 176 p. 1983.
10. R CORE TEAM (2017). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
11. SILVA-RIBEIRO, R. B.; GAMA, J. R. V.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. Métodos para estimar o volume de fuste e galhos na Floresta Nacional do Tapajós. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.40, n.1, p.81-88, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000100009>.
12. RIBEIRO, R. B. S. **Quantificação e valoração de resíduos da colheita florestal na Floresta Nacional do Tapajós, Pará**. 2013. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Ciência Florestal). Viçosa – MG. 91p. 2013.
13. THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 283-289, 2010. Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/155/142>>. Acesso em: 13 fev. 2019.
14. TONINI, H., BORGES, R. A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 111-117, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.82.738>.

Variáveis ambientais e estrutura arbórea do PNMCBIO: conhecimentos para a manutenção da biodiversidade

| **Samuel Coelho**
Hileia Consultoria Ambiental

| **Ana Carolina Devides Castello**
UEMG - Unidade Ituiutaba

| **Eliana Cardoso-Leite**
UFSCar - Campus Sorocaba

RESUMO

Objetivo: analisar a estrutura do remanescente de floresta nativa do Parque Natural Municipal Corredores da Biodiversidade e verificar se as características do ambiente (bióticas e abióticas) estão influenciando a distribuição das espécies na área. **Método:** foram alocadas 64 parcelas de 10mx10m em diferentes porções do fragmento, sendo incluídos todos os indivíduos com circunferência à altura do peito igual ou superior a 15cm. Foram realizadas análises de componentes principais e de correspondência utilizando-se características ambientais das unidades amostrais. **Resultados:** foram amostrados 1088 indivíduos, distribuídos em 29 famílias, 54 gêneros e 79 espécies, das quais uma é exótica e uma representa os indivíduos mortos. Pode-se observar que as características ambientais medidas neste trabalho não influenciaram fortemente a ordenação das parcelas, entretanto, observou-se a formação de dois grandes grupos de parcelas, relacionadas principalmente com a distância do córrego Campininha (curso d'água). Esses resultados demonstram a importância de corpos d'água em pequenos fragmentos urbanos, pois estes aumentam a heterogeneidade ambiental dessas áreas. **Conclusão:** verificou-se que algumas espécies como as pioneiras *Cupania vernalis*, *Pera glabrata* e *Platypodium elegans*, e as não pioneiras *Casearia obliqua* e *Machaerium villosum*, podem ser utilizadas para o acompanhamento do avanço sucessional da Floresta Estacional Semidecidual do fragmento, e as espécies pioneiras *Caseraia sylvestris* e *Casearia decandra*, além das não pioneiras *Machaerium stipitatum*, *Campomanesia xanthocarpa* e *Lonchocarpus subglaucescens* para acompanhar o avanço sucessional da Floresta Estacional Semidecidual Aluvial. Também, a presença de cursos d'água pode influenciar na distribuição de algumas espécies em fragmentos florestais.

Palavras-chave: Fragmentos Urbanos, Heterogeneidade Ambiental, Fitossociologia.

■ INTRODUÇÃO

Considerada um dos oito hotspots de maior biodiversidade (MYERS *et al.*, 2000), atualmente a Mata Atlântica é um dos biomas mais ameaçados do mundo, pois já foi quase totalmente devastada pela intensa atividade agropastoril, industrial e urbana (CARDOSO, 2016; MARQUES e GRELE, 2021). As áreas protegidas, conhecidas nacionalmente como Unidades de Conservação (UCs) (BRASIL, 2000), objetivam a conservação da biodiversidade de todos os biomas do mundo, sendo poucas as UCs que protegem os ecossistemas da Mata Atlântica (METZGER e RODRIGUES, 2008). Considerando que muitos fragmentos estão inseridos em matrizes urbanas, a criação de UCs municipais que abrigam remanescentes de floresta nativa, tais como Parques Naturais Municipais, são uma alternativa para ampliar a conectividade entre fragmentos e a consequente conservação de ecossistemas em escala de paisagem (TROIAN *et al.*, 2011; PINTO *et al.*, 2017). O Parque Natural Municipal Corredores da Biodiversidade (PNMCBio), primeira UC criada em Sorocaba, no interior do estado de São Paulo, é um exemplo deste esforço.

As atividades humanas associadas à urbanização, com consequente fragmentação, resultam em alterações nos processos ecossistêmicos, influenciando fatores bióticos e abióticos locais e globais (ARAÚJO, *et al.*, 2019). A transformação da paisagem para cenários cada vez mais urbanizados passa por profundas modificações dos elementos bióticos e abióticos dos ecossistemas associados, tais como solo, clima, ar, água, flora e fauna (MCKINNEY, 2006; PERIOTTO e MARTENSEN, 2019). Embora fragilizados, os remanescentes florestais próximos às áreas urbanas exercem papel fundamental na manutenção do equilíbrio ambiental, principalmente no que tange à qualidade do ar, do solo, dos recursos hídricos e ao clima local (HÜLLER *et al.*, 2011).

A heterogeneidade ambiental (BELL e LECHOWICZ, 1994) é um dos principais fatores que influenciam a diversidade florística e a estrutura das florestas (VALE *et al.*, 2009; VALE *et al.*, 2017; VERAS *et al.*, 2018), sendo que seus efeitos são observados até mesmo no interior de fragmentos reduzidos (RODRIGUES *et al.*, 2007). Os diferentes fatores que interagem nas comunidades e as respostas das espécies a esses fatores faz com que cada local possua características próprias e outras comuns a outros locais, possibilitando observar tendências na biota (RODRIGUES *et al.*, 2007; CASTRO *et al.*, 2018).

Em busca da efetiva conservação das áreas protegidas, vários estudos foram realizados na Mata Atlântica visando auxiliar os Planos de Manejo das UCs, bem como o monitoramento dos ecossistemas e das espécies envolvidas (CARDOSO-LEITE *et al.*, 2013; COELHO *et al.*, 2016). Estudos relacionados com a avaliação de florestas urbanas apontam a importância da realização de pesquisas nessas áreas (MOREIRA, 2018), sendo fundamentais para a elaboração de projetos de restauração ecológica (WATZLAWICK *et al.*, 2005). Assim, o estudo

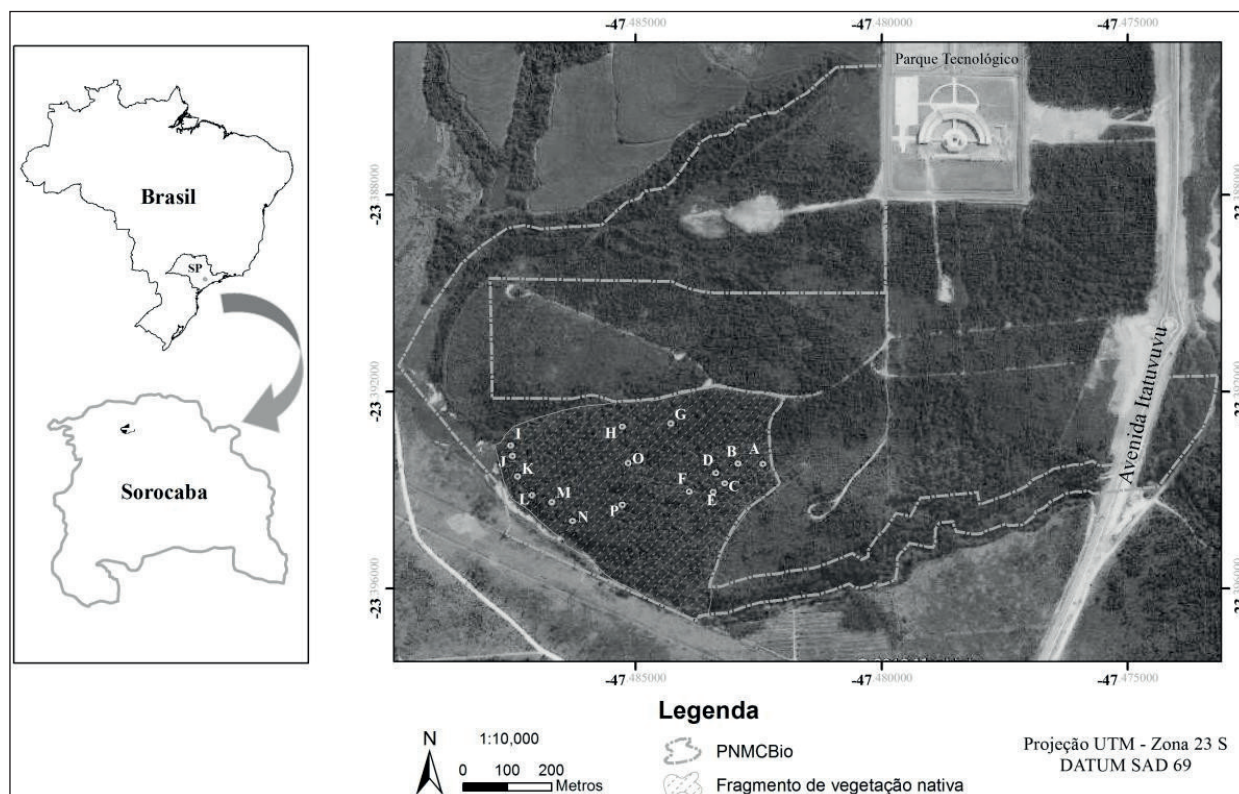
da associação de espécies e a influência de variáveis ambientais sobre a vegetação podem contribuir significativamente no entendimento das relações entre a vegetação e o ambiente, e servirem de subsídio para sua conservação e manutenção. Nesse sentido, objetivou-se: a) analisar a estrutura do remanescente de floresta nativa do PNMCBio; b) analisar as relações entre a estrutura da vegetação e as características ambientais coletadas nas unidades amostrais, partindo da hipótese de que a heterogeneidade ambiental está influenciando a distribuição da vegetação na área.

■ MÉTODO

Área do estudo

O fragmento de vegetação nativa estudado está incluído na área do Parque Natural Municipal Corredores da Biodiversidade (PNMCBio), localizado na zona norte do município de Sorocaba (23°23'38" S e 47°29'04" W) (Figura 1). A área total da UC é de 62,42 hectares (ha), sendo que 31 ha se refere à área do fragmento de vegetação nativa, composto por Floresta Estacional Semidecidual (FES) (19,90 ha) e Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (FESA) (11,10 ha). A FESA está situada a sudoeste do fragmento e configura-se como uma área de preservação permanente (APP), circundada pelo córrego Campininha, afluente do rio Sorocaba. Associada ao córrego está uma área alagadiça de 2,95 ha. Já a porção noroeste e leste possui maior altitude e é menos úmida, mais afastada do curso d'água e constituindo a FES. A altitude do fragmento varia de 560 a 620 metros, com relevo suavemente ondulado e ondulado e com formação pedológica de Latossolos Vermelhos, caracterizados por serem distróficos a moderados, com textura argilosa (IAC, 1999). O fragmento está em estágio médio de regeneração e é circundado por plantios homogêneos de *Eucalyptus* sp. (25,45 ha) e de *Pinus* sp. (1,10 ha), ambos abandonados.

Figura 1. Localização do Parque Natural Municipal Corredores da Biodiversidade (PNMCBio) no município de Sorocaba/ com detalhe na área de estudo (hachurado) e blocos de parcelas (letras A a P) alocados do fragmento de vegetação nativa.



Coleta e análise de dados

Para a análise fitossociológica foram alocadas 64 parcelas (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974) de 10mx10m, sendo agrupadas de quatro em quatro, formando 16 blocos (representadas pelas letras de A a P, sequencialmente para cada bloco). Estes foram alocadas por meio de coletas a esmo em diferentes porções do fragmento para representar toda a vegetação (Figura 1). Na porção que constitui a FESA foram alocadas as parcelas de número 33 a 56 (blocos I a N). Já na porção noroeste e leste, que constitui a FES, foram alocadas as parcelas de número 1 a 32 (blocos A a H) e as de número 57 a 64 (blocos O e P) (Figura 1). Foram amostrados todos os indivíduos arbóreos com 15 cm ou mais de circunferência a altura do peito (CAP), incluindo os mortos que se encontravam em pé, sendo tomadas as medidas do CAP e estimada a altura total.

O material coletado foi prensado e seco conforme as técnicas usuais e a identificação das espécies foi feita com base em literatura específica, por comparações com as coleções de herbários e, quando necessário, auxílio de especialistas. Os nomes das famílias estão apresentados segundo o APG IV (2016), sendo a grafia das espécies e nomes dos autores conferidos através da base de dados da Flora do Brasil 2020 (2021). Os parâmetros fitossociológicos (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974) foram calculados com o uso do software Fitopac 2.1 (SHEPHERD, 2009), sendo apresentadas a densidade, frequência e

dominância relativas, além do valor de cobertura e de importância. Utilizou-se a compilação de dados da Secretaria do Estado do Meio Ambiente (ESTADO DE SÃO PAULO, 2008) para a caracterização sucessional das espécies.

Foram medidas as seguintes características ambientais: (a) altitude, (b) declividade, (c) cobertura do dossel, (d) luminosidade, (e) serrapilheira, (f) gramíneas/ciperáceas, (g) trepadeiras e (h) distância do curso d'água. Cada uma das características ambientais foi coletada e organizada em diferentes classes. Para (a), as medidas foram tomadas diretamente com um altímetro, distribuídas em cinco classes, sendo 1 = 560 a 570 m, 2 = 571 a 580 m, 3 = 581 a 590 m, 4 = 591 a 600 m e 5 = 601 a 610 m. Para (b), considerou-se uma variação de 5 em 5°, separadas em sete classes, pois houve variação na inclinação do terreno de 5° a 35°. Para o cálculo da porcentagem de (c) utilizou-se um Canopy Densimeter, divididos em cinco classes, sendo 0 = 71 a 75%, 1 = 76 a 80%, 2 = 81 a 85%, 3 = 86 a 90%, e 4 = 91 a 95%. Para a medição de (d) utilizou-se um luxímetro, sendo tomadas cinco medidas e calculada a média para cada parcela; como houve variação de 198 a 3200 lux, dividiu-se os resultados em 16 classes; a classe 1 variou de 198 a 400 lux e as subsequentes incorporaram as variações de 200 em 200 lux; a classe 16 representou valores superiores a 3200 lux. Para (e) foram tomadas cinco medidas e calculada a média para cada parcela, sendo estas divididas em três classes, 1 = 3 a 5 cm, 2 = 5,1 a 7 cm e 3 = 7,1 a 9 cm. Para mensurar (f) e (g) considerou-se a ocupação das espécies dentro das amostras, separando pelas classes 0 = ausente, 1 = presente/pouco (0 a 25%), 2 = presente/médio (26 a 50%), 3 = presente/abundante (superior a 50%). Para (h), as medidas foram tomadas com o programa ArcGis 10.1 (ESRI, 2011); a distância do córrego variou de 37 a 370,7 m, sendo elaboradas 19 classes com intervalos de 20 em 20 metros.

A partir de uma matriz de unidades amostrais e número de indivíduos, com filtro para as espécies com 10 indivíduos ou mais, foi aplicada uma análise de componentes principais (PCA). Com esta mesma matriz, acrescida com dados ambientais das parcelas, realizou-se uma análise de correspondência (CA), ambas com o programa Fitopac 2.1 (SHEPHERD, 2009), de modo a verificar possíveis relações entre as características coletadas e o estabelecimento das espécies na área.

Já com os resultados obtidos na CA, observou-se que a maioria das espécies apontadas nos quadrantes positivos para o eixo 1 da CA (ocorrentes principalmente na FESA) são não pioneiras. Assim, a partir dos dois grandes grupos evidenciados na CA, as espécies foram divididas segundo a classificação sucessional, além de conferida a densidade relativa de cada uma delas. As densidades relativas de todas as espécies não pioneiras ocorrentes nos quadrantes negativos foram somadas, assim como as das espécies pioneiras; o mesmo procedimento foi feito para as espécies apontadas nos quadrantes positivos da CA. Esta

análise foi feita para verificar a relação entre os indivíduos de espécies pioneiras e de não pioneiras em cada porção do fragmento.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados

Foram amostrados 1088 indivíduos, dos quais 116 encontravam-se mortos. O índice de diversidade foi considerado relativamente alto ($H' = 3,421$) e próximo a outras áreas da região de Sorocaba; poucas áreas no estado de São Paulo apresentam H' com valor superior a 4 para formações de Floresta Estacional Semidecidual. Foram identificadas 79 espécies, das quais uma é exótica e uma representa os indivíduos mortos. As espécies estão apresentadas em ordem decrescente de VI (Tabela 1).

Tabela 1. Relação das espécies arbóreas amostradas no Parque Natural Municipal Corredores da Biodiversidade (PNMCBio) e parâmetros fitossociológicos. Abr.: Abreviação; RelD: Densidade Relativa; RelF: Frequência Relativa; RelDo: Dominância Relativa; VC: Valor de Cobertura; VI: Valor de Importância.

Família	Espécies	Abr.	RelD	RelF	RelDo	VC	VI
Morta	morta	mor	10.66	9.5	6.86	17.52	27.02
Fabaceae	<i>Dahlstedtia floribunda</i> (Vogel) M.J. Silva & A.M.G. Azevedo	L sub	7.54	3.94	12.85	20.39	24.33
Sapindaceae	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	C ver	10.57	6.09	6.35	16.92	23.02
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	C syl	8.55	8.6	5.39	13.93	22.54
Fabaceae	<i>Machaerium stipitatum</i> Vogel	M sti	7.54	3.94	5.38	12.92	16.86
Fabaceae	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	P ele	4.69	3.05	5.24	9.93	12.98
Peraceae	<i>Pera glabrata</i> (Schott) Baill.	P gla	2.39	2.69	6.73	9.12	11.81
Salicaceae	<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	C obl	3.03	3.05	4.81	7.84	10.89
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg	C xan	4.04	2.87	3.6	7.64	10.51
Fabaceae	<i>Machaerium villosum</i> Vogel	M vil	2.76	3.76	3.66	6.42	10.18
Salicaceae	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	C dec	3.68	3.41	3.09	6.76	10.17
Fabaceae	<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel	M bra	2,2	3,41	1,81	4,01	7,41
Sapindaceae	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	M ela	2.57	2.51	2.22	4.8	7.31
Lauraceae	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	N lan	1.29	1.25	4.47	5.76	7.01
Fabaceae	<i>Bauhinia longifolia</i> (Bong.) Steud.	B lon	1.93	2.33	1.69	3.62	5.95
Fabaceae	<i>Leucochloron incuriale</i> (Vell.) Barneby & J.W.Grimes	L inc	2.3	2.15	1.14	3.44	5.59
Myrtaceae	<i>Myrcia</i> sp. 2	M sp2	1.65	2.51	0.85	2.51	5.02
Meliaceae	<i>Trichilia pallida</i> Sw.	T pal	1.56	2.51	0.6	2.16	4.67
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	C tri	1.01	1.25	1.91	2.92	4.18
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Z rho	0.83	1.25	1.94	2.77	4.02
Ebenaceae	<i>Diospyros inconstans</i> Jacq.	D inc	1.01	1.79	1.04	2.05	3.84
Rutaceae	<i>Esenbeckia febrifuga</i> (A.St.-Hil.) A. Juss. ex Mart.	E feb	1.56	1.08	0.61	2.17	3.25
Cannabaceae	<i>Celtis fluminensis</i> Carauta	C flu	0.92	1.43	0.86	1.77	3.21
Celastraceae	<i>Monteverdia gonoclada</i> (Mart.) Biral	M gon	0.74	1.25	0.9	1.64	2.89
Fabaceae	<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) A.M.G.Azevedo & H.C.Lima	L cul	0.46	0.9	1.49	1.95	2.84
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	C lan	0.64	1.25	0.75	1.39	2.65

Família	Espécies	Abr.	RelD	RelF	RelDo	VC	VI
Fabaceae	<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Benth.	M nyc	0.64	0.9	1.08	1.72	2.62
Fabaceae	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	P gon	0.92	1.25	0.39	1.31	2.57
Myrtaceae	<i>Campomanesia guazumifolia</i> (Cambess.) O.Berg	C gua	0.83	1.08	0.41	1.24	2.31
Bignoniaceae	<i>Handroanthus umbellatus</i> (Sond.) Mattos	H umb	1.19	0.72	0.34	1.54	2.25
Arecaceae	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	S rom	0.46	0.9	0.83	1.29	2.18
Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i> Mart.	L div	0.64	1.08	0.33	0.97	2.05
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	C flo	0.37	0.72	0.89	1.25	1.97
Nyctaginaceae	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	G opp	0.46	0.9	0.43	0.89	1.79
Arecaceae	Arecaceae sp.	Ar sp	0.37	0.72	0.54	0.91	1.62
Anacardiaceae	<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	L mol	0.28	0.54	0.73	1.01	1.54
Rutaceae	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Z fag	0.18	0.36	0.97	1.15	1.51
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	A edu	0.46	0.9	0.14	0.6	1.49
Cardiopteridaceae	<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) R.A.Howard	C pan	0.64	0.72	0.11	0.76	1.47
Asteraceae	<i>Moquiniastrium polymorphum</i> (Less.) G. Sancho	G pol	0.28	0.54	0.63	0.91	1.44
Meliaceae	<i>Trichilia elegans</i> A.Juss.	T ele	0.46	0.72	0.09	0.55	1.26
Fabaceae	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stelfeld	M hir	0.28	0.36	0.55	0.82	1.18
Malvaceae	<i>Luehea grandiflora</i> Mart.	L gra	0.37	0.72	0.09	0.46	1.18
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea hirsuta</i> (Schott) Planch. ex Benth.	S hir	0.18	0.36	0.54	0.72	1.08
Fabaceae	cf. <i>Albizia</i> sp.	cf Alb	0.28	0.54	0.13	0.4	0.94
Lauraceae	<i>Ocotea velloziana</i> (Meisn.) Mez	O vel	0.18	0.36	0.36	0.55	0.91
Myrtaceae	<i>Myrcia hebeptala</i> DC.	M heb	0.28	0.54	0.1	0.37	0.91
Myrtaceae	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	M spl	0.28	0.54	0.05	0.32	0.86
Lecythidaceae	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	C est	0.09	0.18	0.54	0.63	0.81
Myrtaceae	<i>Eugenia paracatuana</i> O.Berg	E par	0.18	0.18	0.35	0.53	0.71
Myrtaceae	<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	M mul	0.28	0.36	0.05	0.33	0.69
Burseraceae	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	P hep	0.18	0.36	0.13	0.31	0.67
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	C can	0.09	0.18	0.38	0.47	0.65
Lauraceae	<i>Cryptocarya moschata</i> Nees & Mart.	C mos	0.09	0.18	0.35	0.44	0.62
Fabaceae	<i>Dalbergia frutescens</i> (Vell.) Britton	D fru	0.09	0.18	0.33	0.42	0.6
Myrtaceae	<i>Campomanesia</i> sp.	C sp	0.18	0.36	0.06	0.24	0.6
Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	M cor	0.09	0.18	0.33	0.42	0.6
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	G ulm	0.09	0.18	0.32	0.41	0.59
Salicaceae	<i>Xylosma pseudosalzmannii</i> Sleumer	X pse	0.18	0.36	0.05	0.23	0.59
Fabaceae	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	P rig	0.28	0.18	0.13	0.41	0.58
Myrtaceae	<i>Myrcia</i> sp. 1	M sp2	0.18	0.36	0.04	0.22	0.58
Rubiaceae	<i>Cordia concolor</i> (Cham.) Kuntze	C com	0.18	0.36	0.04	0.22	0.58
Monimiaceae	<i>Mollinedia widgrenii</i> A.DC.	M wid	0.18	0.36	0.03	0.21	0.57
Fabaceae	<i>Inga</i> sp.	In sp	0.09	0.18	0.24	0.33	0.51
Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	T gui	0.09	0.18	0.22	0.32	0.5
Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	M tin	0.09	0.18	0.11	0.2	0.38
Lauraceae	cf. <i>Ocotea</i> sp.	cf Oco	0.09	0.18	0.06	0.15	0.33
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania</i> sp.	S sp	0.09	0.18	0.05	0.14	0.32
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	S bra	0.09	0.18	0.04	0.13	0.31
Rutaceae	<i>Citrus x aurantium</i> L.	C aur	0.09	0.18	0.04	0.13	0.31
Euphorbiaceae	<i>Gymnanthes klotzschiana</i> Müll.Arg.	S com	0.09	0.18	0.03	0.12	0.3
Myrtaceae	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	M tom	0.09	0.18	0.03	0.12	0.3
Fabaceae	<i>Machaerium</i> sp.	M sp	0.09	0.18	0.02	0.11	0.29
Myrtaceae	<i>Myrciaria floribunda</i> (H.West ex Willd.) O.Berg	M flo	0.09	0.18	0.02	0.11	0.29
Myrtaceae	<i>Eugenia florida</i> DC.	E flo	0.09	0.18	0.02	0.11	0.29

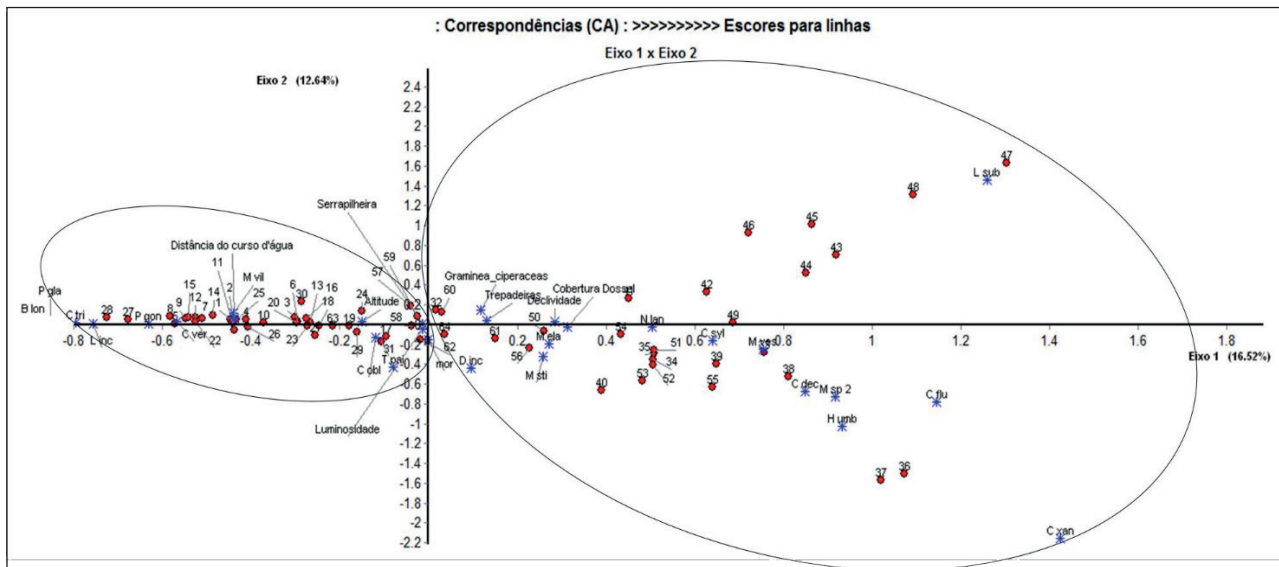
Família	Espécies	Abr.	RelD	RelF	RelDo	VC	VI
Sapindaceae	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.	D sor	0.09	0.18	0.02	0.11	0.29
Araliaceae	<i>Dendropanax cuneatus</i> (DC.) Decne. & Planch.	D cun	0.09	0.18	0.01	0.11	0.28
Melastomataceae	<i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) DC.	M min	0.09	0.18	0.01	0.11	0.28
Myrtaceae	<i>Myrcia</i> sp. 3	M sp3	0.09	0.18	0.01	0.1	0.28

As 10 espécies de maior VI foram, respectivamente, *Dahlstedtia floribunda* (24,33%), *Cupania vernalis* (23,02%), *Casearia sylvestris* (22,54%), *Machaerium stipitatum* (16,86%), *Platypodium elegans* (12,98%), *Pera glabrata* (11,81%), *Casearia obliqua* (10,89%), *Campomanesia xanthocarpa* (10,51%), *Machaerium villosum* (10,18%) e *Casearia decandra* (10,17%), contribuindo com 51,1% do mesmo. Para o VC, a posição das 10 primeiras espécies não variou muito, a não ser para *Casearia decandra* que, por apresentar maior densidade que *Machaerium villosum*, ocupou sua posição. Os indivíduos mortos obtiveram o maior VI, correspondendo a 10,75% (116) dos indivíduos.

Dentre as 10 espécies com maior VI, *Casearia sylvestris* e *Cupania vernalis* foram as que apresentaram as maiores densidades, contribuindo com 19,11% dos indivíduos e sendo as únicas espécies que ocorreram em mais da metade das parcelas alocadas, possuindo também os maiores valores de frequência. Observou-se que *Dahlstedtia floribunda*, *Pera glabrata* e *Platypodium elegans* possuíram considerável dominância relativa não estando relacionadas diretamente com seus valores de frequência (Tabela 1).

Em relação à PCA (Figura 2), os dois primeiros eixos explicaram respectivamente 14,36% e 10,15% da variação total, sendo os eixos que mais explicaram a correlação. No quadrante positivo para ambos os eixos se agruparam as parcelas 1, 3, 4, 13, 18, 20, 25, 26, 27, 28, 29 e 30, com as espécies *Diospyrus inconstans*, *Piptadenia gonoacantha*, *Machaerium villosum*, *Trichillia pallida*, *Leucochloron incuriale*, *Matayba elaeagnoides*, *Cordia trichotoma*, *Pera glabrata* e os indivíduos mortos. No quadrante positivo para o eixo 1 e negativo para o eixo 2 agruparam-se as parcelas 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 21, 22, 23, 24 e 63, com a presença de quatro espécies, *Bauhinia longifolia*, *Casearia obliqua*, *Cupania vernalis* e *Platypodium elegans*. No quadrante negativo para os dois eixos foram agrupadas as parcelas 38, 43, 45, 46, 47, 48, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 64, com as espécies *Nectandra lanceolata*, *Esenbeckia febrifuga*, *Machaerium stipitatum*, *Handroanthus umbellatus* e *Dahlstedtia floribunda*. Já no quadrante negativo para o eixo 1 e positivo para eixo 2 agruparam-se as parcelas 17, 19, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 44, 49, 50, 52 e 61, com as espécies *Casearia decandra*, *Casearia sylvestris*, *Celtis fluminensis*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Machaerium vestitum* e *Myrcia* sp2. Observou-se que nos quadrantes positivos para o eixo 1 agruparam-se as parcelas alocadas principalmente na porção de maior altitude, mais distantes do córrego Campininha e, conseqüentemente, mais secas. Já nos quadrantes negativos para este mesmo eixo, agruparam-se as parcelas mais

Figura 3. Análise de Correspondência utilizando a matriz de unidades amostrais e número de indivíduos por espécies (espécies com 10 ou mais indivíduos) e características ambientais. Parque Natural Municipal Corredores da Biodiversidade, Sorocaba. Ver **Tabela 1** para as abreviações.



A formação de dois grandes grupos de parcelas foi evidenciada tanto na PCA quanto na CA. Tais observações indicam que a ocorrência de algumas espécies está mais influenciada pela distância do curso d'água, em decorrência da umidade e outras características associadas à condição de mata ciliar. As espécies presentes nos quadrantes positivos para o eixo 1 na PCA, à exceção de *Diospyrus inconstans* e *Matayba elaeagnoides*, também se correlacionaram na CA, porém nos quadrantes negativos para este eixo. De modo similar, a maioria das parcelas alocadas na FES agregaram-se nos quadrantes positivos para o eixo 1 da PCA (Figura 2), enquanto na CA, essas parcelas apareceram dispostas nos quadrantes negativos para este eixo (Figura 3).

DISCUSSÃO

É comum a ocorrência de muitas espécies com baixas densidades em florestas tropicais, sendo esperado que até 10 espécies contribuam com 50% ou mais do VI (HARTSHORN, 1980). No PNMCBio, as 10 primeiras espécies contribuíram com 51,1%, estando entre elas *Dahlstedtia floribunda*, *Machaerium stipitatum*, *Casearia obliqua*, *Campomanesia xanthocarpa* e *Machaerium villosum*, espécies não pioneiras. O fato de estas espécies serem de estágios mais avançados, aliado ao decréscimo gradual do VI observado entre as 10 espécies mais importantes e entre as demais amostradas (Tabela 1), corroboram com os resultados de Coelho *et al.* (2016) quanto à identificação do fragmento em estágio médio de sucessão. Algumas características das espécies com maior valor de importância podem auxiliar na descrição fisionômica da floresta (CENCI *et al.*, 2013).

As características das espécies dominantes são diferentes quanto à dimensão do diâmetro e altura, podendo ocupar diferentes estratos da floresta, desde espécies com tronco fino e abundantes no sub-bosque, até espécies de grande porte que compõem o dossel (VALE *et al.*, 2009). No presente estudo observou-se que a grande dominância relativa das espécies *Dahlstedtia floribunda*, *Pera glabrata* e *Platypodium elegans* está mais relacionada ao seu grande porte do que com sua frequência, ao passo que *Cupania vernalis* e *Casearia sylvestris* tiveram elevada frequência, porém com indivíduos de menor porte e com troncos mais finos.

Em relação aos indivíduos mortos, outros estudos encontraram valores próximos (STRUFFALDI-DE-VUONO, 1985; TABANEZ *et al.*, 1997), porém esses valores são superiores aos esperados para as florestas brasileiras (SILVA e SOARES, 2002). A morte de árvores pode estar relacionada ao isolamento da área, onde as alterações microclimáticas contribuem para o aumento da mortalidade não só no momento imediato ao seu isolamento, mas persiste também por muito mais tempo (TABANEZ *et al.*, 1997). Apesar de elevada proporção encontrada no fragmento, indivíduos mortos que permanecem em pé possuem valor ecológico para a fauna silvestre, podendo fornecer abrigo, local de nidificação e uma fonte indireta de alimentos (LOPES, 1998; BENDITO *et al.*, 2018). Em contrapartida, se a mortalidade segue aumentando com o tempo, é um indicativo de que o fragmento está morrendo, devendo esta dinâmica ser observada ao passar dos anos.

Casearia decandra, *Campomanesia xanthocarpa*, *Handroanthus umbellatus* e *Esenbeckia febrifuga* apresentaram quase a totalidade dos seus indivíduos nas parcelas alocadas na porção de menor altitude e próximas ao córrego Campininha, sendo consideradas seletivas higrófitas (LORENZI, 2009, 2010). O mesmo aconteceu com *Casearia sylvestris* e *Machaerium stipitatum*, consideradas espécies de elevada densidade e distribuição ampla, geralmente encontradas em grandes populações em formações ciliares (DURIGAN *et al.*, 2000). *Dahlstedtia floribunda*, primeira em VI, apresentou quase a totalidade dos seus indivíduos nas parcelas alocadas ao longo do córrego Campininha. A ocorrência desta espécie de maneira agregada, associada à sua frequência relativa, indica que sua ocorrência pode estar fortemente influenciada pela umidade ou características do solo em decorrência de sua proximidade ao córrego.

Platypodium elegans, *Pera glabrata*, *Bauhinia longifolia* e *Machaerium villosum* apresentaram todos os indivíduos nas parcelas alocadas na porção de maior altitude, sendo as primeiras espécies consideradas pioneiras e heliófitas (LORENZI, 2009, 2010) e *Machaerium villosum* não pioneira. O estudo feito por Rodrigues *et al.* (2007) em uma FES também apontou a maior abundância de *Machaerium villosum* nas parcelas alocadas mais afastadas do curso d'água, em maior altitude e presentes em solos menos férteis. Apesar de considerada

não pioneira, esta espécie aparenta suportar condições mais severas em relação à disponibilidade de água e condições do solo, já que não foi amostrada nas parcelas mais próximas ao córrego Campininha.

Observou-se também que a porção de FESA apresenta um estrato com maior altura, onde as árvores da porção mais afastada do Campininha possuem menor altura e maior número de indivíduos pioneiros. Assim, mesmo tratando-se de um fragmento em estágio médio, o mesmo apresenta diferenças florísticas e estruturais, influenciadas pelo curso d'água, onde a FESA apresenta-se em um estágio pouco mais maduro quando comparado à FES. Associado a estes resultados está a cobertura do dossel, que também apresentou considerável correlação na CA com as parcelas mais próximas ao córrego, apresentando maior cobertura do que as parcelas alocadas na porção de FES.

As características encontradas na área e os dados analisados indicam que a ocorrência de espécies está sujeita a determinadas condições ambientais. Piroli e Nascimento (2008) também observaram uma distribuição não homogênea de algumas espécies, citando diferentes graus de hidromorfia como um fator que pode influenciar na distribuição espacial de espécies, o que também foi evidenciado neste estudo. Além de considerar as condições ecotonais de florestas ciliares (RODRIGUES e NAVE, 2000), as faixas deste tipo de vegetação possuem grande heterogeneidade ambiental devido a fatores bióticos e abióticos que resultam em uma formação com características florísticas e estruturais distintas (ROCHA *et al.*, 2005; RODRIGUES *et al.*, 2007; VERAS *et al.*, 2018). Esse fato gera diferenças conspícuas em áreas amostradas próximas aos cursos d'águas daquelas mais distantes (METZGER *et al.*, 1997; VALE *et al.*, 2017).

As características do ambiente influenciam nos processos ecológicos, como na produtividade vegetal, na distribuição das espécies e nas respostas destas às distintas condições ambientais (LARCHER, 2000; JUSTO, 2005; CASTRO *et al.*, 2018; ARAÚJO, *et al.*, 2019). Assim, as diferenças encontradas associadas a distância com o curso d'água podem manter diferentes microhabitats e contribuir para a manutenção da biodiversidade desse fragmento de Mata Atlântica (VERAS *et al.*, 2018).

■ CONCLUSÃO

Apesar de não detectadas correlações significativas entre a maioria das variáveis ambientais analisadas e a ocorrência de espécies, observou-se que o fragmento estudado apresenta diferenças florísticas e estruturais influenciadas principalmente pela distância do curso d'água. Assim, a hipótese foi parcialmente confirmada, pois ficou evidente que a condição de mata ciliar influencia a ocorrência de espécies mesmo em pequenos fragmentos, os quais podem apresentar uma heterogeneidade ambiental e contribuir para uma maior

riqueza do que fragmentos que não possuem faixas influenciadas por cursos d'água. São poucos os estudos desenvolvidos até o momento que fortalecem esta ideia e observaram tal tendência e, mesmo assim, a presença de um curso d'água é um bom indicador para a seleção de fragmentos para a conservação em áreas urbanas.

Os parâmetros fitossociológicos indicaram que não há uma dominância excessiva entre as espécies, havendo um decréscimo gradual do VI; no entanto, algumas delas são mais representativas na estrutura florestal. Das espécies que apresentaram os maiores valores de importância, as pioneiras *Cupania vernalis*, *Pera glabrata* e *Platypodium elegans*, e as não pioneiras *Cupania obliqua* e *Machaerium villosum* podem ser utilizadas para acompanhar o avanço sucessional da FES do fragmento. Da mesma forma, para a porção de FESA, indica-se as espécies pioneiras *Casearia sylvestris* e *Casearia decandra*, além das não pioneiras *Machaerium stipitatum*, *Campomanesia xanthocarpa* e *Dahlstedtia floribunda* para acompanhar o avanço da FESA. Como essas espécies foram as que apresentaram maior número de indivíduos na amostra, acompanhar a população destas espécies pode auxiliar na caracterização sucessional do fragmento. Se o número de indivíduos de espécies não pioneiras aumenta com o passar do tempo, o fragmento está avançando sucessionalmente.

■ AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTO

À Toyota do Brasil Ltda. pelo auxílio financeiro, à especialista Fiorella Fernanda Mazine Capelo (Myrtaceae – UFSCar-Sorocaba) e ao generalista Marcelo A. Pinho Ferreira (ESALQ/USP) pela ajuda na identificação do material botânico.

■ REFERÊNCIAS

1. APG IV. The Catalogue of Life Partnership. APG IV: Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. 2016. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/fzuaam>
2. ARAÚJO, V. C. R. *et al.* Impactos Ambientais de Pesticidas sobre o Solo. In: Zabotto, A. R. **Estudos Sobre Impactos Ambientais: Uma Abordagem Contemporânea**. Botucatu: FEPAF, 2019. pp. 128-143.
3. BELL, G.; LECHOWICZ, M.J. Spatial heterogeneity at small scales and how plants respond to it. In: Caldwell, M.M.; Pearcy, R.W. **Exploitation of environmental heterogeneity by plants**. San Diego: Academic Press, 1994, p. 391-414.
4. BENDITO, B.P.C. *et al.* Espécies do cerrado com potencial para recuperação de áreas degradadas, Gurupi (TO). **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.10, n.2, 2018.

5. BRASIL. **Lei 9985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225,§ 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Publicado no D.O.U. em 19/07/2000.
6. CARDOSO, J.T. A Mata Atlântica e sua conservação. Florianópolis: **Encontros Teológicos**. v.31, n.3, 2016.
7. CARDOSO-LEITE, E. *et al.* Analysis of floristic composition and structure as an aid to monitoring protected areas of dense rain forest in southeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v.27, n.1, p.180-194, 2013.
8. CASTRO, D.M.P.; DOLÉDEC, S.; CALLISTO, M. Land cover disturbance homogenizes aquatic insect functional structure in neotropical savanna streams. *Ecological Indicators*. V.84, p. 573-582, 2018.
9. CENCI, B.T. *et al.* Composição da flora arbórea e arborescente no jardim botânico de Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v.37, n.1, p. 137-149, 2013
10. COELHO, S. *et al.* Composição florística e caracterização sucessional como subsídio para conservação e manejo do PNMCBio, Sorocaba/SP. **Ciência Florestal**, v.26, n.1, 2016.
11. DURIGAN, G. *et al.* Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica dos Caetetus, Galia, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v.23, n.4, p.371- 383, 2000.
12. ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
13. ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Resolução SMA nº 08 de 31 de janeiro de 2008. Fixa a orientação para o reflorestamento heterogêneo de áreas degradadas e dá providências correlatas, 2008.
14. Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 23 nov. 2021
15. HARTSHORN, G.S. Neotropical Forest Dynamics. **Biotropica**, v. 12, n. 2, p. 23-30, 1980.
16. HÜLLER, A. *et al.* Estrutura fitossociológica da vegetação arbórea do parque natural municipal de Santo Ângelo, Santo Ângelo, RS. **Ciência Florestal**, v.21, n.4, p.629-639, 2011.
17. IAC - INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo** (relatório e mapa). 1: 500.000. Campinas: IAC, 1999.
18. JUSTO, C.F. *et al.* Leaf anatomical plasticity of *Xylopia brasiliensis* Sprengle (Annonaceae). **Acta Botanica Brasilica**, n. 19, p. 111-123, 2005.
19. LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima. 2000. 531p.
20. LOPES, W.P. Florística e fitossociologia de um trecho de vegetação arbórea no Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais. (**Dissertação de mestrado**). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV. 1998.
21. LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 2009. 384p.

22. LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 2010. 384p.
23. MARQUES, M. C. M.; GRELE, C. E. V. (eds) *The Atlantic Forest: History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest*. Basingstoke: Springer. 2021. 345p.
24. METZGER, J. P.; BERNACCI, L. C.; GOLDENBERG, R. Pattern of tree species diversity in riparian forest fragments of different widths (SE Brazil). **Plant Ecology**, v. 133, p. 135-152, 1997.
25. METZGER, J.P.; RODRIGUES, R.R. Mapas-síntese das diretrizes para conservação e restauração da biodiversidade no Estado de São Paulo. In: Secretaria do Meio Ambiente. **Diretrizes para conservação e restauração da biodiversidade no Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2008. p. 132-139.
26. MCKINNEY, M.L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. **Biological Conservation**, v. 127, p. 247-260, 2006.
27. MOREIRA, G.F. **Associação entre Floresta urbana e indicadores da saúde humana**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 69f., 2018.
28. MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: Wiley & Sons. 1974. 574p.
29. MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, p.853–858, 2000.
30. PERIOTTO, F., MARTENSEN, A.C. Restauo de Áreas Degradadas: Impactos Geradores e Processos de Restauração Ecológica In: Zabotto, A. R. **Estudos Sobre Impactos Ambientais: Uma Abordagem Contemporânea**. FEPAF. Botucatu, Brasil. 2019. pp. 153-162.
31. PINTO, L.P. *et al.* Unidades de Conservação Municipais da Mata Atlântica. **Relatório Técnico - SOS Mata Atlântica**. 2017.
32. PIROLI, E.L.; NASCIMENTO, A.R.T. Análise florística e estrutura fitossociológica de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no município de Sertão – RS. **Ambiência**, v. 4 n. 1. p. 91-103, 2008.
33. ROCHA, C.T.V. *et al.* Comunidade arbórea de um continuum entre floresta paludosa e de encosta em Coqueiral, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.28, n.2, p.203-218, 2005.
34. RODRIGUES, R.R.; NAVE, A.G. Heterogeneidade florística das matas ciliares. In: (RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. p.45-71,
35. RODRIGUES, L.A. *et al.* Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, em Luminárias, MG. **Revista Árvore**, v.31, n.1, p.25-35, 2007.
36. SILVA, L.A.; SOARES, J.J. Levantamento fitossociológico em um fragmento de floresta estacional semidecídua, no município de São Carlos, SP. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 2, p. 205-216, 2002.
37. SHEPHERD, G.J. FITOPAC 2.1. Universidade Estadual de Campinas. Depto de Botânica, 2009.

38. STRUFFALDI-DE-VUONO, Y. **Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta da Reserva do Instituto de Botânica (São Paulo, SP)**. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo. 1985. 213p.
39. TABANEZ, A.J.; VIANA, V.M.; DIAS, A. Conseqüências da fragmentação e do efeito de borda sobre a estrutura, diversidade e sustentabilidade de um fragmento de floresta de planalto de Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v.57, n.1, p.47-60, 1997.
40. TROIAN, L.C. *et al.* Florística e padrões estruturais de um fragmento florestal urbano, região metropolitana de Porto Alegre, RS, Brasil. **Iheringia**, v.66, n.1, p.5-16, 2011.
41. VALE, V.S. *et al.* Composição florística e estrutura do componente arbóreo em um remanescente primário de floresta estacional semidecidual em Araguari, Minas Gerais, Brasil. **Hoehnea**, v. 36, n. 3, p. 417-429, 2009.
42. VALE, V.S. *et al.* Estrutura da comunidade arbórea e características edáficas de um fragmento urbano. **Ciência Florestal**, vol. 27, núm. 4, pp. 1415-1428, 2017.
43. VERAS, D.S.; MEDEIROS-FRANÇA, L.C.; SILVA AZÊVEDO, C.A. Environmental spatial-temporal heterogeneity of streams in a Cerrado-Caatinga ecotone. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 3, p. 84-88, 2018.
44. WATZLAWICK, L.F. *et al.* Caracterização da composição e estrutura de uma floresta ombrófila mista, no município General Carneiro (PR). **Ambiência**, v.1, n.2, p.229-237, 2005.

SOBRE O ORGANIZADOR

Wescley Viana Evangelista

Possui Graduação em Engenharia Florestal (2004), Mestrado em Ciência Florestal (2007) e Doutorado em Ciência Florestal (2011) pela Universidade Federal de Viçosa, campus de Viçosa, Minas Gerais. Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em tecnologia e utilização de produtos florestais, anatomia, qualidade e tratamento preservativo de madeiras. Atualmente é Professor Adjunto 2 da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus de Alta Floresta-MT, em regime de trabalho com 40 horas com dedicação exclusiva.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8004598020865102>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Absorção: 197, 204

Amazônia: 30, 50, 51, 52, 53, 54, 63, 64, 65, 66, 80, 117, 118, 121, 128, 154, 155, 156, 157, 165, 167, 168, 169, 170, 182, 232, 244, 245, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 256, 257, 258, 260, 261, 262, 263

Anatomia da Madeira: 25, 26, 27, 47, 64, 78

Aproveitamento: 155, 165

Aroeira: 145

B

Branco: 98, 244

Brasil: 16, 27, 29, 35, 36, 65, 68, 69, 70, 73, 75, 78, 79, 97, 99, 102, 104, 114, 133, 142, 146, 156, 157, 165, 181, 185, 232, 245, 262, 268, 277, 278, 279, 280

C

Cagaita: 145

Caracterização Física e Química: 101, 102

Celulose e Papel: 68

Compressão Axial: 203

Correlação: 123, 126, 141, 149, 151, 194, 205, 206, 253, 257

Crescimento: 18, 27, 236, 244, 245

D

Densidade: 25, 29, 73, 105, 110, 124, 137, 141, 142, 143, 147, 149, 197, 203, 206, 270

Densidade Aparente: 105, 110, 124, 141, 203, 206

Densidade Básica: 25, 29, 73, 105, 110, 137, 141, 147, 149

Desdobro da Madeira: 168

E

Espécies Nativas: 142

Eucalyptus Urograndis: 28, 73, 78

F

Fitossociologia: 280

G

Geoestatística: 211, 228

I

Índices de Resistência do Papel: 51, 64, 79

Inventário Florestal: 228

Ipê: 145, 239, 246, 251

J

Jatobá: 155, 162, 165

M

Madeira: 27, 28, 29, 33, 48, 54, 62, 63, 64, 65, 66, 78, 99, 104, 110, 111, 112, 121, 128, 129, 143, 156, 161, 179

Manejo de Impacto Reduzido: 248

Materiais Lignocelulósicos: 184

Mezilaurus Itauba: 102, 104, 163, 165, 182

Morfologia Vegetal: 51

Muiracatiara: 155, 162, 165, 251

Muirapiranga: 155, 162, 165

N

Nativa: 115, 130, 143, 182, 233

P

Painéis Cimentícios: 184

Pinus Taeda: 20, 21, 27, 31, 49, 63, 66, 79, 102, 104, 114, 115, 116

Polímeros: 153, 197, 208

Propriedades da Madeira: 99

Propriedades Físicas: 99, 136, 143, 145, 184

Propriedades Mecânicas: 145

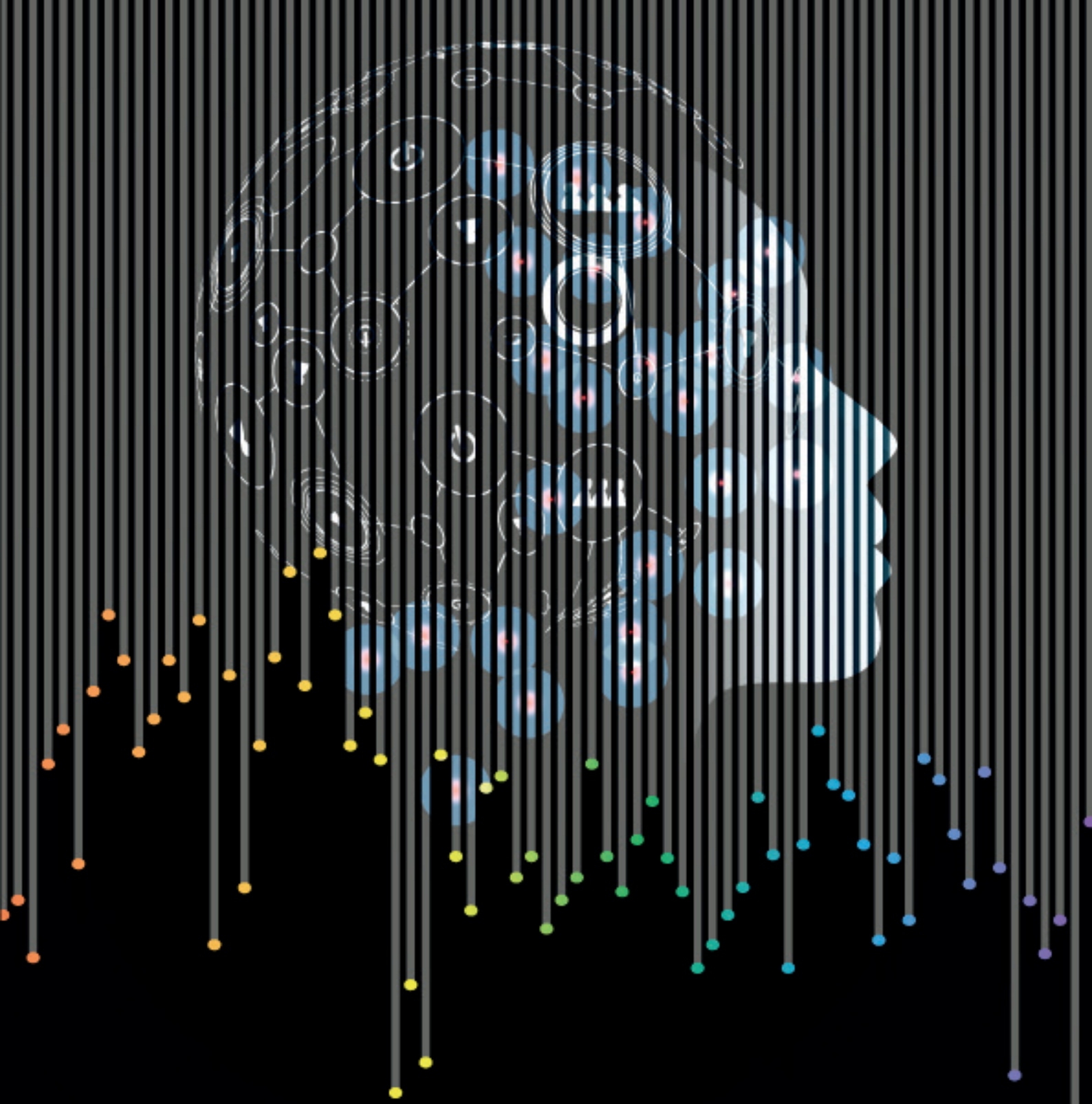
R

Rendimento de Madeira Serrada: 168

Resíduos: 41, 42, 43, 44, 168, 182, 262

Resíduos Madeireiros: 168

Resistência: 26, 95, 132, 143, 199



www.editoracientifica.org

contato@editoracientifica.org



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS



editora
científica digital