



Conceitos e Conhecimentos de Métodos e Técnicas de Pesquisa Científica em Engenharia Florestal

**Cristina Aledi Felsemburgh
(Organizadora)**

Atena
Editora
Ano 2021



Conceitos e Conhecimentos de Métodos e Técnicas de Pesquisa Científica em Engenharia Florestal

**Cristina Aledi Felsemburgh
(Organizadora)**

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Secconal Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Conceitos e conhecimentos de métodos e técnicas de pesquisa científica em
engenharia florestal

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Cristina Aledi Felsemburgh

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C744 Conceitos e conhecimentos de métodos e técnicas de pesquisa científica em engenharia florestal / Organizadora Cristina Aledi Felsemburgh. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-727-7
DOI 10.22533/at.ed.277211301

1. Engenharia Florestal. 2. Conceitos. 3. Conhecimentos. 4. Pesquisa. I. Felsemburgh, Cristina Aledi (Organizadora). II. Título.

CDD 634.928

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

É com enorme contentamento que apresentamos o e-book “Conceitos e Conhecimentos de Métodos e Técnicas de Pesquisa Científica em Engenharia Florestal” que foi elaborado para a divulgação de resultados e avanços relacionados às Ciências Florestais. O e-book está disposto em 1 volume subdividido em 17 capítulos. Os capítulos estão organizados de acordo com a abordagem por assuntos relacionados nas diversas áreas da Engenharia Florestal. Em uma primeira parte, os capítulos estão de forma a atender a área de silvicultura voltada para as técnicas silviculturais para produção, tecnologias para produção de sementes e mudas, melhoramento florestal e proteção florestal. Em uma segunda parte, os trabalhos estão estruturados de forma a abordar a área de ecologia e dinâmica florestal. Em uma terceira parte, os trabalhos estão voltados para a tecnologia de produtos florestais mais especificamente relacionados às propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira. Em uma quarta parte, com um trabalho sobre gestão ambiental, abordando a importância dos recursos hídricos. E finalizando, a quinta parte com um trabalho sobre sensoriamento remoto. Desta forma, o e-book “Conceitos e Conhecimentos de Métodos e Técnicas de Pesquisa Científica em Engenharia Florestal” apresenta resultados relevantes realizados por diversos professores e acadêmicos que serão apresentados neste de forma didática. Agradecemos o empenho e dedicação de todos os autores das diferentes instituições de ensino, pesquisa e extensão, por partilharem ao público os resultados dos trabalhos desenvolvidos por seus grupos de pesquisa. Esperamos que os trabalhos aqui apresentados possam inspirar outros estudos voltados às Ciências Florestais.

Cristina Aledi Felseburgh

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DESEMPENHO SILVICULTURAL DO HÍBRIDO DE *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis*, SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO NA CHAPADA DO ARARIPE, ARARIPINA-PE

Marcos Antônio Drumond
Visêldo Ribeiro de Oliveira
José Gomes Chaves
Jorge Ribaski
Diogo Denardi Porto

DOI 10.22533/at.ed.2772113011

CAPÍTULO 2..... 7

EFEITOS DE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO SOB O DESEMPENHO SILVICULTURAL DO HÍBRIDO DE *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla*, NA CHAPADA DO ARARIPE, ARARIPINA-PE

Marcos Antônio Drumond
Visêldo Ribeiro de Oliveira
José Alves Tavares
João Tavares Calixto Júnior
Jorge Ribaski

DOI 10.22533/at.ed.2772113012

CAPÍTULO 3..... 14

GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Moringa oleifera* Lam. TRATADAS COM NITRATO DE POTÁSSIO E SUBMETIDAS AO ESTRESSE POR ALUMÍNIO

Thiago Pereira de Paiva Silva
Josefa Patricia Balduino Nicolau
Francisca Adriana Ferreira de Andrade
Francisco Eudes da Silva
Jackson Araújo Silva
André Dantas de Medeiros
Kelem Cristiany Nunes Silva
Marcio Dias Pereira

DOI 10.22533/at.ed.2772113013

CAPÍTULO 4..... 20

BIOMETRIA DIGITAL E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE *Leucaena leucocephala* WIT. EM FUNÇÃO DA SUA POSIÇÃO NO FRUTO

Thiago Pereira de Paiva Silva
Amanda Karoliny Fernandes Ramos
Jackson Araújo Silva
Josefa Patricia Balduino Nicolau
André Dantas de Medeiros
Kelem Cristiany Nunes Silva
Francisco Eudes da Silva
Marcio Dias Pereira

DOI 10.22533/at.ed.2772113014

CAPÍTULO 5.....26

ESTRUTURA FAMILIAR E ESTIMATIVAS DE BLUPS EM ESPÉCIES COM O SISTEMA MISTO DE REPRODUÇÃO

Evandro Vagner Tambarussi
Lucas Mateus Domingues da Silva
Osmarino Pires dos Santos
Dandara Yasmim Bonfim de Oliveira Silva
Lucas Fernandes Rocha
Fabiana Schmidt Bandeira Peres

DOI 10.22533/at.ed.2772113015

CAPÍTULO 6.....51

CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA DE DOENÇAS BACTERIANAS EM VIVEIROS E PLANTIOS DE *EUCALYPTUS* SPP

Daniella Flávia Said Heid Schettini Silva
Helena Piedade Farsoni
Sharlles Christian Moreira Dias
Luciano Flávio Neves Ramos
Celso Luis Marino
Edson Luiz Furtado

DOI 10.22533/at.ed.2772113016

CAPÍTULO 7.....63

ANALYSIS OF CHLOROPLASTIDIAL SEQUENCES OF COLD-TOLERANT *Eucalyptus* AND *Corymbia* SPECIES

Marcos Rafael Amâncio
Evandro Vagner Tambarussi
Lucas Fernandes Rocha
Alexandre Techy de Almeida Garrett
Daniel Barletta Sulis
Andrea Nogueira Dias
Leandro de Siqueira

DOI 10.22533/at.ed.2772113017

CAPÍTULO 8.....75

REGENERAÇÃO NATURAL EM ÁREAS DE CAATINGA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE CONSERVAÇÃO

Natalie da Mota Soares
Robério Anastácio Ferreira
Janisson Batista de Jesus
Higor dos Santos Vieira
Diogo Gallo de Oliveira
Ana Cecília da Cruz Silva
Fernando Luis Hillebrand
Cristiano Niederauer da Rosa

DOI 10.22533/at.ed.2772113018

CAPÍTULO 9.....	94
CRECIMIENTO Y MORTALIDAD DE PLÁNTULAS DE CASTAÑA (<i>Bertholletia excelsa</i> Humb. & Bonpl.) EN CLAROS Y SOTOBOSQUE EN LA AMAZONIA PERUANA	
Jorge Garate-Quispe	
Mishari Garcia Roca	
Liset Rodriguez-Achata	
Rembrandt Canahuire Robles	
Gabriel Alarcón Aguirre	
DOI 10.22533/at.ed.2772113019	
CAPÍTULO 10.....	106
INFILTRATION CAPACITY MODELLING UNDER FORESTS IN THE BASIN OF THE SAN CRISTOBAL RIVER, BOGOTÁ	
Carlos Francisco García Olmos	
Diana Constanza García Rincón	
DOI 10.22533/at.ed.27721130110	
CAPÍTULO 11.....	120
MÉTODO BOTANAL APLICADO A QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA NA SERAPILHEIRA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	
Luciano Farinha Watzlawick	
Maria Fernanda Subtil Gallo	
Matheus Rech	
Talyta Mytsuy Zanardini Galeski Sens	
Richeliel Albert Rodrigues Silva	
Joelmir Augustinho Mazon	
DOI 10.22533/at.ed.27721130111	
CAPÍTULO 12.....	132
ANÁLISE E QUANTIFICAÇÃO DA NECROMASSA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	
Luciano Farinha Watzlawick	
Angélica Lorini	
Talyta Mytsuy Zanardini Galeski Sens	
Jaqueline Aparecida Schran	
DOI 10.22533/at.ed.27721130112	
CAPÍTULO 13.....	142
O DESMATAMENTO DA FLORESTA AMAZÔNICA E A FRAGMENTAÇÃO DE HABITATS NATURAIS: COMO A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL IMPULSIONA O SURGIMENTO DE ZOONOSES	
Beatriz John Kettermann	
Karina Wegermann	
DOI 10.22533/at.ed.27721130113	
CAPÍTULO 14.....	149
PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE ESPÉCIES COMERCIALIZADAS NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS – PA	
Mateus Souza da Silva	

Genilson Maia Corrêa
Julita Maria Heinen do Nascimento
Jones de Castro Soares
Maria Eloisa da Silva Miranda
Layane Jesus dos Santos
Rick Vasconcelos Gama
Anne Caroline Malta da Costa
Gesivaldo Ribeiro Silva
João Rodrigo Coimbra Nobre

DOI 10.22533/at.ed.27721130114

CAPÍTULO 15..... 156

SOLUBILIDADE DA MADEIRA DE TECA EM ÁGUA

Zaira Morais dos Santos Hurtado de Mendoza
Pedro Hurtado de Mendoza Borges
Pedro Hurtado de Mendoza Morais

DOI 10.22533/at.ed.27721130115

CAPÍTULO 16..... 162

COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA: UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO MANHUAÇU, MG

Rodolfo Alves Barbosa
Aline Gonçalves Spletozer
Lucas Jesus da Silveira
Sergio Guedes Barbosa
Herly Carlos Teixeira Dias

DOI 10.22533/at.ed.27721130116

CAPÍTULO 17..... 181

APPLICATION OF R LANGUAGE IN THE ANALYSIS OF FOREST FRAGMENTATION USING SPATIAL DATA

Juliana Marchesan
Rudiney Soares Pereira
Elisiane Alba
Letícia Daiane Pedrali
Luciane Marchesan
Mateus Sabadi Schuh
Roberta Aparecida Fantinel

DOI 10.22533/at.ed.27721130117

SOBRE A ORGANIZADORA..... 193

ÍNDICE REMISSIVO..... 194

CAPÍTULO 1

DESEMPENHO SILVICULTURAL DO HÍBRIDO DE *Eucalyptus grandis* X *E. camaldulensis*, SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO NA CHAPADA DO ARARIPE, ARARIPINA-PE

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 11/11/2020

Marcos Antônio Drumond

Embrapa Semiárido
Petrolina-PE

<http://lattes.cnpq.br/1346750351605800>

Visêldo Ribeiro de Oliveira

Embrapa Semiárido
Petrolina-PE

<http://lattes.cnpq.br/1647153746754385>

José Gomes Chaves

Universidade Federal de Alagoas
Maceió-AL

<http://lattes.cnpq.br/6634793487965988>

Jorge Ribaski

Embrapa Florestas
Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/5177000588953343>

Diogo Denardi Porto

Embrapa Semiárido
Petrolina-PE

<http://lattes.cnpq.br/4123138431211103>

RESUMO: O presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos de diferentes espaçamentos de plantio sob o desempenho silvicultural do híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis*, na Chapada do Araripe. O ensaio foi instalado na Estação Experimental do IPA no município de Araripina-PE, (Latitude: 7°27'50"S, Longitude: 40°24'38"W, Altitude de 828 m), com temperatura

média anual de 27°C. A precipitação média anual é de 700 mm concentrados entre os meses de fevereiro e maio. O delineamento experimental adotado foi blocos ao acaso com cinco espaçamentos: 3,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m; 3,0 m x 3,0 m; 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m, com quatro repetições. A área experimental foi submetida previamente à aração e gradagem e subsolagem a 40 cm de profundidade na linha de plantio, sendo incorporadas, ao solo, 2,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. Foi feita uma adubação de fundação com 150g/cova de NPK (06:24:12). O plantio foi feito no início do período chuvoso. Cada parcela foi constituída de 64 plantas, com áreas úteis variáveis de 216 a 432 m², totalizando 11.520 m² de ensaio. Para efeito de análise foram consideradas apenas as 36 plantas centrais de cada parcela. Aos três anos de idade o híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* demonstrou que a sobrevivência em geral foi superior a 94%, sendo que os espaçamentos 3,0 m x 2,0 m e 3,0 m x 3,0 m apresentaram 100%, superando significativamente os demais espaçamentos testados. A altura variou de 12,5 a 13,3 m sem qualquer diferença significativa, enquanto as menores densidades de plantio (3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m) proporcionaram maior crescimento em diâmetro (11,7 cm), estatisticamente superiores aos demais. Ao contrário, o espaçamento mais adensado de 3,0 m x 2,0 m (6,0 m² por planta), proporcionou significativamente, a maior produção em volume de madeira (45,5 m³ ha⁻¹).

PALAVRAS-CHAVE: Densidade de plantio, floresta energética, reflorestamento.

SILVICULTURAL PERFORMANCE OF *Eucalyptus grandis* X *E. camaldulensis* HYBRID, UNDER DIFFERENT PLANTING SPACING IN CHAPADA DO ARARIPE, ARARIPINA-PE, BRAZIL

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the effects of different planting spacings on the hybrid *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* silvicultural performance, in Chapada do Araripe. The test was installed at the IPA Experimental Station in the municipality of Araripina-PE, (Coordinates: 7°27'50"S, 40°24'38"W, 828 m altitude), with an average annual temperature of 27°C. The annual average precipitation is 700 mm, concentrated between February and May. The experimental design adopted was randomized blocks with five spacings: 3.0 m x 2.0 m; 3.0 m x 2.5 m; 3.0 m x 3.0 m; 3.0 m x 3.5 m and 3.0 m x 4.0 m, with four repetitions. An experimental area was previously submitted to plowing, harrowing and subsoiling 40 cm deep in the planting line, with 2.0 t ha⁻¹ of dolomitic limestone being incorporated into the soil. A foundation fertilization was made with 150g NPK/pit (06:24:12). Planting was done at the beginning of the rainy season. Each plot was composed of 64 plants, with useful areas ranging from 216 to 432 m², totaling 11,520 m² of test. For the purpose of this analysis, only 36 central plants from each plot were evaluated. At three years of age, the hybrid *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* showed a general survival rate higher than 94%, being 100% on 3.0 m x 2.0 m and 3.0 m x 3.0 m spacings, surpassing the other tested spacings. The height varied from 12.5 to 13.3 m without any significant difference, while the smaller planting densities (3.0 m x 3.5 m and 3.0 m x 4.0 m) provided greater growth in diameter (11.7 cm), statistically higher to the other treatments. On the other hand, the denser spacing of 3.0 m x 2.0 m (6.0 m² per plant) also provided the largest production in volume of wood (45.5 m³ ha⁻¹).

KEYWORDS: Planting density, energy forest, reforestation

INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira é uma das poucas com clima tropical, comparada com as demais regiões semiáridas do mundo é caracterizada por ser a mais chuvosa e a mais populosa (ARAÚJO et al., 2019). A vegetação predominante nesta região é a Caatinga, que segundo dados de monitoramento do desmatamento realizado pelo MMA, (2010), 46% já foram desmatados, resultados semelhantes também foram observados por INPE (2015).

A Chapada do Araripe faz parte do bioma Caatinga e é um importante planalto na divisa dos estados de Pernambuco, Piauí e Ceará. Do lado pernambucano, as cidades de Araripina, Ipubi, Trindade, Bodocó e Ouricuri, constituem o Polo Gesso do Araripe, sendo responsável pela produção de 95% do gesso consumido no Brasil (SINDUSGESSO, 2017).

Segundo Toniolo, et al. (2007), o consumo anual de lenha em 2007, foi de 1.901.554 metros cúbicos, para atender as demandas industriais e domésticas na região do Araripe, sendo 92% exclusivamente para as indústrias do Polo Gesso.

Considerando a crescente demanda energética madeireira para a produção do gesso, onde a maior parte provem da vegetação nativa, é premente a necessidade de buscar alternativas para minimizar os impactos sobre a vegetação de Caatinga. Uma das alternativas para aliviar a pressão sobre a vegetação nativa na Chapada do Araripe é o

cultivo de espécies de rápido crescimento para fins energéticos.

Segundo Global, (2009), o Brasil é o país que apresenta a maior extensão territorial plantada com espécies do gênero *Eucalyptus* (21%) seguido da Índia (19%) e da China (13%).

Desde a década de 90 que a maioria dos reflorestamentos no Brasil, são feitos com híbridos de *Eucalyptus*, buscando agregar as melhores características de cada uma de acordo com o destino da madeira e das condições locais. Para zonas tropicais secas ou semiáridas destacam-se as espécies *E. camaldulensis*, *E. brassiana*, *E. exserta*, *E. crebra* e *E. drepanophylla* (FERREIRA; SANTOS, 1997).

Com base nos plantios comprobatórios de florestas de rápido crescimento, os híbridos de *Eucalyptus* na Chapada do Araripe, apresentaram viabilidade técnica e econômica, produzindo em média $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de lenha, entre quatro e cinco anos de idade, quando plantados no espaçamento de 3,0 m x 2,0 m (DRUMOND, 2013).

A escolha correta do espaçamento de plantio é uma das práticas de manejo de maior importância para começar bem um empreendimento florestal, por influenciar diretamente no crescimento individual e em conjunto das plantas (MAGALHÃES et al, 2007).

A utilização de híbridos de *Eucalyptus* plantados em espaçamentos adequados, pode maximizar a produtividade madeireira. Nesse sentido, a escolha do espaçamento ideal de plantio para determinada espécie ou híbrido, do ponto de vista silvicultural, é altamente relevante, pois afeta a quantidade de recursos naturais disponíveis para o crescimento de cada árvore, influenciando nas taxas de crescimento, sobrevivência, rendimento da planta e produtividade da madeira por hectare, com consequências nas práticas de manejo e colheita e nos custos de produção florestal.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes espaçamentos de plantio no desempenho silvicultural de híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis*, na Chapada do Araripe.

METODOLOGIA

O ensaio foi instalado na Estação Experimental do IPA no município de Araripina-PE, (Latitude: $7^{\circ}27'50''\text{S}$, Longitude: $40^{\circ}24'38''\text{W}$, Altitude de 828 m), com temperatura média anual de 27°C . A precipitação média anual é de 700 mm concentrados entre os meses de fevereiro e abril. O delineamento experimental adotado foi blocos ao acaso com cinco espaçamentos: 3,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m; 3,0 m x 3,0 m; 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m, com quatro repetições.

A área experimental foi submetida previamente à aração e gradagem e subsolagem a 40 cm de profundidade na linha de plantio, sendo incorporadas, ao solo, $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico. Foi feita uma adubação de fundação com 150g/cova de NPK (06:24:12). O plantio foi feito no início do período chuvoso. Cada parcela foi constituída de 64 plantas,

com áreas úteis variáveis de 216 a 432 m², totalizando 11.520 m² de ensaio. Para efeito de análise foram consideradas apenas as 36 plantas centrais de cada parcela.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados de crescimento e produtividade do híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* aos três anos de idade, plantado em diferentes espaçamentos. De acordo com os resultados, o híbrido plantado no espaçamento mais amplo (3,0 m x 4,0 m) apresentou a menor taxa de sobrevivência (94%), diferindo significativamente em relação aos demais tratamentos, enquanto que os espaçamentos 3,0 m x 2,0 m e 3,0 m x 3,0 m, apresentaram 100% de sobrevivência, foram significativamente superior aos demais.

As alturas médias das plantas nos diversos tratamentos variaram de 12,5 a 13,3 m sem diferenças significativas entre si, enquanto que para o diâmetro, os espaçamentos mais amplos (3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m) apresentaram diâmetros de 11,7 cm, superiores e diferindo dos demais tratamentos, sugerindo não estar havendo competição entre as nesta idade, conforme também relatado por Oliveira Neto et al. (2010).

Da mesma forma o espaçamento 3,0 m x 2,0 m, mesmo não apresentando superioridade do crescimento em altura e em diâmetro, rendeu produção volumétrica de 45,5 m³ ha⁻¹, significativamente superior aos demais tratamentos. Resultados semelhantes foram obtidos por Corrêa et al (2020), definido pelo maior número de plantas por unidade de área. É natural que a menor densidade de plantio, apresente menor competição por água, luz e nutrientes, o que reflete diretamente numa maior produção individual de madeira (SILVEIRA et al, 2014).

Espaçamento	Sobrevivência (%)	Altura (m)	DAP (cm)	Volume (m ³ ha ⁻¹)
3.0 m x 2.0 m	100.0 a	12.7 a	9.9 b	45.5 a
3.0 m x 2.5 m	97.2 b	12.5 a	9.7 b	34.6 b
3.0 m x 3.0 m	100.0 a	12.7 a	10.3 b	33.3 b
3.0 m x 3.5 m	97.2 b	13.3 a	11.7 a	38.4 b
3.0 m x 4.0 m	94.4 c	13.1 a	11.7 a	32.6 b

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 1. Efeito dos diferentes espaçamentos sobre o diâmetro à altura do peito-DAP, (cm), altura (m), sobrevivência (%) e o volume cilíndrico da madeira (m³ha⁻¹) do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* aos 36 meses de idade, na Chapada do Araripe, Araripina-PE, Brasil.

Na Figura 1, pode-se observar desenvolvimento do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* aos 36 meses de idade, na Chapada do Araripe, em Araripina-PE.



Figura 1. Híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* com 36 meses de idade, na Chapada do Araripe, em Araripina-PE

CONCLUSÕES

- A altura das árvores não foi influenciada pelos espaçamentos de plantio;
- Foram observadas tendências para valores crescentes dos diâmetros com o aumento do espaçamento de plantio;
- O plantio mais adensado de 3,0 m x 2,0 m (6,0 m² por planta), proporcionou a maior produção em volume de madeira.

AGRADECIMENTOS

Ao Banco do Nordeste pelo apoio financeiro e ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) pela parceria neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. D. S.; MACHADO, C. C. C.; SOUZA, J. O. P. de. Considerações sobre as paisagens semiáridas e os enclaves subúmidos do nordeste seco - uma abordagem sistêmica. **Revista de Geografia**, v. 36, n. 3, p. 128-146, 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Monitoramento dos biomas brasileiros: Bioma Caatinga**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/6122-desmatamento-na-caatinga-jadestruiu-metade-da-vegetacao-original.html>. Acesso em: 10 jul. 2020.

CORRÊA, R. S.; SOARES, T. S.; ALVES, M. A.; SOUZA, J. P. de; VIEIRA, E. M. Espaçamentos de plantio promovem produção distinta em híbrido de eucalipto. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p. 1073-1079, 2020.

DRUMOND, M. A. Florestas energéticas: espécies potencialidades para o Semiárido brasileiro. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA REALIDADE SEMIÁRIDA, 1.; SIMPÓSIO ALAGOANO SOBRE ECOSISTEMAS DO SEMIÁRIDO, 2., 2013, Arapiraca. Os **recursos hídricos, potencialidades e desenvolvimento socioeconômicos da região**: anais. Maceió: EDUFAL, 2013. p. 206-233.

FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. Melhoramento genético florestal dos Eucalyptus no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. v. 1, p. 14-34.

GLOBAL *Eucalyptus* map: a cartography information resource depicting Eucalyptus cultivated forests worldwide. [S.l.]: GIT Forestry Consulting, 2009.

INPE. **INPE Nordeste mapeia desmatamento da Caatinga**. São José dos Campos, 2015. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3895. Acesso em: 1 nov., 2020.

MAGALHAES, W. M.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKWA, E. M.; JUNIOR, M. Y. Desempenho Silvicultural de Clones e Espécies/Procedências de *Eucalyptus* na Região Noroeste de Minas Gerais. **Revista Cerne**, v. 13, n. 4, p. 368-375, 2007.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; NEVES, J. C. L. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 755-762, 2010.

SILVEIRA, E. R.; REINER, D. A.; SMANIOTTO, J. R. Efeito do espaçamento de plantio na produção de madeira e serapilheira de *Eucalyptus dunni* na região sudoeste do Paraná. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, n. 2, set. p. 1-9, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/41-169-2PB.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2020.

SINDUSGESSO. **Estudo técnico do Polo Gesseiro do Araripe**. Recife: FIEP 2017. Disponível em: <http://www.sindusgesso.org.br/wp-content/uploads/2017/07/ESTUDO-T%C3%89CNICO-Gesseiro-Vers%C3%A3o-Final-NENI.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2020.

TONIOLO, E. R.; PAUPITZ, J.; CAMPELLO, F. C. B. Polo Gesseiro de Pernambuco: diagnóstico e perspectivas de utilização dos energéticos florestais na região do Araripe. In: KUSTER, A.; MARTI, J. F.; MELCHERS, I. (Org.). **Tecnologias apropriadas para terras secas**: manejo sustentável de recursos naturais em regiões semi-áridas do Nordeste do Brasil. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2006. p. 51-70.

EFEITOS DE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO SOB O DESEMPENHO SILVICULTURAL DO HÍBRIDO DE *Eucalyptus brassiana* X *E. urophylla*, NA CHAPADA DO ARARIPE, ARARIPINA-PE

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 11/11/2020

Marcos Antônio Drumond

Embrapa Semiárido
Petrolina-PE

<http://lattes.cnpq.br/1346750351605800>

Visêldo Ribeiro de Oliveira

Embrapa Semiárido
Petrolina-PE

<http://lattes.cnpq.br/1647153746754385>

José Alves Tavares

Instituto Agrônômico de Pernambuco
Araripina-PE

<http://lattes.cnpq.br/1306150670421488>

João Tavares Calixto Júnior

Universidade Regional do Cariri
Crato-CE

<http://lattes.cnpq.br/9600618816271612>

Jorge Ribaski

Embrapa Florestas
Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/5177000588953343>

RESUMO: O presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos de diferentes espaçamentos de plantio sob o desempenho silvicultural do híbrido *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla*, na Chapada do Araripe. O ensaio foi instalado na Estação Experimental do IPA no município de Araripina-PE, (Latitude: 7°27'50"S, Longitude: 40°24'38"W, Altitude de 828 m), com temperatura

média anual de 27°C. A precipitação média anual é de 700 mm concentrados entre os meses de fevereiro e abril. O delineamento experimental adotado foi blocos ao acaso com cinco espaçamentos: 3,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m; 3,0 m x 3,0 m; 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m, com quatro repetições. A área experimental foi submetida previamente à aração e gradagem e subsolagem a 40 cm de profundidade na linha de plantio, sendo incorporadas, ao solo, 2,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. Foi feita uma adubação de fundação com 150g/cova de NPK (06:24:12). O plantio foi feito no início do período chuvoso. Cada parcela foi constituída de 64 plantas, com áreas úteis variáveis de 216 a 432 m², totalizando 11.520 m² de ensaio. Para efeito de análise foram consideradas apenas as 36 plantas centrais de cada parcela. Observou-se, aos três anos de idade para o híbrido *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla*, que a sobrevivência diferiu estatisticamente entre os diferentes espaçamentos, sendo inferior (83,3%) para o menor espaçamento (3,0 m x 2,0 m), e o maior (97,2%) para o espaçamento de 3,0 m x 3,5 m. Para as demais variáveis os espaçamentos não influenciaram significativamente entre si, entretanto o espaçamento de 3,0 m x 2,0 m em valores absolutos apresentou a maior produção volumétrica de madeira (49,0 m³ ha⁻¹) e a menor produção volumétrica 30,0 m³ ha⁻¹, para o espaçamento de 3,0 m x 3,0 m, evidenciando não existir competição entre as plantas nesta fase de desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE: Clones, densidade de plantio, floresta energética.

EFFECTS OF DIFFERENT PLANTING SPACING ON THE SILVICULTURAL PERFORMANCE OF *Eucalyptus brassiana* X *E. urophylla* HYBRID, IN CHAPADA DO ARARIPE, ARARIPINA-PE

ABSTRACT: The present study aimed to evaluate the effects of different planting spacing on the silvicultural performance of the hybrid *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla*, in Chapada do Araripe. The test was installed at the IPA Experimental Station in the municipality of Araripina-PE, (Latitude: 7°27'50"S, Longitude: 40°24'38"W, Altitude of 828 m), with an average annual temperature of 27°C. The average annual precipitation is 700 mm concentrated between the months of February and April. The experimental design adopted was randomized blocks with five spacings: 3.0 m x 2.0 m; 3.0 m x 2.5 m; 3.0 m x 3.0 m; 3.0 m x 3.5 m and 3.0 m x 4.0 m, with four repetitions. The experimental area was previously submitted to plowing and harrowing and subsoiling 40 cm deep in the planting line, with 2.0 t ha⁻¹ of dolomitic limestone being incorporated into the soil. A foundation fertilization was made with 150g NPK/pit (06:24:12). Planting was done at the beginning of the rainy season. Each plot consisted of 64 plants, with useful areas ranging from 216 to 432 m², totaling 11,520 m² of test. For the purpose of analysis, only the 36 central plants of each plot were considered. At three years of age, the hybrid *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla*, it was observed that survival differed statistically between the different spacing, being lower (83.3%) for the smaller spacing (3.0 m x 2.0 m), and the largest (97.2%) for the spacing of 3.0 m x 3.5 m. For the other variables, the spacing did not significantly influence each other, however the spacing of 3.0 m x 2.0 m in absolute values presented the largest volumetric production of wood (49.0 m³ ha⁻¹) and the lowest volumetric production 30.0 m³ ha⁻¹, for the spacing of 3.0 m x 3.0 m, showing that there is no competition between plants at this stage of development.

KEYWORDS: Clone, planting density, energy forest.

INTRODUÇÃO

Na região do Araripe, que compreende vários municípios na divisa entre os estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, encontra-se a maior reserva de gipsita em exploração no Brasil, que estende-se por 18 mil km² (PERNAMBUCO, 2007). Nessa área, ocorre uma grande concentração de indústrias conhecida como Polo Gesso do Araripe, responsável por mais de 95% da produção de todo o gesso consumido no Brasil (SINDUSGESSO, 2017).

O Polo Gesso tem alta demanda energética para o processamento da gipsita, que vem sendo suprida por diversas fontes como a eletricidade, o óleo diesel, o óleo BPF, o coque e, principalmente em fábricas de menor porte, a lenha. Como o número de pequenas indústrias de processamento é elevado, sua demanda agregada por biomassa energética é também alta, e grande parte dessa demanda é suprida pelos recursos florestais nativos da região, o que tem provocado significativo desmatamento da vegetação natural nas áreas adjacentes ao Polo (CAMPELLO, 2011).

Mais de 9% da energia primária do mundo é fornecida pela biomassa florestal, que é considerada uma importante fonte de energia renovável (FAO, 2012). No Brasil, o consumo

de biomassa florestal é significativo, estimado em 150 milhões de metros cúbicos anuais (BRASIL, 2010), sendo utilizado, principalmente, para suprir a demanda energética do setor siderúrgico na forma de carvão vegetal. A maior área de floresta plantada e também de maior consumo de biomassa energética do país estão no estado de Minas Gerais, responsável por 80% da indústria siderúrgica e também detentora de 1,4 milhão de hectares de florestas energéticas (IBÁ, 2017).

O gênero *Eucalyptus* predomina nas florestas plantadas do Brasil, atingindo cerca de 5.473.176 hectares em 2013 de acordo com o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF, 2013). Essa hegemonia deriva da disponibilidade de tecnologias avançadas de cultivo e produção de madeira de *Eucalyptus*, alcançando rendimento de cerca de 60 m³ ha⁻¹ em rotações de 7 anos.

A utilização de florestas de eucalipto como fonte energética tem sido proposta como alternativa para minimizar o extrativismo descontrolado de lenha da vegetação nativa da Caatinga. Nesse sentido, o aperfeiçoamento de técnicas de manejo silvicultural para uma determinada espécie ou clone é altamente relevante, em especial a escolha do espaçamento adequado de plantio, que influencia as taxas de crescimento, sobrevivência e produtividade das plantas. Isso se reflete nas práticas de colheita e nos custos finais da produção (DRUMOND, 2013).

A disponibilidade de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus*, bem como a clonagem dos melhores indivíduos das progênies geradas, são fatores de aumento da produtividade e qualidade da madeira dos plantios (SANTOS et al., 2013). Segundo Assis e Mafia (2007), a aplicação dessas técnicas é responsável por colocar o Brasil entre as maiores indústrias mundiais de celulose e papel.

No manejo florestal, a densidade de plantio pode afetar indicadores de produtividade como crescimento das plantas, qualidade da madeira e idade de corte, trazendo reflexos nas práticas de exploração florestal e, em última análise, nos custos de produção (CARON et al., 2015). Em sistemas de curta rotação de eucalipto, são adotados espaçamentos de 0,5 m e 1,0 m entre plantas e o uso de linhas duplas, em configurações mais adensadas do que as convencionalmente utilizadas em plantações comerciais, de 2 a 3 metros entre plantas na linha (GUERRA et al., 2016). O aumento da densidade de plantio provoca uma diminuição no diâmetro das árvores, porém isso é compensado pela maior produção de biomassa por hectare (RIBEIRO et al., 2017; ELOY et al., 2018; SCHWERZ et al., 2019).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar desempenho silvicultural do híbrido *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla* submetido a diferentes espaçamentos de plantio, na Chapada do Araripe.

METODOLOGIA

O ensaio foi instalado na Estação Experimental do IPA no município de Araripina-PE,

(Latitude: 7°27'50"S, Longitude: 40°24'38"W, Altitude de 828 m), com temperatura média anual de 27°C. A precipitação média anual é de 750 mm concentrados entre os meses de fevereiro e abril. O delineamento experimental adotado foi blocos ao acaso com cinco espaçamentos: 3,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m; 3,0 m x 3,0 m; 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m, com quatro repetições.

A área experimental foi submetida previamente à aração e gradagem e subsolagem a 40 cm de profundidade na linha de plantio, sendo incorporadas, ao solo, 2,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. Foi feita uma adubação de fundação com 150g/cova de NPK (06:24:12). O plantio foi feito no início do período chuvoso. Cada parcela foi constituída de 64 plantas, com áreas úteis variáveis de 216 a 432 m², totalizando 11.520 m² de ensaio. Para efeito de análise foram consideradas apenas as 36 plantas centrais de cada parcela.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, pode-se observar desenvolvimento do híbrido de *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla* aos 36 meses de idade, na Chapada do Araripe, em Araripina-PE.



Figura 1. Híbrido de *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla* aos 36 meses e idade.

Na Tabela 1, são apresentados os resultados referentes ao ensaio de espaçamento do híbrido *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla*. Observou-se que aos três anos de idade,

a sobrevivência do híbrido de *Eucalyptus* diferiu estatisticamente entre os diferentes espaçamentos, sendo inferior (83,3%) para o menor espaçamento (3,0 m x 2,0 m) e superior (97,2%) no espaçamento de 3,0 m x 3,5 m. Para as demais variáveis os espaçamentos não influenciaram significativamente entre si. Entretanto, o espaçamento de 3,0 m x 2,0 m em valores absolutos apresentou a maior produção volumétrica de madeira (49,0 m³ ha⁻¹) enquanto que no espaçamento de 3,0 m x 3,0 m a menor produção volumétrica foi de 30,0 m³ ha⁻¹, evidenciando não existir competição entre as plantas nesta fase de desenvolvimento. Em geral, o aumento do espaçamento promove um maior crescimento diamétrico das plantas (MÜLLER et al., 2005; OLIVEIRA NETO et al., 2010).

Entre os principais fatores que interferem nesse processo, pode-se destacar a maior disponibilidade de água e nutrientes e menor competição entre plantas. No entanto, até a idade em que o ensaio foi avaliado, isso não foi observado para o diâmetro. Um dos principais parâmetros a ser considerado na avaliação de ensaios com objetivos energéticos é a produtividade volumétrica. De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, observa-se um discreto aumento do volume no espaçamento 3,0 m x 2,0 m em relação aos demais espaçamentos testados, sem, contudo, apresentar diferença significativa.

Espaçamento	Sobrevivência (%)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m ³ ha ⁻¹)
3,0 m x 2,0 m	83,3 d	10.3 a	12,4 a	49,0 a
3,0 m x 2,5 m	86,1 c	10.2 a	12,2 a	38,0 a
3,0 m x 3,5 m	97,2 a	11.1 a	12,0 a	31,3 a
3,0 m x 4,0 m	94,4 b	11.7 a	12,0 a	30,7 a
3,0 m x 3,0 m	80,6 e	10.1 a	11,7 a	30,4 a

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 1. Efeitos de diferentes espaçamentos de plantio sobre diâmetro á altura do peito-DAP (cm), altura (m), sobrevivência (%) e volume cilíndrico de madeira (m³ ha⁻¹), do híbrido de *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla*, aos 36 meses de idade, na Chapada do Araripe, Araripina-PE.

CONCLUSÃO

- Os diferentes espaçamentos não afetaram significativamente as variáveis de crescimento e produtividade;
- Foram observadas tendências para valores crescentes no volume cilíndrico de

madeira por hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) com a redução do espaçamento de plantio;

- O plantio mais adensado de 3,0 m x 2,0 m ($6,0 \text{ m}^2$ por planta), apresentou maior volume absoluto de madeira.

AGRADECIMENTO

Ao Banco do Nordeste pelo aporte financeiro e ao Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) pela parceria na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. (Ed.) **Biotecnologia florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2007. p. 93-121.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Florestas do Brasil em resumo: dados de 2005-2010**. Brasília, DF, 2010. 152 p.

CAMPELO, F. B. **Análise do consumo específico de lenha nas indústrias gesseiras: a questão florestal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável do Araripe-PE**. 2011. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CARON, B. O.; EDER, E.; SOUZA, V. Q. de; SCHMIDT, D.; BALBINOT, R.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G. C. Biomassa florestal em plantios de curta rotação para obtenção de recursos dendroenergéticos. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p. 106-112, 2015.

DRUMOND, M. A. Florestas energéticas: espécies potencialidades para o Semiárido brasileiro. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA REALIDADE SEMIÁRIDA, 1.; SIMPÓSIO ALAGOANO SOBRE ECOSISTEMAS DO SEMIÁRIDO, 2., 2013, Arapiraca. **Os recursos hídricos, potencialidades e desenvolvimento socioeconômicos da região**: anais. Maceió: EDUFAL, 2013. p. 206-233.

ELOY, E.; SILVA, D. A.; CARON, B. O.; ELLI, E. F.; SCHWERZ, F. Effect of age and spacing on biomass production in forest plantations. **Revista Árvore**, v. 42, p. 1-11, 2018.

FAO. **Wood energy**. 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/energy/en/>. Acesso em: 3 nov. 2020.

GUERRA, S. P. S.; OGURI, G.; CERAGIOLI, N. S.; SPINELLI, R. Trade-offs between fuel chip quality and harvesting efficiency in energy plantations. **Fuel**, v. 183, p. 272-277, 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2017**. Brasília, DF, 2017. 80 p. Disponível em: <http://www.iba.org.br>. Acesso em: 04 nov. 2020.

MÜLLER, M. D.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; BRITO, J. O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 3, p. 177-186, 2005.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; NEVES, J. C. L. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 755-762, 2010.

PERNAMBUCO. Secretária de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Região do Araripe**: Pernambuco - diagnóstico florestal. Brasília, DF: MMA: UNESCO, 2007. 79 p. il.

RIBEIRO, M. D. S. B.; JORGE, L. A. B.; MISCHAN, M. M.; SANTOS, A. L. dos. BALLARIN, A. W. Avaliação da produção de biomassa do fuste de um clone híbrido de eucalipto sob diferentes espaçamentos. **Ciência florestal**, v. 27, p. 31-45, 2017.

SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 759-769, 2013.

SCHWERZ, F.; ELOY, E.; ELLI, E. F.; CARON, B. O. Reduced planting spacing increase radiation use efficiency and biomass for energy in black wattle plantations: Towards sustainable production systems. **Biomass and Bioenergy**, v. 120, p. 229-239, 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS. **As florestas plantadas**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>. Acesso em: 3 nov..2020.

SINDUSGESSO. **Estudo técnico do Polo Gesseiro do Araripe**. Recife: FIEP 2017. Disponível em: <http://www.sindusgesso.org.br/wp-content/uploads/2017/07/ESTUDO-T%C3%89CNICO-Gesseiro-Vers%C3%A3o-Final-NENI.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2020.

CAPÍTULO 3

GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Moringa oleifera* Lam. TRATADAS COM NITRATO DE POTÁSSIO E SUBMETIDAS AO ESTRESSE POR ALUMÍNIO

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 07/12/2020

Marcio Dias Pereira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/2969947409452499>

Thiago Pereira de Paiva Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/2938721699550222>

Josefa Patricia Balduino Nicolau

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/0918426519253681>

Francisca Adriana Ferreira de Andrade

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/7590560029057579>

Francisco Eudes da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/1887581150753179>

Jackson Araújo Silva

Universidade Federal de Viçosa
Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/6798387232122725>

André Dantas de Medeiros

Universidade Federal de Viçosa
Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/1407806252283644>

Kelem Cristiany Nunes Silva

Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró-RN

<http://lattes.cnpq.br/5386828818457449>

RESUMO: A moringa possui adaptação às condições climáticas e solos áridos característicos de regiões semiáridas. No entanto, condições de estresse, como teores de alumínio no solo, ocasionam toxidez. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do tratamento com nitrato de potássio (KNO₃) na germinação e vigor de sementes de moringa submetidas ao estresse por alumínio. As sementes foram submetidas a dois tratamentos: (1) sementes não tratadas – imersas por 24 horas em água destilada e (2) sementes tratadas com nitrato de potássio (KNO₃) a 0, 1 g.L⁻¹ por 24 horas. As sementes foram submetidas ao teste de germinação utilizando-se as soluções de sulfato de alumínio nas concentrações de 0, 15, 30, 45 e 60 mg.L⁻¹, afim de simular o estresse por alumínio. Utilizaram-se quatro repetições de 50 sementes, em delineamento inteiramente casualizado, no arranjo fatorial 2 (KNO₃) x 5 (sulfato de alumínio). O tratamento com o KNO₃ influenciou positivamente a germinação, primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação de sementes de moringa sob condições de estresse por alumínio.

PALAVRAS-CHAVE: Vigor, fisiologia, KNO₃, sulfato de alumínio.

GERMINATION OF SEEDS OF *Moringa oleifera* Lam. TREATED WITH POTASSIUM NITRATE AND SUBMITTED TO ALUMINUM STRESS

ABSTRACT: Moringa has adaptation to climatic conditions and arid soils characteristic of semi-arid regions. However, stress conditions, such as aluminum content in the soil, cause toxicity. The objective of this work was to verify the effect of treatment with potassium nitrate (KNO₃) on the germination and vigor of moringa seeds submitted to aluminum stress. The seeds were submitted to two treatments: (1) untreated seeds - immersed for 24 hours in distilled water and (2) seeds treated with potassium nitrate (KNO₃) at 0.1 g.L⁻¹ for 24 hours. The seeds were submitted to the germination test using aluminum sulfate solutions in concentrations of 0, 15, 30, 45 and 60 mg.L⁻¹, in order to simulate the stress by aluminum. Four replications of 50 seeds were used, in a completely randomized design, in a factorial arrangement 2 (KNO₃) x 5 (aluminum sulfate). Treatment with KNO₃ positively influenced germination, first germination count and moringa seed germination speed index under conditions of aluminum stress.

KEYWORDS: Vigor, physiology, KNO₃, aluminum sulfate.

1 | INTRODUÇÃO

A moringa é considerada uma planta perene e arbórea, adaptada às condições climáticas e solos característicos de regiões semiáridas. Seu uso é bastante diversificado, incluindo desde a alimentação animal e humana, até a extração de óleos e usos medicinais (Nascimento et al., 2015).

Mesmo se tratando de uma espécie resistente às condições edafoclimáticas adversas, quando submetida a condições de estresse, como a presença de altos teores de alumínio no solo, as plantas de moringa, como as de outras espécies, apresentam toxidez. Os efeitos fitotóxicos desse elemento possuem relação com o tipo de solo, o pH, o tipo de argila predominante, a concentração de sais na solução e o teor de matéria orgânica do solo (FOY et al., 1978). Dentre os efeitos da fitotoxidez destacam-se a redução no crescimento e desenvolvimento do sistema radicular e a interferência na absorção de nutrientes e água. Contudo, o estresse ocasionado à viabilidade e vigor das sementes pode ser revertido com o uso de substâncias como o nitrato de potássio, que atua na regulação do crescimento e desenvolvimento da planta, na defesa contra patógeno e nas respostas ao estresse abiótico (SANZ et al., 2015).

Diante disso, objetivou-se com este trabalho, verificar o efeito do tratamento com nitrato de potássio (KNO₃) na germinação e vigor de sementes de moringa submetidas ao estresse por alumínio.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Frutos de moringa foram coletados ao acaso em uma mesma área com vegetação dessa espécie no município de Santo Antônio - RN (06° 18' 38" S 35° 28' 44" W) no mês de outubro de 2017. O clima da região de coleta é caracterizado como tropical, apresentando

temperatura média de 25,4 °C e classificado como Aw. Após a coleta, os frutos foram levados ao Laboratório de Análise e Pesquisa em Sementes da Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (EAJ-UFRN).

As sementes foram submetidas a dois tratamentos: (1) sementes não tratadas – imersas por 24 horas em água destilada e (2) sementes tratadas com nitrato de potássio (KNO_3) 0,1 g.L⁻¹ por 24 horas. Após serem submetidas aos tratamentos anteriormente descritos, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, no qual se usou, para umedecer o substrato, as soluções de sulfato de alumínio nas concentrações de 0 mg.L⁻¹, 15, 30, 45 e 60 mg.L⁻¹, a fim de se simular o estresse por alumínio. Utilizou-se o método do rolo de papel, no qual as sementes foram colocadas sobre papel germitest. Os rolos, após umedecimento com as diferentes concentrações e a semeadura, foram colocados dentro de sacos plásticos identificados e mantidos em câmara do tipo B.O.D a 30 °C. O teste de germinação foi realizado conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Nas avaliações foram realizadas contagens de plântulas normais aos 6 (Primeira contagem de germinação – PCG) e aos doze (Germinação) dias, com contagem da emissão da raiz primária do primeiro ao 12º dia, a fim de se obter o índice de velocidade de germinação (IVG).

Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes em delineamento inteiramente casualizado (DIC) no arranjo fatorial 2 (tratamentos nitrato de potássio) x 5 (concentrações de sulfato de alumínio). Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando significativos, efetuou-se a análise de regressão, utilizando-se o software SAS.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A germinação e os parâmetros relacionados ao vigor das sementes de moringa avaliados neste trabalho apresentaram influência do tratamento com nitrato de potássio nas condições de estresse simulado com o sulfato de alumínio. Observou-se que as sementes tratadas alcançaram valores de germinação superiores àqueles obtidos pelas sementes não tratadas nas diferentes concentrações com o sulfato de alumínio (Figura 1).

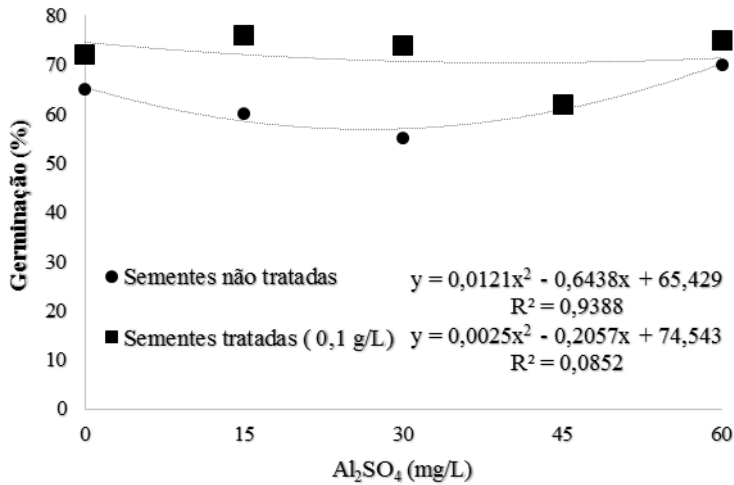


Figura 1. Germinação (%) de sementes de moringa não tratadas e tratadas com nitrato de potássio (KNO_3) e submetidas a diferentes concentrações de sulfato de alumínio (Al_2SO_4).

A primeira contagem de germinação (PCG) e o índice de velocidade de germinação (IVG) apresentaram o mesmo comportamento que a germinação, apresentando resultados superiores quando as sementes foram submetidas ao tratamento com nitrato de potássio, para ambas as variáveis (Figuras 2 A e B). Quanto à exposição das sementes às concentrações do Al_2SO_4 observou-se que, para o PCG (Figura 2 A) a velocidade de germinação foi superior nas sementes não tratadas em todas as concentrações, mas não houve variação entre elas, mantendo-se próxima desde a concentração de 0 até a de 60 $mg.L^{-1}$. Esta mesma resposta foi observada quando se avaliou a velocidade de germinação pelo IVG (Figura 2 B), corroborando o efeito positivo do tratamento de sementes de moringa com nitrato de potássio, em comparação as sementes não tratadas.

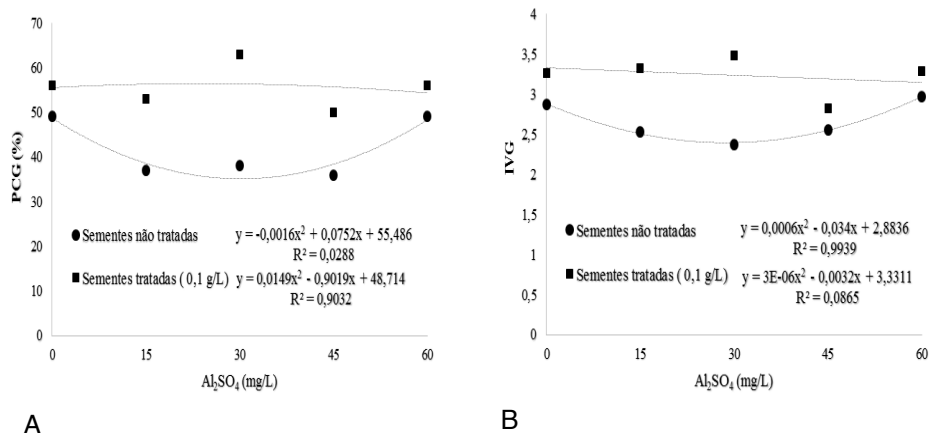


Figura 2. Primeira contagem de germinação (A) e Índice de velocidade de germinação (B) de sementes de moringa não tratadas e tratadas com nitrato de potássio (KNO₃) e submetidas a diferentes concentrações de sulfato de alumínio (Al₂SO₄).

Em suas pesquisas, Costa et al. (2014) observaram que concentrações mais elevadas de sulfato de alumínio afetaram igualmente três cultivares de *Cucurbita máxima*, porém, a intensidade do efeito do alumínio sobre a velocidade de germinação das sementes de cada cultivar foi diferente.

4 | CONCLUSÃO

O tratamento de sementes de moringa com KNO₃ influenciou positivamente a germinação, primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação de sementes de moringa sob estresse com alumínio, melhorando o desempenho das sementes mesmo quando submetidas às diferentes concentrações de sulfato de alumínio.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.

COSTA, J.C.; Krüger, F.O.; Martins, A.B.N.; Santos, F.F.; Vaz, C.F.; Ribeiro, P.R.G.; Franco, D.F. **Germinação e desenvolvimento de plântulas de abóbora na presença de alumínio**. Pelotas: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, 2014 19 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/992017/1/Boletim194web.pdf>> Acesso em: 29 Mar. 2018.

FOY, C.D.; Chaney, R.L.; White, M.C. **The Physiology of Metal Toxicity in Plants**. Annual Review Of Plant Physiology, [s.l.], v. 29, n. 1, p.511-566, 1978. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.pp.29.060178.002455>.

NASCIMENTO, V.R.; Biagi, J.D.; Oliveira, R.D. **Modelagem matemática da secagem convectiva com radiação infravermelha de grãos de *Moringa oleifera***. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, v. 19, n. 7, p. 686-692. 2015.

SANZ, L.; Albertos P.; Mateos I.; Sánchez-Vicente I.; Lechón T.; Fernández-Marcos M.; Lorenzo O. **Nitric oxide (NO) and phytohormones crosstalk during early plant development**. Journal Of Experimental Botany, [s.l.], v. 66, n. 10, p.2857-2868, 2015. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erv213>.

CAPÍTULO 4

BIOMETRIA DIGITAL E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE *Leucaena leucocephala* WIT. EM FUNÇÃO DA SUA POSIÇÃO NO FRUTO

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 07/12/2020

Marcio Dias Pereira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/2969947409452499>

Thiago Pereira de Paiva Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/2938721699550222>

Amanda Karoliny Fernandes Ramos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/1072861239962163>

Jackson Araújo Silva

Universidade Federal de Viçosa

Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/6798387232122725>

Josefa Patricia Balduino Nicolau

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/0918426519253681>

André Dantas de Medeiros

Universidade Federal de Viçosa

Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/1407806252283644>

Kelem Cristiany Nunes Silva

Universidade Federal Rural do Semiárido

Mossoró-RN

<http://lattes.cnpq.br/5386828818457449>

Francisco Eudes da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal-RN

<http://lattes.cnpq.br/1887581150753179>

RESUMO: A leucena é uma espécie florestal com ampla utilização e importância econômica. Estudos relativos à biometria e qualidade fisiológica de sementes dessa espécie podem contribuir para o desenvolvimento de técnicas eficientes quanto à produção de mudas, manejo, conservação e restauração ambiental. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da posição da semente de leucena no fruto em suas características biométricas, avaliadas por meio do processamento digital de imagens, e na sua qualidade fisiológica. Os frutos foram separados em três regiões: apical, medial e basal, avaliando-se, para cada uma dessas regiões, as características biométricas das sementes, por meio do processamento digital de imagens, utilizando-se o software ImageJ, além da sua viabilidade e vigor. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições de 50 sementes. As variáveis biométricas que apresentaram diferença estatística quando se comparou as sementes oriundas das regiões dos frutos foram largura, perímetro e circularidade. Nos testes de germinação e vigor não se observou diferença significava entre os tratamentos. As sementes de leucena avaliadas apresentaram diferenças físicas, mas não fisiológicas em função de sua posição no fruto.

PALAVRAS-CHAVE: Imagens, germinação, fisiologia, leucena.

DIGITAL BIOMETRICS AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF *Leucaena leucocephala* WIT SEEDS. DEPENDING ON ITS POSITION IN THE FRUIT

ABSTRACT: *Leucena* is a forest species with wide use and economic importance. Studies related to the biometrics and physiological quality of seeds of this species can contribute to the development of efficient techniques regarding seedling production, management, conservation and environmental restoration. The objective of the present work was to evaluate the effect of the *leucena* seed position in the fruit on its biometric characteristics, evaluated through digital image processing, and on its physiological quality. The fruits were separated into three regions: apical, medial and basal, evaluating, for each of these regions, the biometric characteristics of the seeds, through digital image processing, using the ImageJ software, in addition to their viability and force. The design used was completely randomized, with four replications of 50 seeds. The biometric variables that showed statistical difference when comparing the seeds from the fruit regions were width, perimeter and circularity. In germination and vigor tests there was no significant difference between treatments. The *leucena* seeds evaluated showed physical, but not physiological, differences due to their position in the fruit.

KEYWORDS: Images, germination, physiology, leucena.

1 | INTRODUÇÃO

A leucena (*Leucaena leucocephala* Wit.) é uma espécie importante economicamente no que tange à obtenção de madeira e celulose, forragem para animais e adubação verde. As plantas desta espécie atuam na simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos do solo, sendo, portanto, utilizadas na recuperação de áreas florestais (ALVES et al., 2014).

Diante de sua importância econômica, estudos relativos ao seu comportamento, adaptação e fisiologia são de grande importância. Nesse sentido, análises biométricas podem revelar características inerentes aos frutos e sementes quanto ao potencial de germinação e vigor de espécies florestais. Essa descrição é relevante para interpretações de dados referentes à regeneração natural do ciclo biológico das espécies, ao manejo e conservação das espécies e no auxílio ao desenvolvimento de técnicas eficientes para a produção de mudas contribuindo para o desenvolvimento de programas de conservação e restauração ambiental (COSMO et al., 2017).

A germinação de sementes é um processo dependente de fatores internos e externos às sementes. Quanto aos fatores internos, citam-se as reservas nutricionais, permeabilidade do tegumento, formação do embrião e a presença de substâncias promotoras ou inibidoras. O armazenamento equilibrado de nutrientes nas sementes é um fator de extrema importância no processo germinativo, podendo, a qualidade fisiológica ser influenciada pela posição destas no fruto, uma vez que há diferenças na sequência da fertilização dos óvulos em decorrência da proximidade à fonte de nutrientes da planta mãe (MARCOS FILHO, 2015).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da posição da semente de leucena

no fruto em suas características biométricas, avaliadas por meio do processamento digital de imagens, e na sua qualidade fisiológica.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se frutos e sementes coletados na área de vegetação natural pertencente à Escola Agrícola de Jundiá, localizada no município de Macaíba - RN (5°53'59.7"S 35°21'25.0"W), no mês de novembro de 2017 e levados imediatamente ao laboratório. A região se caracteriza pelo clima tropical, com temperatura média anual de 25,8 °C e 1134 mm de pluviosidade distribuída durante o ano.

Inicialmente, os frutos foram separados em três partes: (1) apical – contaram-se cinco sementes a partir do ápice; (2) medial – sementes compreendidas entre as regiões apical e basal e (3) basal – contaram-se cinco sementes a partir da base ligada ao pedúnculo do fruto, como pode ser observado na Figura 1.

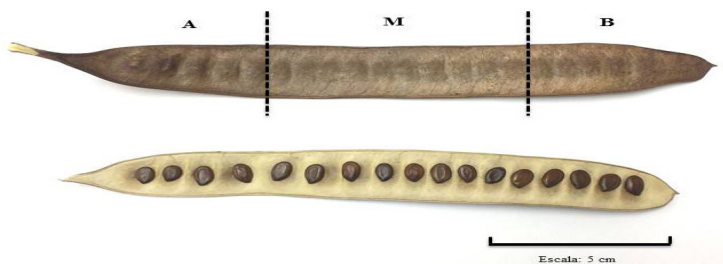


Figura 1- Fruto de leucena evidenciando as regiões: apical (A), medial (M) e basal (B).

Para a análise biométrica das sementes, realizou-se a pesagem de 200 (quatro repetições de 50) sementes, em balança analítica de precisão 0,001 mg, provenientes de cada uma das três classes descritas anteriormente, em função de sua posição nos frutos. Para os demais parâmetros biométricos utilizou-se a análise digital de imagens, com auxílio do programa ImageJ.

As sementes de cada região do fruto foram dispostas em folhas de papel branco, tipo A4, mantendo-se distância entre elas e utilizando uma régua de 30 cm como escala métrica para leitura pelo software. As imagens foram transferidas para um computador e as etapas para a análise das imagens no software foram executadas seguindo os seguintes passos: Abertura da imagem; definição de escala, conversão para o tipo escala de cinza 8 bits (256 tons), seleção da área de interesse para a análise, e neste caso, realizou-se a análise de cada semente utilizando máscara de *threshold*, por diferença de contraste. Após este procedimento, foram selecionados os parâmetros área, diâmetro, largura, comprimento, perímetro e circularidade.

As sementes de cada região do fruto também foram submetidas ao teste de germinação pelo método do rolo de papel umedecido com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso total do papel. Os rolos foram colocados dentro de sacos plásticos identificados e mantidos em câmara do tipo B.O.D a 30 °C. O teste de germinação foi realizado conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) com avaliações de plântulas normais aos seis e aos dez dias, com contagem da emissão da raiz primária do primeiro ao 10º dia.

Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes para cada região do fruto analisada (apical, medial e basal) em delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando significativo, efetuou-se a comparação de médias das regiões do fruto para cada variável avaliada pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade, utilizando-se o software SAS.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do peso e da análise digital de imagens das sementes de leucena, observou-se que apenas as variáveis: largura, perímetro e circularidade; apresentaram diferença estatística entre as médias das três regiões do fruto avaliadas conforme Tabela 1.

	Peso (g)	Área (mm ²)	Diâmetro (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Perímetro (mm)	Circularidade
Ápice	12,492	36,25	15,0	7,71 a	9,26	23,29 a	0,83 b
Meio	12,427	36,66	14,99	7,63 ab	8,93	23,37 a	0,84 b
Base	11,698	35,07	15,22	7,26 b	9,02	22,49 b	0,86 a
F		2,67 ^{ns}	0,28 ^{ns}	5,73*	0,0 ^{ns}	9,0*	71,0*
CV%		2,81	3,27	2,66	60,15	1,40	0,47

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}= Não significativo; * = significativo

Tabela 1 - Valores médios de peso (mg), área (mm²), diâmetro (mm), largura (mm), comprimento (mm), perímetro (mm) e circularidade de sementes de leucena em função da sua posição no fruto.

Quanto aos parâmetros de largura e perímetro, as sementes da base apresentaram valores menores, enquanto para a circularidade, essas sementes apresentaram maior valor. Essas variações em alguns parâmetros podem ter relação com fatores fisiológicos, variabilidade genética e condições ambientais. Lafetá et al. (2017), avaliando aspectos biométricos de sementes de leucena concluíram que os parâmetros estudados podem ser recomendados para auxiliar na diferenciação de espécies do gênero *Leucaena*.

A partir dos resultados obtidos no teste de germinação, observou-se que não houve diferença significativa, quando se avaliou a velocidade de germinação, entre as sementes das diferentes regiões do fruto (Tabela 2). Esse resultado contrapõe-se aos obtidos por Oliveira et al. (1997), que estudaram sementes de leucena extraídas de posições diferentes nos frutos e verificaram que houve diferença de qualidade fisiológica entre as sementes obtidas na região basal, que apresentaram maior vigor, e as sementes das demais regiões do fruto.

	G (%)	PCG (%)	IVG
Ápice	87,0	86,5	19,56
Meio	89,5	88,0	19,61
Base	85,5	85,0	19,39
F	0,37 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,04 ^{NS}
CV%	7,57	7,77	5,56

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade^{NS}= Não significativo; * = significativo

Tabela 2 – Valores médios da germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG) e índice de velocidade de germinação (IVG) para sementes de leucena em função da sua posição no fruto.

4 | CONCLUSÃO

As sementes apresentaram diferenças em sua largura, perímetro e circularidade em função de sua posição no fruto, a partir da análise biométrica digital, porém não se observou diferença na viabilidade e no vigor das sementes em função de sua posição no fruto.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. S.; Reis, L. B. O.; Silva, E. K. C.; Fabricante, J. R.; Siqueira Filho, J. A. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. In: FABRICANTE, J. R. **Plantas exóticas e exóticas invasoras da Caatinga**. Florianópolis: Bookes, 2014. v. 4, p. 13-18.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.

COSMO, N.L.; Gogosz, A.M.; Rego, S.S.; Nogueira, A.C.; Kuniyosh, Y.S. **Morfologia de fruto, semente e plântula, e germinação de sementes de *Myrceugenia euosma* (O. BERG) D. LEGRAND (MYRTACEAE)**. Floresta, v. 47, n. 4, p.479-488, 2017. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/ff.v47i4.46933>.

LAFETÁ, B.O.; Gonçalves, F.C.; Pereira, M.B.; Mendanha, T.N.; Nascimento, P. **Biometria e superação da dormência em sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit/Biometry and dormancy break of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit seeds.** Caderno de Ciências Agrárias, v.9, n.3, p.76-83, 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/9722-23382-1-PB.pdf> Acesso em: 29 Mar. 2018.

MARCOS FILHO, J. **Seed physiology of cultivated plants.** Piracicaba: EALQ, 2015. 389p.

OLIVEIRA, O.F.; Morais, P.L.D. **Influência da posição da semente (no fruto) na germinação e no desenvolvimento vegetativo inicial de Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) e Algarobeira (*Prosopis juliflora* (SW.) DC.).** Revista Caatinga, v.10, n.1/2, p.55-62, 1997. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/2494-7744-1-SM.pdf> Acesso em: 29 Mar. 2018.

ESTRUTURA FAMILIAR E ESTIMATIVAS DE BLUPS EM ESPÉCIES COM O SISTEMA MISTO DE REPRODUÇÃO

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 09/09/2020

Evandro Vagner Tambarussi

Universidade Estadual do Centro-Oeste
UNICENTRO
Irati, PR, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3021997145272130>
<http://orcid.org/0000-0001-9478-5379>

Lucas Mateus Domingues da Silva

Universidade Estadual do Centro-Oeste
UNICENTRO
Irati, PR, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0515452735403576>

Osmarino Pires dos Santos

CMPC Company
Guaíba, RS, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1148060829429730>

Dandara Yasmim Bonfim de Oliveira Silva

Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” (FCA/UNESP)
Botucatu - SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0590440452925137>

Lucas Fernandes Rocha

Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” (FCA/UNESP)
Botucatu - SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1499134273942358>

Fabiana Schmidt Bandeira Peres

Universidade Estadual do Centro-Oeste
UNICENTRO
Irati, PR, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7693284421776611>

RESUMO: Frequentemente, em programas de melhoramento, as espécies de *Eucalyptus* são tratadas como espécies alógamas, negligenciando o sistema misto de reprodução que possuem e gerando estimativas de parâmetros incorretas. Deste modo, a presente pesquisa visou entender o controle genético em diferentes cenários de parentesco para uma população de *Eucalyptus benthamii*, como estudo de caso. A base de dados consistiu em um teste de progênie de *E. benthamii* aos 2,6 anos de idade. O caráter avaliado foi o diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura (m), densidade básica e o incremento médio anual (IMA). Os parâmetros genéticos foram estimados considerando cinco cenários de parentesco, além disto, foram estimados os ganhos genéticos por seleção para cada cenário. A variância genética aditiva apresentou alta variação entre os cenários (de 28,92 a 42,03%), o que gerou alta variação também na herdabilidade no sentido restrito (de 28,34 a 41,73%). O coeficiente de variação residual apresentou menor variação entre os cenários, aproximadamente 8% e acurácia seletiva variou entre moderada a alta entre os cenários e caracteres. A correlação genética foi alta e estatisticamente significativa, aproximadamente 0,90, entre os caracteres de crescimento IMA, DAP e altura total, e negativa para densidade básica. O ordenamento dos melhores indivíduos, por melhor preditor linear não viesado (BLUP), se diferenciou entre os cenários, mostrando que o parentesco afeta na seleção.

PALAVRAS-CHAVE: Matriz de parentesco; correlação genética; ganho genético.

FAMILY STRUCTURE AND BLUP ESTIMATES IN MIXED MATING SPECIES

ABSTRACT: In genetics studies, *Eucalyptus* species are often treated as perfectly allogamous, which ignores their mixed mating system and can generate incorrect estimates of studied parameters. Thus, the present study aimed to assess genetic control under different kinship scenarios for a *Eucalyptus benthamii* population. The database consisted of an *E. benthamii* progeny test at 2.5 years of age, and the evaluated traits included diameter at breast height (DBH), total height, basic density, and mean annual increment (MAI). The genetic parameters were estimated considering five different kinship scenarios. Furthermore, genetic gains by selection for each scenario and genetic correlation between the characteristics were also estimated. The additive genetic variance showed high levels of variation between scenarios (28.92 to 42.03%), which generated elevated levels of variation for narrow-sense heritability (28.34 to 41.73%). The residual coefficient of variation showed limited variation between scenarios, at approximately 8.0% for all traits and selection accuracy ranged from moderate to high between scenarios and traits. Genetic correlation was high and statistically significant, approximately 0.90, between the growth traits of IMA, DAP and total height, and negative for basic density. The best linear unbiased estimator (BLUP) ranking of the best individuals differed between scenarios, showing that kinship affects selection. Genetic gains per selection ranged among scenarios from 10.74 to 44.02%.

KEYWORDS: Kinship matrix; genetic correlation; genetic gains.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de forte base agroindustrial, em que o setor florestal tem grande destaque, com aproximadamente 7,8 milhões de hectares de florestas plantadas (IBÁ, 2019). Com a crescente evolução deste setor, o melhoramento genético de espécies e bases de conservação genética florestais têm mostrado suma importância para o avanço da produtividade ao longo de gerações, realizados por meio de estimativas de parâmetros genéticos com a ferramenta da genética quantitativa e a seleção recorrente.

O gênero *Eucalyptus* tem se mostrado o mais utilizado em plantios nacionais, justamente por ser um gênero com espécies adaptáveis a diferentes regiões climáticas do país, que apresentam alta produtividade e resistência a condições adversas. Soma-se a isso que, para muitas espécies de importância econômica pertencentes ao gênero, existe um maior avanço em relação ao melhoramento genético das espécies (Grattapaglia et al., 2012).

Os programas de melhoramento genético avançaram significativamente em diversas regiões do mundo, visando aumento de alelos favoráveis para crescimentos mais acentuados, resistência a pragas, resistência à climas inóspitos, como secos e frios, e de adaptações à demanda industrial. Frente ao atual cenário, é frequente o uso conjunto das ferramentas de genética quantitativa e genômica, as quais possibilitam utilizar informações mais detalhadas sobre a população trabalhada, inclusive com relação ao parentesco (Grattapaglia et al., 2018).

No entanto, os programas de melhoramento e estudos genéticos deste gênero costumam assumir que os indivíduos que compõem suas populações se reproduzem por panmixia (Eldridge et al., 1993; Tambarussi et al., 2018), ou seja, parte-se do pressuposto de que a planta mãe foi fecundada por diferentes indivíduos (genitor masculino) e não houve qualquer tipo de autofecundação, de modo a inferir que as espécies de *Eucalyptus* são alógamas perfeitas.

O sistema reprodutivo de plantas pode variar entre completamente autóгамas e completamente alógamas, sendo que as espécies que se encaixam no meio termo, são consideradas mistas. Sendo assim, o sistema reprodutivo de grande parte das espécies de *Eucalyptus* é misto, em outras palavras, a taxa de cruzamento é bastante variável entre as espécies e entre os indivíduos da população. Estudos mostram valores de taxa de cruzamento variando entre 0,45 até 0,96 (Eldridge et al., 1993; Fuchs et al., 2015). Isto mostra que considerar as espécies deste gênero como alógamas perfeitas é inadequado.

A abordagem dessa discussão não é recente, Squillace (1974) já questionava considerar espécies alógamas perfeitas em estudos e quais problemas essa suposição poderia acarretar. O erro gerado na estimativa da variância genética aditiva (σ_A^2) ocorre, pois, ao considerar alogamia o coeficiente de parentesco entre meias-irmãs é de $\frac{1}{4}$. No entanto, considerando o sistema de reprodução real, o coeficiente de parentesco é alterado e a estimativa da variância genética aditiva se torna mais confiável (Bush et al., 2011; Tambarussi et al., 2020).

Não considerar o parentesco real no processo de melhoramento, e conseqüentemente encontrar estimativas de variância genética aditiva muito acima das reais, o melhorista pode estar superestimando os ganhos e conduzindo o programa à um processo de depressão endogâmica, o que pode gerar mortalidade e perda de produtividade ao longo das gerações (Borralho, 1994; Costa e Silva, 2010). A estimativa incorreta da variância genética aditiva e da herdabilidade no sentido restrito são muito prejudiciais, uma vez que estes são os parâmetros que mais merecem atenção em programas de melhoramento. Para o bom desenvolvimento do programa de melhoramento genético, os caracteres de interesse devem ter alta herdabilidade e variação genética, facilitando o ato da seleção. Com base nisso, é de extrema importância que a estimativa seja a mais correta possível.

Para minimizar este problema, a utilização do parentesco vem sendo realizada, de modo a inseri-lo no modelo da análise. Atualmente, com a seleção genômica, tais matrizes de parentesco têm ficado cada vez mais acuradas e permitido economia significativa de tempo entre os ciclos de seleção (Mphahlele et al., 2020).

Além da melhor estimativa de valores de variância genética aditiva e herdabilidade, a inserção da informação de parentesco melhora significativamente a estimativa dos *Best Linear Unbiased Prediction* (BLUP), ou valores genéticos aditivos, gerando uma seleção muito mais acurada (Piepho et al., 2008). Com a melhor acurácia das estimativas de BLUP, a capacidade preditiva se torna mais realista e, deste modo, melhores ganhos podem ser

obtidos (Zhang et al., 2010; Kerr et al., 2012).

Para a obtenção dos dados de composição da matriz de parentesco são utilizadas informações de genealogia (*pedigree*) ou uso marcadores moleculares, sendo que o segundo é preferencialmente utilizado e se mostra uma ferramenta bastante confiável, com capacidade de gerar estimativas de parâmetros mais realistas (Bush et al., 2015).

Conforme o comentado, quando estimamos a variância genética, por exemplo, para progênies de polinização aberta ou meio-irmãs o que tem sido admitido para espécies de *Eucalyptus* é $\sigma_A^2 = 4 \sigma_p^2$, pois, segundo Cockerham e Weir (1984):

$$\begin{aligned}\sigma_p^2 &= 2\theta\sigma_A^2 + 0 + 0\sigma_D^2 + 0D_1 + 0D_2 + 0H^2 \\ &= \sigma_A^2 = \frac{\sigma_p^2}{2\theta}.\end{aligned}$$

Em espécies perfeitamente alógamas, o coeficiente de endogamia (F) é igual a zero e o parentesco (θ) é igual a 1/8 (0,125). Assim, somente neste caso, $\sigma_A^2 = \frac{\sigma_p^2}{2 \cdot \frac{1}{8}} = 4\sigma_p^2$, ou seja, $\sigma_A^2 = 4 \sigma_p^2$.

No entanto, para os *Eucalyptus* o cálculo mais adequado de σ_A^2 admitindo sistema misto de reprodução e dois alelos por loco, é:

$$\sigma_p^2 = a\sigma_A^2 + b\sigma_D^2 + cD_1 + dD_2^* + eH^2.$$

A saber, $a = \frac{(1+3F)^2}{4(1+F)}$ e para isolar σ_A^2 poderíamos escrever:

$$\begin{aligned}\sigma_p^2 &= (a/a)\sigma_A^2 + (b/a)\sigma_D^2 + (c/a)D_1 + (d/a)D_2^* + (e/a)H^2 = \\ &= \frac{4(1+F)}{(1+3F)^2} \sigma_p^2\end{aligned}$$

$\sigma_p^2 + \hat{V}$; onde σ_A^2 = Variância genética aditiva, σ_p^2 = Variância fenotípica entre progênies, F = coeficiente de endogamia D_1 = covariância entre os efeitos aditivos e os desvios de dominância dos homozigotos, D_2^* = variância dos desvios de dominância dos homozigotos, H^2 = quadrado da depressão endogâmica e \hat{V} é um viés e como se percebe, não facilmente estimável quando não se tem delineamentos genéticos apropriados.

Nota-se dessa forma, que uma população com sistema misto é bastante complexa principalmente em relação à taxa de endogamia natural das plantas que a compõem. Essa complexidade genética dificulta as pesquisas sobre os componentes da variação genotípica (σ_G^2) de um caráter em uma população sob melhoramento. Cockerham e Weir (1984) tiveram que acrescentar esses três componentes para explicar (σ_G^2), além da variância aditiva (σ_A^2) e a de dominância (σ_D^2). Com dois alelos por loco são necessárias apenas mais três componentes conforme mencionado, admitindo-se ausência de epistasia. Estas

componentes são D_1 , D_2^* e H^2 e não havendo dominância, $\sigma_D^2 = D_1 = D_2^* = H^2 = 0$.

Outra consequência dessa estrutura genética complicada é a maior dificuldade em estimar o progresso esperado com a seleção. Houve inclusive a necessidade de redefinir o coeficiente de herdabilidade no sentido restrito (h^2) que passou a ser: $h^2 = \frac{C}{\sigma_F^2}$; sendo: $C = \frac{2}{2-s} \left[\sigma_A^2 + \frac{s(3-s)}{2-s} D_1 + \frac{s^2}{2(2-s)} D_2^* \right]$ (Wright e Cockerham, 1985), admitindo equilíbrio de endogamia, situação em que $F = \frac{s}{2-s}$.

Nesta expressão de herdabilidade o parâmetro “s” é a taxa natural de autofecundação, ou seja, $s = 1 - t$ e σ_F^2 é a variância fenotípica do caráter entre as plantas da população sob seleção.

Quanto à resposta à seleção, há dois tipos em qualquer esquema, a saber:

i) resposta imediata e ii) resposta permanente. A alternativa i) sendo a esperada logo na geração seguinte à seleção e a alternativa ii) aquela que é atingida quando a população retornar ao equilíbrio de endogamia, após o término do dado ciclo seletivo.

De qualquer forma, vale observar que o progresso permanente, em qualquer esquema de seleção recorrente em população mista, é função de σ_A^2 , D_1 e D_2^* apenas. Na estimação dos componentes de σ_G^2 deve-se, portanto, pensar em delineamentos genéticos, que permitam estimar estas três componentes, além da variância fenotípica inerente à unidade de seleção.

Resende et al. (1995) mostraram ser possível obter estimativas conservativas, ou seja, que são menores do que o valor real não viesado para dados experimentais de avaliação de progênies de polinização livre. O que esses autores não mostraram é o viés dessas estimativas aproximadas do progresso esperado.

Vencovsky et al. (2001) dão uma descrição detalhada dos aspectos teóricos e aplicados da genética quantitativa em espécies mistas. Trata-se de texto voltado aos interesses de melhoristas. Resende (2002) fez o mesmo em seu livro e aborda essencialmente o melhoramento de plantas perenes. Numa revisão mais detalhada sobre o assunto não foram encontrados trabalhos tratando especificamente da estimação e utilização das novas componentes de σ_G^2 . Há uma publicação de Ghai (1982) que é inicial e menos abrangente. Esta foi posteriormente aprimorada por Cockerham e Weir (1984) num trabalho que hoje é a principal referência na área de genética quantitativa em espécies mistas. Ressaltamos, desta forma, a importância de tal pesquisa no âmbito florestal.

ESTUDO DE CASO

A base de dados utilizada no presente estudo, foi obtida a partir de avaliações realizadas em um teste de progênie de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage situado no Horto Florestal (Tabela 1), no município de Sertão Santana-RS. As sementes das progênies, foram coletadas em um pomar de sementes por muda (PSM), em área de

polinização aberta.

Características	Horto Florestal
Latitude	30° 30' 41.371" S
Longitude	51° 31' 42.035" W
Altitude (m)	115
Município	Sertão Santana - RS
Classificação do solo	Argisolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico
Fertilidade	Média
Relevo	Ondulado e Suave Ondulado
Temperatura média (°C)	19,8
Temperatura mínima (°C)	2,0
Temperatura máxima (°C)	37,3
Umidade relativa (%)	83,1
Risco de geada	Baixo
Precipitação (mm)	1.735

Tabela 1. Condições edafoclimáticas do teste de progênie de *Eucalyptus benthamii* do Horto Florestal, no município de Sertão Santana-RS.

O espaçamento utilizado no teste de progênie foi de 3,4 x 2,2 m, e os caracteres avaliados foram diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total (H, m), incremento médio anual (IMA, m³/ha/ano) e Densidade básica (Db, kg/m³), aos 2,5 anos de idade. O delineamento experimental utilizado foi o de uma planta por parcela, com 24 progênies de *E. benthamii* e uma testemunha comercial da mesma espécie, em 20 repetições.

As análises genéticas e estatísticas foram realizadas no *software* RStudio (R Core Team, 2018), com auxílio do pacote de modelos mistos e genômica “*Sommer*” (Pazaran, 2016). As análises foram realizadas pelo método REML/BLUP conforme o seguinte modelo misto:

$$y = Xb + Za + e$$

Onde: *b*: Efeito fixo associado aos blocos; *a*: Efeito aleatório associado à variância genética aditiva; *e*: Efeito residual (erro); *X* e *Z* são as matrizes de incidência dos efeitos.

No entanto, o modelo foi analisado cinco vezes, considerando diferentes cenários

na matriz de parentesco (Tabela 2), de modo a ajustar o coeficiente de parentesco e, por sua vez, ajustar a variância genética aditiva com o intuito de avaliar o efeito de parentesco nas estimativas de parâmetros genéticos e BLUPs.

Cenários	Parentesco (%)		
	Meio Irmão	Irmão Completo	Autofecundado
1	100	0	0
2	90	10	0
3	90	0	10
4	80	10	10
5	50	0	50

Tabela 2. Cenários de parentesco utilizados para ajuste da variância genética aditiva, obtida no modelo misto para o teste de progênie de *Eucalyptus benthamii*, aos 2,5 anos de idade, no município de Sertão Santana-RS.

Os componentes de variância extraídos do modelo foram: σ_a^2 : Variância genética aditiva (ajustada em cada cenário), σ_e^2 : Variância residual, σ_p^2 : Variância entre progênies e σ_f^2 : Variância fenotípica. Com isto, os seguintes parâmetros foram estimados:

$$\text{Herdabilidade no sentido restrito: } h_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_f^2}$$

$$\text{Herdabilidade média: } h_m^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_p^2 + \frac{\sigma_e^2}{n.r}}$$

$$\text{Acurácia de seleção: } AC = \sqrt{h_a^2}$$

$$\text{Coeficiente de variação genético entre progênies: } CV_p (\%) = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{x}} \cdot 100$$

$$\text{Coeficiente de variação genético individual: } CV_{gi} (\%) = \frac{\sqrt{\sigma_a^2}}{\bar{x}} \cdot 100$$

$$\text{Coeficiente de variação experimental: } CV_e (\%) = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\bar{x}} \cdot 100$$

Após a estimativa dos parâmetros acima, foi estimado o coeficiente de variação entre os valores encontrados para cada cenário, com o objetivo de observar a variação dos valores obtidos entre os cenários:

$$\text{Coeficiente de variação entre os cenários: } CV (\%) = \frac{\sqrt{\sigma^2}}{\bar{x}} \cdot 100$$

A correlação genética foi estimada por meio da metodologia proposta por Vencovsky e Barriga (1992) para todos os caracteres avaliados, sendo possível entender como a seleção em um caractere influencia os demais.

Além disto, foram estimados os componentes BLUPs (melhor predição linear não viesada) individuais para o caractere incremento médio anual (IMA) para cada cenário (Tabela 2), possibilitando o entendimento e comportamento dos melhores indivíduos selecionados em função do parentesco atribuído. O ganho genético foi estimado conforme proposto por Lush (1937):

$$\hat{G}_s = d_s h_a^2$$

onde, \hat{G}_s corresponde a estimativa do ganho genético, d_s é o diferencial de seleção e h_a^2 a herdabilidade individual no sentido restrito. O diferencial de seleção foi calculado da seguinte forma: ($d_s = \bar{x}_s - \bar{x}_0$, onde \bar{x}_s é a média dos indivíduos selecionados e o \bar{x}_0 , média da população original na qual foi praticado a seleção).

Após obter as estimativas do ganho genético, foi calculado o ganho de seleção percentual: $G_{s(\%)} = \frac{G_s}{\bar{x}_0} \cdot 100$ e a média da população melhorada: $P_m = \bar{x}_0 + G_s$.

Para exemplificação da análise realizada no estudo de caso, foi elaborado um script para as análises utilizando o *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2016). O *script* (Quadro 1) foi organizado para análise dos dados apresentados na Tabela 3, no entanto, o mesmo pode ser aplicado e/ou modificado para outros experimentos com maior número de blocos, progênies, indivíduos por parcela e para outras espécies e mesmo diferentes delineamentos experimentais. Assim como o script, a matriz de parentesco dos indivíduos utilizada para as análises de exemplificação (50% meios-irmãos e 50% autofecundado) (Tabela 2, cenário 5) e o *output* do software com os resultados do ajuste do modelo linear misto utilizando o conjunto de dados apresentados na Tabela 3, também estão apresentados a seguir, nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

Ind	Rep	Prog	Arv	DB	Ind	Rep	Prog	Arv	DB	Ind	Rep	Prog	Arv	DB
ID001	1	1	1	468.23	ID041	1	3	1	422.92	ID081	1	5	1	437.02
ID002	2	1	1	422.92	ID042	2	3	1	437.02	ID082	2	5	1	485.58
ID003	3	1	1	546.27	ID043	3	3	1	524.42	ID083	3	5	1	437.02
ID004	4	1	1	422.92	ID044	4	3	1	422.92	ID084	4	5	1	374.59
ID005	5	1	1	452.09	ID045	5	3	1	485.58	ID085	5	5	1	NA
ID006	6	1	1	485.58	ID046	6	3	1	468.23	ID086	6	5	1	437.02
ID007	7	1	1	524.42	ID047	7	3	1	422.92	ID087	7	5	1	409.71
ID008	8	1	1	468.23	ID048	8	3	1	409.71	ID088	8	5	1	385.61
ID009	9	1	1	452.09	ID049	9	3	1	485.58	ID089	9	5	1	524.42
ID010	10	1	1	NA	ID050	10	3	1	NA	ID090	10	5	1	NA
ID011	11	1	1	485.58	ID051	11	3	1	485.58	ID091	11	5	1	397.29
ID012	12	1	1	422.92	ID052	12	3	1	385.61	ID092	12	5	1	485.58
ID013	13	1	1	437.02	ID053	13	3	1	409.71	ID093	13	5	1	437.02
ID014	14	1	1	NA	ID054	14	3	1	NA	ID094	14	5	1	397.29

ID015	15	1	1	468.23	ID055	15	3	1	570.03	ID095	15	5	1	374.59
ID016	16	1	1	624.31	ID056	16	3	1	452.09	ID096	16	5	1	NA
ID017	17	1	1	437.02	ID057	17	3	1	504.25	ID097	17	5	1	374.59
ID018	18	1	1	452.09	ID058	18	3	1	452.09	ID098	18	5	1	NA
ID019	19	1	1	452.09	ID059	19	3	1	452.09	ID099	19	5	1	NA
ID020	20	1	1	468.23	ID060	20	3	1	409.71	ID100	20	5	1	452.09
ID021	1	2	1	437.02	ID061	1	4	1	437.02	ID101	1	6	1	NA
ID022	2	2	1	437.02	ID062	2	4	1	422.92	ID102	2	6	1	NA
ID023	3	2	1	452.09	ID063	3	4	1	437.02	ID103	3	6	1	397.29
ID024	4	2	1	452.09	ID064	4	4	1	422.92	ID104	4	6	1	397.29
ID025	5	2	1	397.29	ID065	5	4	1	468.23	ID105	5	6	1	452.09
ID026	6	2	1	397.29	ID066	6	4	1	NA	ID106	6	6	1	468.23
ID027	7	2	1	NA	ID067	7	4	1	452.09	ID107	7	6	1	452.09
ID028	8	2	1	452.09	ID068	8	4	1	452.09	ID108	8	6	1	504.25
ID029	9	2	1	437.02	ID069	9	4	1	437.02	ID109	9	6	1	422.92
ID030	10	2	1	409.71	ID070	10	4	1	437.02	ID110	10	6	1	437.02
ID031	11	2	1	437.02	ID071	11	4	1	468.23	ID111	11	6	1	485.58
ID032	12	2	1	397.29	ID072	12	4	1	422.92	ID112	12	6	1	452.09
ID033	13	2	1	437.02	ID073	13	4	1	422.92	ID113	13	6	1	437.02
ID034	14	2	1	NA	ID074	14	4	1	385.61	ID114	14	6	1	385.61
ID035	15	2	1	364.18	ID075	15	4	1	437.02	ID115	15	6	1	374.59
ID036	16	2	1	452.09	ID076	16	4	1	397.29	ID116	16	6	1	409.71
ID037	17	2	1	524.42	ID077	17	4	1	385.61	ID117	17	6	1	NA
ID038	18	2	1	409.71	ID078	18	4	1	NA	ID118	18	6	1	422.92
ID039	19	2	1	452.09	ID079	19	4	1	468.23	ID119	19	6	1	422.92
ID040	20	2	1	NA	ID080	20	4	1	437.02	ID120	20	6	1	422.92

Ind= indivíduo; Rep= repetição (bloco); Prog= progênie; Arv= árvore dentro da parcela; DB= densidade básica da madeira (kg m³); NA=dados ausentes.

Tabela 3. Dados de densidade básica da madeira (DB, kg m³) de um teste de progênies de polinização aberta de *Eucalyptus benthamii*, aos 2,5 anos de idade.

```

# ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS UTILIZANDO O PACOTE
ESTADÍSTICO Sommer E MATRIZ DE PARENTESCO
#Carregar o arquivo de dados com valores ausentes
dados = read.table(file="dados.txt", sep=" ", header=TRUE, na = "0")
# Instalar e abrir os pacotes
install.packages(sommer)
library(sommer)
library(dplyr)
library(plyr)
# Retorna o local do diretório de trabalho
getwd()
# Visualizar dados
View(dados)
#Transformando em fatores
dados <- transform(dados,
                    Ind=as.factor(Ind),
                    Prog=as.factor(Prog),
                    Rep=as.factor(Rep),
                    Arv=as.factor(Arv))
# Carregar o arquivo da matriz de parentesco
matA = read.table(file="matrizA.txt", sep=" ", header=TRUE) matA<- matrizA
rownames(matA) <- colnames(matA)
dim(matA)
matA[1:5,1:5]
A<-as.matrix(matA)
dim(A)
A[1:5,1:5]
dados$Ind <- paste("ID",sprintf("%03d",dados$Ind),sep="")
# Ajuste do modelo misto
m1 <- mmer(DB ~ Rep,
           random= ~vs(Ind, Gu=A),
           rcov=~units,
           data=dados)
# Informações sobre o ajuste
summary(m1)
# Extrair componentes de variância a partir dos efeitos aleatórios
(suma<- summary(m1))$varcomp)
# Número de Blocos (Repetições)
Nb= 20
# Número de Progênieis
Np = 6
# Número de indivíduos a serem selecionados, conforme escolha do melhorista
NIS = 40
# Variável resposta para dados não transformados
resp = "DB"
Va = suma[1,1] #Variância aditiva
Ve = suma[2,1] #Variância residual
vf = Va+Ve #Variância fenotípica
h2r = (Va/vf) #Herdabilidade individual no sentido restrito h²r
h2m = (0.25*Va)/((0.25*Va)+(Ve/(20*1))) #Herdabilidade média de progênieis h²m
acur = sqrt(h2m) #Acurácia na seleção de progênieis
desv = pin(m1, h2 ~ (V1) / (V1+V2)) #Desvio da herdabilidade no sentido restrito
desv
s = desv/sqrt(120) #Erro padrão da herdabilidade no sentido restrito
media = mean(dados$DB, na.rm=T) # Média Geral
cvgi = (sqrt(Va)/media)*100 # Coeficiente de variação genética individual
cvgp = (sqrt(0.25*Va)/media)*100 # Coeficiente de variação genética de progênie
CVe = (sqrt(Ve)/media)*100 # Coeficiente de variação experimental
media = mean(dados$DB, na.rm=T) # Média do caractere

```

```

#Estimativas dos Parâmetros Genéticos
Parametros = c("Variância Aditiva",
  "Variância residual",
  "Variância fenotípica",
  "Herdabilidade individual no sentido restrito h2r",
  "Herdabilidade média de progênes h2m",
  "Acurácia na seleção de progênes",
  "Desvio da herdabilidade no sentido restrito",
  "Erro padrão da herdabilidade no sentido restrito",
  "Coeficiente de Variação genética individual (CVgi%)",
  "Coeficiente de Variação genética de progênie (CVgp%)",
  "Coeficiente de Variação Experimental",
  "Média do caractere")
Valores = round(c(Va, Ve, vf, h2r, h2m, acur, desv, s, cvgi, cvgp, CVe, media),4) #4 Casas
decimais
data.frame(Parametros, Valores)
result_parametros <- data.frame(Parametros, Valores)
#####
                        BLUP
#####
# Extrair solução dos efeitos aleatórios médios
BLUP = randef(m1)
BLUPS = BLUP$'u:Ind'
BLUPS <- as.data.frame(BLUPS)
Ind <- rownames(BLUPS) <- gsub("Ind", "", rownames(BLUPS))
BLUP <- data.frame(Ind,BLUP_DB=BLUPS[,1])
head(BLUP)
# Ordenar por BLUP
BLUP_DB <- arrange(BLUP,desc(BLUP$BLUP_DB))
BLUP_DB$media=BLUP_DB$BLUP_DB+media
Head(BLUP_DB)
#União das tabelas (dados + BLUP)
df= select(dados, Ind, Rep, Prog, Arv, DB)
dfblup = merge(x=df, y=BLUP,all.x=T)
dfblup$yijblup = dfblup$DB-dfblup$BLUP_DB
dfblup$yijblup = dfblup$yijblup*h2d
dfblup$yijblup = dfblup$yijblup+dfblup$BLUP_DB
dfblup$yijblup = dfblup$yijblup - mean(dfblup$yijblup, na.rm = T)
dfblup = na.exclude(dfblup)
BLUP_DB <- arrange(dfblup,desc(dfblup$yijblup)) # Ordenar por BLUP individual
BLUP_DB$'u+a'<- BLUP_DB$yijblup+media
head(BLUP_DB)
#####
                        GANHO GENÉTICO
#####
#Número de indivíduos selecionados
> NIS = 40
# Diferencial de Seleção
> Ds = mean(BLUP_DB[1:NIS,5])-media
# Ganho de seleção individual
> Gs = Ds*h2r
# Ganho de seleção percentual
> Gs.per = (Gs/media)*100
# Média da população melhorada
> pm = media + Gs
> Ganho <- data.frame (NIS,Gs,Gs.per,pm)

```

Quadro 1. *Script* para ambiente R elaborado para estimativa de parâmetros genéticos utilizando o pacote estatístico *Sommer* e matriz de parentesco

A matriz de parentesco utilizada para exemplificação da análise foi uma matriz quadrática 120x120, o que corresponde ao número de indivíduos avaliados (Tabela 3), e dentre os cenários analisados no estudo de caso, o C5 (50% meios-irmãos e 50% autofecundados) foi utilizado para exemplo. A matriz 120x120 foi subdividida em “submatrizes”, ou mesmo, “matriz bloco” como identificada. A submatriz, no caso exemplificado, será 20 x 20, o que corresponde ao número de indivíduos de uma mesma progênie, ou seja, número de repetições. Para exportar a matriz de parentesco para o programa R, no caso exemplificado denominada de matriz A, é necessário excluir a primeira coluna do exemplo abaixo (coluna em destaque).

Ind	ID001	ID002	ID003...	ID020	.	.	.	ID120
ID001	1	0,25	0,25	0,60	0	0	0	0
ID002	0,25	1	0,25	0,60	0	0	0	0
ID003...	0,25	0,25	1	0,60	0	0	0	0
ID020	0,60	0,60	0,60	1	0	0	0	0
.	0	0	0	0	0	0	0	0
.	0	0	0	0	0	0	0	0
.	0	0	0	0	0	0	0	0
.	0	0	0	0	0	0	0	0
.	0	0	0	0	0	0	0	0
ID120	0	0	0	0	0	0	0	1

Quadro 2. Exemplo para montar a matriz de parentesco dos indivíduos apresentados na Tabela 3, para as estimativas dos parâmetros genéticos.

Os resultados das análises a partir dos dados da Tabela 3 e matriz de parentesco (Quadro 2) são apresentados a seguir (Quadro 3), conforme *output* gerado pelo *software*.

```
> summary(ml) # Informações sobre o ajuste
```

Multivariate Linear Mixed Model fit by REML

***** sommer 4.0 *****

	logLik	AIC	BIC	Method	Converge
Value	-41.88833	123.7767	176.4712	NR	TRUE

Variance-Covariance components:

	VarComp	VarCompSE	Zratio	Constraint
u:Ind.DB-DB	239.5	267.8	0.8941	Positive
units.DB-DB	1651.3	325.3	5.0762	Positive

Fixed effects:

Trait	Effect	Estimate	Std.Error	t.value
1	DB (Intercept)	439.2772	19.41	22.6268
2	DB Rep2	0.6495	27.06	0.0240
3	DB Rep3	26.4081	25.92	1.0187
4	DB Rep4	-23.8219	25.92	-0.9189
5	DB Rep5	10.3280	27.10	0.3811
6	DB Rep6	10.8599	27.09	0.4009
7	DB Rep7	12.4745	27.09	0.4605
8	DB Rep8	6.0516	25.92	0.2334

... please access the object to see more

Groups and observations:

DB
u:Ind 103

Use the '\$' sign to access results and parameters

```
> (suma<- summary(ml)$varcomp)
```

	VarComp	VarCompSE	Zratio	Constraint
u:Ind.DB-DB	239.473	267.8424	0.8940817	Positive
units.DB-DB	1651.324	325.3043	5.0762450	Positive

```
> Parâmetros
```

	Parâmetros	Valores
1	Variância Aditiva	239.4730
2	Variância residual	1651.3241
3	Variância fenotípica	1890.7971
4	Herdabilidade individual no sentido restrito h^2_r	0.1267
5	Herdabilidade média de progênes h^2_m	0.4203
6	Acurácia na seleção o de progênes	0.6483
7	Desvio da herdabilidade no sentido restrito	0.1359
8	Erro padrão da herdabilidade no sentido restrito	0.0124
9	Coefficiente de Variação genética individual (CV _{gi} %)	3.4969
10	Coefficiente de Variação genética de progênie (CV _{gp} %)	1.7484
11	Coefficiente de Variação Experimental	9.1826
12	Média do caractere	442.5363

```
#####
                                BLUP
#####
#Extrair o BLUP
> BLUP = randef(m1)
> BLUPS = BLUP$'u:Ind'
> BLUPS <- as.data.frame(BLUPS)
> Ind <- rownames(BLUPS) <- gsub("Ind","",rownames(BLUPS))
> BLUP <- data.frame(Ind,BLUP_DB=BLUPS[,1])
> head(BLUP)
  Ind BLUP_DB
1 ID001 14.74736
2 ID002 10.23896
3 ID003 19.81218
4 ID004 12.63949
5 ID005 13.04942
6 ID006 16.28244
# Ordenar BLUP
> BLUP_DB <- arrange(BLUP,desc(BLUP$BLUP_DB))
> head(BLUP_DB)
  Ind BLUP_DB
1 ID016 25.88721
2 ID007 19.93406
3 ID003 19.81218
4 ID020 18.95346
5 ID018 18.32828
6 ID019 17.41049
#Inserir uma coluna somando o blup a média geral do caractere
> BLUP_DB$BLUP+media=BLUP_DB$BLUP_DB+media
> head(BLUP_DB)
  Ind BLUP_DB BLUP+media
1 ID016 25.88721 468.4235
2 ID007 19.93406 462.4704
3 ID003 19.81218 462.3485
4 ID020 18.95346 461.4898
5 ID018 18.32828 460.8646
6 ID019 17.41049 459.9468
#União das tabelas (dados + BLUP)
> df= select(dados, Ind, Rep, Prog, Arv, DB)
> dfblup = merge(x=df, y=BLUP, all.x=T)
> head(dfblup)
  Ind Rep Prog Arv DB BLUP_DB
1 ID001 1 1 1 468.23 14.74736
2 ID002 2 1 1 422.92 10.23896
3 ID003 3 1 1 546.27 19.81218
4 ID004 4 1 1 422.92 12.63949
5 ID005 5 1 1 452.09 13.04942
6 ID006 6 1 1 485.58 16.28244
> dfblup$yijblup = dfblup$DB-dfblup$BLUP_DB
> dfblup$yijblup = dfblup$yijblup*h2d
> dfblup$yijblup = dfblup$yijblup+dfblup$BLUP_DB
> dfblup$yijblup = dfblup$yijblup - mean(dfblup$yijblup, na.rm = T)
> dfblup = na.exclude(dfblup)
> BLUP_DB <- arrange(dfblup,desc(dfblup$yijblup))
> BLUP_DB$'u+a'<- BLUP_DB$yijblup+media
> head(BLUP_DB)
  Ind Rep Prog Arv DB BLUP_DB yijblup u+a
1 ID016 16 1 1 624.3100 25.88721 42.59940 485.1357
2 ID003 3 1 1 546.2700 19.81218 28.69717 471.2335
3 ID007 7 1 1 524.4200 19.93406 26.42929 468.9656
4 ID055 15 3 1 570.0251 12.49743 24.76170 467.2980
5 ID020 20 1 1 468.2300 18.95346 19.44389 461.9802
6 ID006 6 1 1 485.5800 16.28244 18.95044 461.4867
```

```

#####
                                GANHO GENÉTICO
#####
#Número de indivíduos selecionados
> NIS = 40
#Diferencial de Seleção
> Ds = mean(BLUP_DB[1:NIS,5])-media
#Ganho de seleção individual
> Gs = Ds*h2r
#Ganho de seleção percentual
> Gs.per = (Gs/media)*100
#Média da população melhorada
> pm = media + Gs
> Ganho <- data.frame (NIS,Gs,Gs.per,pm)
> Ganho
      NIS  Gs      Gs.per  pm
1 40 3.663534 0.8278494 446.1998

```

Quadro 3. *Output* do *script* desenvolvido no Quadro 1.

RESULTADOS

A estimativa dos componentes de variância foi realizada e estes serviram de base para a estimativa dos parâmetros genéticos para os caracteres avaliados (Tabela 4). Verifica-se pelas estimativas dos parâmetros genéticos, que a variância genética aditiva () foi diferente para os cenários analisados, sendo que esta diminui conforme a porcentagem de meios irmãos diminuíram e a de irmãos completos e autofecundados entre os indivíduos aumentaram (Tabela 4).

Parâmetros	C1	C2	C3	C4	C5	CV(%)
DAP						
σ_a^2	2,821	2,333	1,850	1,626	0,731	42,03
h_a^2	0,43	0,35	0,28	0,25	0,11	41,73
SE h_a^2	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	51,28
h_m^2	0,79	0,73	0,66	0,62	0,39	24,15
Ac	0,66	0,60	0,53	0,50	0,34	12,98
CVgi (%)	16,18	14,72	13,11	12,29	8,24	23,33
CVp (%)	8,09	7,36	6,55	6,14	4,12	23,33
CVe (%)	18,64	19,85	20,87	21,35	23,12	8,07
Média	10,38	10,38	10,38	10,38	10,38	-
H						
σ_a^2	2,782	2,243	1,734	1,816	0,788	39,26
h_a^2	0,44	0,36	0,28	0,29	0,13	38,96
SE h_a^2	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	37,42
h_m^2	0,80	0,74	0,66	0,67	0,42	21,76

<i>Ac</i>	0,67	0,60	0,53	0,54	0,36	11,61
<i>CV_{gi}</i> (%)	12,29	11,04	9,71	9,93	6,54	21,62
<i>CV_p</i> (%)	6,15	5,52	4,85	4,97	3,27	21,62
<i>CV_e</i> (%)	13,74	14,80	15,64	15,53	17,11	8,04
Média	13,57	13,57	13,57	13,57	13,57	-
IMA						
σ_a^2	59,290	47,340	37,317	33,714	17,515	39,97
h_a^2	0,46	0,37	0,29	0,26	0,14	39,53
SE h_a^2	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	37,20
h_m^2	0,81	0,74	0,67	0,64	0,44	20,90
<i>Ac</i>	0,68	0,61	0,54	0,51	0,37	10,99
<i>CV_{gi}</i> (%)	36,27	32,41	28,77	27,35	19,71	21,43
<i>CV_p</i> (%)	18,14	16,20	14,39	13,68	9,86	21,43
<i>CV_e</i> (%)	39,38	42,60	44,95	45,82	49,36	8,38
Média	21,23	21,23	21,23	21,23	21,23	-
DB						
σ_a^2	1102,165	1061,084	863,998	750,666	494,838	28,92
h_a^2	0,48	0,46	0,38	0,33	0,22	28,34
SE h_a^2	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	38,38
h_m^2	0,82	0,81	0,75	0,71	0,58	13,10
<i>Ac</i>	0,69	0,68	0,61	0,57	0,47	6,74
<i>CV_{gi}</i> (%)	7,32	7,18	6,48	6,04	4,90	15,32
<i>CV_p</i> (%)	3,66	3,59	3,24	3,02	2,45	15,32
<i>CV_e</i> (%)	7,64	7,83	8,36	8,65	9,29	7,93
Média	453,55	453,55	453,55	453,55	453,55	-

σ_a^2 : Variância genética aditiva; h_a^2 : Herdabilidade individual no sentido restrito; SE h_a^2 : Desvio padrão da herdabilidade individual no sentido restrito; h_m^2 : Herdabilidade média de progênies; *Ac*: Acurácia seletiva; *CV_{gi}* (%): Coeficiente de variação genético individual; *CV_{gp}* (%): Coeficiente de variação genético entre progênies; *CV_e* (%): Coeficiente de variação residual; Grau de parentesco (Cenários): C1: 100% meios-irmãos; C2: 90% meios-irmãos e 10% Irmãos completos; C3: 90% meios-irmãos e 10% autofecundados; C4: 80% meios-irmãos, 10% irmãos completos e 10% autofecundados; e C%: 50% meios-irmãos e 50% autofecundados.

Tabela 4. Estimativa de parâmetros genéticos de diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total (H, m), incremento médio anual (IMA, m³/ha/ano) e densidade básica (DB, kg/m³) para o teste de progênie de *E. benthamii* aos 2,5 anos de idade, no município de Sertão Santana-RS, considerando cinco cenários de parentesco.

Para o caractere diâmetro a altura do peito (DAP), as estimativas de herdabilidade no sentido restrito (h_a^2), para os diferentes parentescos, variaram de 0,11 a 0,43. O coeficiente de variação genético individual (*CV_{gi}* (%)), que é estimado com base na variância genética

aditiva, também apresentou variação expressiva e variou de 8,24% a 16,18%. O menor valor de coeficiente de variação residual ($CV_{e(\%)}$) ocorreu no cenário 1 (100% de meios-irmãos) com 16,18%. Os maiores valores de acurácia (Ac) foram obtidos nos cenários com maior porcentagem de meios-irmãos. O coeficiente de variação entre os cenários para a herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2) foi de 41,73% , variação superior à encontrada para o coeficiente de variação genético ($CV_{gi(\%)}$) =(23,33%) e coeficiente de variação ambiental ($CV_{e(\%)}$) =(8,07%).

O caractere altura apresentou individual no sentido restrito (h_a^2) que variou de 0,13 a 0,44. O coeficiente de variação residual ($CV_{e(\%)}$) foi inferior se comparado ao caractere DAP, variando de 13,74% a 17,11%. O coeficiente de variação genético individual ($CV_{gi(\%)}$) teve seu maior valor no cenário 1 (100% meios-irmãos) (12,29%) e o menor valor no cenário 5 (50% meios-irmãos e 50% autofecundados) (6,54%). Apesar de valores maiores, a acurácia para altura se comportou da mesma forma que para DAP, com valores maiores nos três primeiros cenários (C1: 100% meios irmãos, C2: 90% meios-irmãos e 10% irmãos completos, e C3: 90% meios irmãos e 10% autofecundados) e redução nos dois últimos (C4: 80% meios-irmãos, 10% irmãos completos e 10% autofecundados e C5: 50% meios irmãos e 50% autofecundados). Assim, como para o caractere DAP, a variação entre os cenários foi superior para herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2) (38,96%) se comparada ao coeficiente de variação genético ($CV_{gi(\%)}$) (21,62%) e coeficiente de variação ambiental ($CV_{e(\%)}$) (8,04%)..

O caractere incremento médio anual (IMA) apresentou o mesmo padrão que os caracteres DAP e altura. A herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2) variou entre 0,14 a 0,46, sendo o maior valor no cenário 1 (100% meios-irmãos) e o menor valor no cenário 5 (50% meios-irmãos e 50% autofecundados). O coeficiente de variação genético individual ($CV_{gi(\%)}$) foi superior, comparado aos valores estimados para DAP e altura, variando de 19,71% a 36,27%. Por outro lado, o coeficiente de variação residual ($CV_{e(\%)}$) também foi superior, atingindo 49,36% no cenário 5 (50% meios-irmãos e 50% autofecundados). A acurácia (Ac) atingiu valores acima de 0,60 para os cenários 1 e 2, que tem respectivamente 100 % e 90% de meios-irmãos. A herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2) apresentou variação de 49,53% entre os cenários analisados. O coeficiente de variação genético individual ($CV_{gi(\%)}$) foi inferior aos caracteres DAP e altura, enquanto o coeficiente de variação residual foi bastante similar (8,38%).

Por fim, para a densidade básica, os valores de herdabilidade no sentido restrito (h_a^2) foram superiores aos outros caracteres avaliados, que variaram de 0,22 (50% meios-irmãos) a 0,48 (100% meios-irmãos). Os valores de coeficiente de variação genético individual ($CV_{gi(\%)}$) não foram tão altos quanto aos estimados para os demais caracteres, sendo o maior valor 7,32% no cenário 1 (100% meios-irmãos). Por outro lado, os valores de coeficiente de variação residual ($CV_{e(\%)}$) foram baixos, entre 7,64% (100% meios-irmãos) e 9,29% (50% meios-irmãos e 50% autofecundados). Devido aos baixos valores

do coeficiente de variação residual ($CV_{e(\%)}$), as acurácias (Ac) atingiram valores entre de 0,47 e 0,69. Entre os caracteres, para a densidade básica observou-se a menor variação entre os cenários, atingindo 28,34% para herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2), 15,32% para coeficiente de variação genético ($CV_{gi(\%)}$) e 7,93% para coeficiente de variação residual ($CV_{e(\%)}$).

As correlações genética e fenotípica foram estimadas (Tabela 5) entre todos os caracteres, a fim de verificar como os caracteres avaliados estão correlacionados. Observamos que o caractere IMA, apresentou correlação genética de 0,99 com DAP e 0,89 com altura total. Com relação à correlação fenotípica, o caractere IMA também apresentou valores altos e positivos com DAP (0,95) e altura total (0,84). Por outro lado, o caractere densidade básica apresentou valores negativos com todos os caracteres, tanto para correlação genética quanto para fenotípica. Mesmo assim, todos os valores foram estatisticamente significativos à 5%, conforme teste T.

	DAP	H	DB	IMA
DAP	1	0,93*	-0,67*	0,99*
H	0,82*	1	-0,58*	0,89*
DB	-0,34*	-0,28*	1	-0,59*
IMA	0,95*	0,84*	-0,29*	1

DAP: Diâmetro à altura do peito; H: Altura total; DB: Densidade básica; IMA: Incremento médio anual; *Significativo à 5%; ^{ns}: Não significativo.

Tabela 5. Correlação genética (diagonal superior) e fenotípica (diagonal inferior) para o teste de progênie de *E. benthamii*, aos 2,5 anos de idade, em Sertão Santana-RS.

A estimativa dos BLUPs individuais foi realizada (Tabela 6) para o caractere incremento médio anual (IMA) para todos os cenários, com o objetivo de verificar como os diferentes níveis de parentesco afetam a seleção dos melhores indivíduos.

	C1		C2		C3		C4		C5	
	Prog	Rep	Prog	Rep	Prog	Rep	Prog	Rep	Prog	Rep
1	23	3	23	3	23	3	14	6	9	17
2	14	6	14	6	14	6	23	3	4	16
3	9	17	9	17	9	17	9	17	14	6
4	4	16	4	16	4	16	4	16	23	3
5	14	14	14	14	9	14	9	14	17	19
6	3	5	9	14	14	14	14	14	9	20

7	9	14	3	5	3	5	9	20	9	14
8	12	12	4	14	4	14	17	9	4	4
9	15	14	4	4	17	9	17	13	17	15
10	4	14	17	9	4	4	3	5	4	14
11	4	4	4	13	9	6	4	14	17	20
12	8	5	12	12	4	13	4	4	4	13
13	4	13	15	14	9	20	17	19	4	17
14	23	5	9	6	17	13	9	6	9	6
15	17	9	17	13	9	3	4	13	14	14
16	9	6	23	5	23	5	15	14	17	9
17	17	13	8	5	15	14	9	3	17	13
18	20	16	20	16	12	12	9	2	17	18
19	6	3	9	3	9	2	6	3	9	3
20	14	12	6	3	17	20	17	20	9	2
21	9	3	9	2	6	3	17	6	6	3
22	18	8	14	12	20	16	23	5	23	5
23	21	6	9	20	8	5	8	5	4	20
24	16	6	13	1	14	12	12	12	17	6
25	9	2	18	8	17	6	20	16	14	19

Prog: Progenie; Rep: Bloco.

Tabela 6. Ordenamento dos melhores indivíduos de *E. benthamii* aos 2,5 anos de idade, com base no BLUP individual, no município de Sertão Santana-RS.

Observa-se que o ordenamento varia em função do parentesco atribuído. Para os cenários 1, 2 e 3 (100% e 90% de meios-irmãos) a diferença é menor, tendo a alteração da ordem apenas a partir da quinta colocação. Para os dois últimos cenários (C4: 80% meios-irmãos, 10% irmãos completos e 10% autofecundados e C5: 50% meios-irmãos e 50% autofecundados), o melhor indivíduo do teste já não coincide com os cenários 1, 2 e 3 (C1: 100% meios-irmãos, C2: 90% meios-irmãos e 10% irmãos completos e C3: 90% meios irmãos e 10% autofecundados), mostrando uma significativa alteração na seleção quando há a atribuição de níveis de parentesco distintos.

Além disto, os ganhos esperados por seleção foram estimados (Tabela 7), sendo assim possível estabelecer como o grau de parentesco afeta o ganho genético esperado para a próxima geração após a seleção.

	C1	C2	C3	C4	C5
$i_{\%}$	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
\bar{X}_0	21,22	21,22	21,22	21,22	21,22
\bar{X}_s	41,59	41,45	41,14	40,93	37,80
Gs(%)	44,02	34,93	27,26	24,38	10,74

$i_{\%}$: Intensidade de seleção; \bar{X}_0 : Média da população inicial; \bar{X}_s : Média da população selecionada; Gs(%): Ganho genético.

Tabela 7. Ganhos esperados por seleção com base no nível de parentesco atribuído para o teste de progênie de *E. benthamii* aos 2,5 anos de idade, em Sertão Santana-RS.

Os ganhos esperados com uma intensidade de seleção de 10% foram bastante variáveis entre os cenários avaliados. Os valores de Gs(%) variaram de 10,74% no cenário 5 (50% meios-irmãos) até 44,02% no cenário 1 (100% meios-irmãos).

DISCUSSÃO

As herdabilidades no sentido restrito para os caracteres incremento médio anual e altura mostram controle genético de alta magnitude para todos os cenários, com exceção do cenário 5 que foi considerado baixo. O caractere diâmetro à altura do peito mostrou alto controle genético dentro dos cenários 1 a 4, enquanto o cenário 5 (50% meios-irmãos) foi considerado de magnitude mediana. Por outro lado, para o caractere densidade básica todos os resultados indicam alta magnitude de herdabilidade no sentido restrito, evidenciando alto controle genético do caractere (Resende, 1995). De modo geral, o que se observa é que os cenários que são compostos por maior número de meios-irmãos tendem a apresentar maiores valores de herdabilidade, isto ocorre pois com menor grau de parentesco entre os indivíduos, maior a variância genética aditiva encontrada, ou seja, ocorre o inflacionamento deste parâmetro (Tambarussi et al., 2018).

Os resultados encontrados são similares aos constatados por Tambarussi *et al.* (2018), que ao estimar a herdabilidade no sentido restrito considerando as progênies como de meios-irmãos e comparando com o sistema misto de reprodução ($t = 0,90$) encontrou uma superestimativa de até 32,25% para este parâmetro. O mesmo fenômeno foi constatado por Bush *et al.* (2014), que estudando *Eucalyptus cladocalyx* com marcadores moleculares (SNPs) perceberam um aumento de até 100% da herdabilidade no sentido restrito ao considerar progênies de 100% de meios-irmãos.

Assim, como o coeficiente de herdabilidade, o coeficiente de variação genético individual também apresentou alta variação entre os cenários estudados, isto porque este parâmetro também é calculado com base na variância genética aditiva. Os cenários que possuem maior porcentagem de indivíduos meios-irmãos, apresentaram maiores valores

de coeficiente de variação genético individual, comparado aos cenários com maior nível de parentesco, como irmãos completos e autofecundados, isto acontece pois com o maior grau de parentesco entre os indivíduos, menor tende a ser a variância genética aditiva (Squillace, 1974). Por este motivo, é possível dizer que ao negligenciar o sistema de reprodução das espécies, pode ocasionar informação incorreta e inflacionada sobre os as herdabilidades no sentido restrito e ganhos com a seleção (Bush et al., 2015; Tambarussi et al., 2018).

Um ponto importante para ser destacado é que dentre os parâmetros avaliados, o coeficiente de variação genético residual foi o que apresentou a menor variação entre os cenários avaliados. Os caracteres DAP e altura apresentaram valores abaixo de 30% em todos os cenários, valores considerados normais em experimentos em campo (Pimentel-Gomes e Garcia, 2002). O caractere incremento médio anual (IMA) apresentou valores mais elevados que ultrapassaram 40%, isto ocorreu por se tratar de um caractere estimado de maneira indireta, levando em consideração outras variáveis como DAP e altura, além do fator de forma. A densidade básica apresentou valores inferiores de coeficiente de variação genético residual, abaixo de 10%, isto é normal visto que caracteres de qualidade da madeira apresentam menor variação residual do que caracteres de crescimento (Mora e Arriagada, 2016).

Os valores de acurácia seletiva indicam confiabilidade moderada no processo de seleção individual, principalmente nos cenários com maior porcentagem de indivíduos meios-irmãos, visto que os valores foram próximos de 0,60 (Resende, 2015). No entanto, os cenários 4 e 5, que consideram porcentagens menores de indivíduos meios-irmãos (80% e 50%, respectivamente) e maiores de irmãos completos e autofecundados, alcançaram valores que indicam menor confiabilidade, já que os valores de herdabilidade também foram reduzidos, uma vez que o coeficiente de parentesco para estes cenários é superior.

Os valores de correlação genética encontrados entre os caracteres de crescimento IMA, diâmetro à altura do peito e altura total foram positivos e de alta magnitude, visto que ficaram próximos de 0,90, e isto mostra que é possível realizar seleção indireta entre estes caracteres, ou seja, selecionar indivíduos pelo diâmetro à altura do peito visando alto incremento médio anual (Resende, 2015). Valores similares de correlação genética, entre os mesmos caracteres, foram encontrados por Massaro et al. (2010) em *Eucalyptus* spp. aos 2 anos de idade, que verificaram correlação genética de 0,98 entre DAP e incremento em volume e de 0,89 entre altura total e incremento em volume, reforçando a alta associação entre estes caracteres. Com relação a densidade básica, os valores negativos encontrados estão de acordo com a literatura, e indicam que a seleção conjunta para caracteres de crescimento e para densidade básica não pode ser executada (Nunes et al., 2016).

Para verificar como a matriz de parentesco afeta a seleção de indivíduos, os genótipos foram ordenados com base no BLUP individual em cada cenário. Os 10 melhores indivíduos para IMA variaram em cada cenário. Os primeiros cenários (C1: 100% meios-

irmãos, e C2: 90% meios-irmãos e 10% irmãos completos e C3: 90% meios-irmãos e 10% autofecundados, respectivamente), por serem similares e terem grande porcentagem de indivíduos meios-irmãos foram mais semelhantes, mesmo assim, houve alteração na ordem dos indivíduos.

Dessa forma, a presente pesquisa visou realizar simulações, não se sabe ao certo qual o cenário que representa de maneira mais realista o parentesco da população estudada. Entretanto, sabe-se que as populações de eucalipto não são compostas inteiramente de indivíduos meios-irmãos. Sendo assim, a inserção do componente de parentesco, sempre traz informações mais acuradas sobre os valores genéticos, visto que a não inserção do parentesco afeta a variância genética aditiva e conseqüentemente estima de maneira viesada os valores genéticos (Piepho et al., 2008; Furlani et al., 2005). Ressalta-se ainda que para a obtenção dos valores genéticos aditivos reais, as progênies devem ser genotipadas e os níveis de parentesco dentro de progênies devem ser considerados.

É possível verificar também, que os ganhos genéticos variam muito conforme o parentesco atribuído. Os cenários 1, 2 e 3 (C1: 100% meios-irmãos, e C2: 90% meios-irmãos e 10% irmãos completos e C3: 90% meios-irmãos e 10% autofecundados, respectivamente), por exemplo, apresentam ganhos superiores aos cenários 4 e 5 (C4: 80% meios-irmãos, 10% irmãos completos e 10% autofecundados e C5: 50% meios-irmãos e 50% autofecundados), afinal consideram menor nível de parentesco entre os indivíduos. O menor nível de parentesco aumenta a herdabilidade individual no sentido restrito, e por este motivo aumenta o ganho genético esperado para a próxima geração. Isto mostra a importância de utilizar a informação do parentesco para prever os ganhos por seleção em programas de melhoramento genético, pois ao desconsiderar o sistema misto de reprodução o ganho genético é superestimado (Piepho et al., 2008).

A diferença entre o ordenamento dos melhores indivíduos, de acordo com os componentes BLUPs, ocorre devido a diferente estimativa da variância genética aditiva encontrada, que variou de cenário para cenário, com a inserção de diferentes matrizes de parentesco. Com a oscilação da variância genética aditiva, conseqüentemente os valores genotípicos são alterados, de modo que estimativa incorreta deste componente de variância pode afetar a seleção correta dos melhores indivíduos (Dutkowski et al., 2001).

Com as constatações observadas, a recomendação é utilizar sempre que possível informação sobre o parentesco da progênie no modelo, como os dados de *pedigree* ou mesmo matrizes de parentescos obtidas por marcadores moleculares (microssatélites, SNPs etc.). Frequentemente, as populações de *Eucalyptus* spp. são tratadas como populações completamente alógamas (taxa de cruzamento igual a 1,0), apesar de ser uma negligência que pode gerar estimativas incorretas sobre os parâmetros genéticos e afetar a tomada de decisão na seleção de indivíduos. Ou seja, o parentesco afeta a estimativa dos parâmetros genéticos; bem como o ordenamento de indivíduos para seleção e o ganho genético esperado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa CMPC celulose por ceder os dados e por ajudar nas informações complementares.

REFERÊNCIAS

BORRALHO, N.M.G. Heterogeneous selfing rates and dominance effects in estimating heritabilities from open-pollinated progeny. **Canadian Journal of Forest Resources** v. 24, n. 5, p. 1079–1082, 1994.

BUSH, D.; KAIN, D.; KANOWSKI, P.; MATHESON, C. Genetic parameter estimates informed by a marker-based pedigree: a case study with *Eucalyptus cladocalyx* in southern Australia. **Tree genetics & genomes**, v. 11, n. 1, p. 798, 2015.

BUSH, D.; KAIN, D.; MATHESON, C.; KANOWSKI, P. Marker-based adjustment of additive relationship matrix for estimation of genetic parameters—an example using *Eucalyptus cladocalyx*. **Tree Genetic & Genomes**. v. 7, n. 1, p. 23–35, 2011.

COCKERHAM, C.C.; WEIR, B.S. Covariances of relatives stemming from a population undergoing mixed self and random mating. **Biometrics**, v.40, p.157-164, 1984.

COSTA E SILVA, J.; HARDNER, C.; POTTS, B.M. Genetic variation and parental performance under inbreeding for growth in *Eucalyptus globulus*. **Annals of forest science**. v. 67, n. 6, p. 606-606, 2010.

DUTKOWSKI, G. W.; GILMOUR, A. R.; BORRALHO, N. M. G. Modification of the additive relationship matrix for open pollinated trials. In 'Developing the eucalypt of the future'. **Proceedings of the IUFRO Symposium**, p. 10-15, 2001.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.E.; VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. Clarendon, Oxford, 1993.

FUCHS, M.C.P.; TAMBARUSSI, E.V.; LOURENÇÃO, J.C.; NOGUEIRA, L.M.; BORTOLOTO, T.M.; GONZALEZ, E.R.; ODA, S.; MARINO, C.L. Molecular marker associated with a deleterious recessive anomaly in *Eucalyptus grandis* seedlings. **Annals of forest science**, v. 72, n. 8, p. 1043-1052, 2015.

FURLANI, R.C.M.; MORAES, M.L.T.D.; RESENDE, M.D.V.; FURLANI, E.; GONÇALVES, P.D.S.; VALÉRIO FILHO, W.V.; PAIVA, J.R.D. Estimation of variance components and prediction of breeding values in rubber tree breeding using the REML/BLUP procedure. **Genetics and Molecular Biology**, v. 28, n. 2, p. 271-276, 2005.

GHAI, G.L. Covariances among relatives in populations under mixed self-fertilization and random mating. **Biometrics**, v.38, p.87–92, 1982.

GRATTAPAGLIA, D. et al. Quantitative genetics and genomics converge to accelerate forest tree breeding. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1693, 2018.

GRATTAPAGLIA, D.; VAILLANCOURT, R.E.; SHEPHERD, M.; THUMMA, B.R.; FOLEY, W.; KÜLHEIM, C.; POTTS, B.M.; MYBURG, A.A. Progress in Myrtaceae genetics and genomics: *Eucalyptus* as the pivotal genus. **Tree Genetics & Genomes**, v.8, n.3, p.463-508, 2012.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Anual 2019**. Brasília, Brazil. IBA, 2019. 80 p.

KERR, R. J. Use of the numerator relationship matrix in genetic analysis of autopolyploid species. **Theoretical and applied genetics**, v. 124, n. 7, p. 1271-1282, 2012.

LUSH, J. L. **Animal breeding plans**. Ames: Iowa State University Press. 1937. 433p.

MASSARO, R. A. M.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 597-609, 2010.

MORA, F.; ARRIAGADA, O. A classification proposal for coefficients of variation in *Eucalyptus* experiments involving survival, growth and wood quality variables. **Bragantia**, v. 75, n. 3, p.263-267. 2016.

MPHAHLELE, M.; ISIK, F.; MOSTERT-O'NEILL, M. M.; REYNOLDS, S. M.; HODGE, G. R.; MYBURG, A. A.; Expected benefits of genomic selection for growth and wood quality traits in *Eucalyptus grandis*. **Tree Genetics & Genomes**, v. 16, n. 4, p. 1-12, 2020.

NUNES, A. C. P.; SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Estabelecimento de zonas de melhoramento para clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 563-574, 2016.

PAZARAN, G, C. Genome-assisted prediction of quantitative traits using the R package sommer. **PLoS one**, v. 11, n. 6, p. e0156744, 2016.

PIEPHO, H.P.; MOHRING, J.; MELCHINGER, A.E; BUSCHE, A. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. **Euphytica**, Wageningen, v. 161, n. 1, p. 209-228, 2008.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, v.11, p.305, 2002.

RESENDE, M.D.V.; VENCOSKY, R.; FERNANDES, J.S.C. Selection and genetic gains in populations of *Eucalyptus* with a mixed mating system. In. **IUFRO Conference**, 1995, Hobart. Proceedings Hobart: IUFRO, p. 191-193, 1995.

SQUILLACE, A. E. Average Genetic Correlations Among Offspring From Open-Pollinated Forest Trees. **Silvae Genetica**, v. 23, n. 5, p. 149-156, 1974.

R CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available at: URL <https://www.R-project.org/>. 2018.

RESENDE, M.D.V. Delineamento de experimentos de seleção para maximização da acurácia seletiva e do progresso genético. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.19, n.4, p.479-500, 1995.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975p.

RESENDE, M.D.V. **Genética quantitativa e de populações**. Visconde do Rio Branco, Suprema, 2015. 463 p.

TAMBARUSSI, E.V.; PEREIRA, F.B.; DA SILVA, P.H.M.; LEE, D.; BUSH, D. Are tree breeders properly predicting genetic gain? A case study involving *Corymbia* species. **Euphytica**, v. 214, n. 8, p. 150, 2018.

VAN DER WERF, J. **Mixed models for genetic analysis**. Armidale: University of New England, 2011, 27 p.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

VENCOVSKY, R.; PEREIRA, M.B.; CRISÓSTOMO, J.R.; FERREIRA, M.A.J. Genética e melhoramento de populações mistas. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. **Recursos genéticos e melhoramento**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001, p. 231-281.

ZHANG, Z.; LIU, J.; DING, X.; BIJMA, P.; DE KONING, D. J.; ZHANG, Q. Best linear unbiased prediction of genomic breeding values using a trait-specific marker-derived relationship matrix. **PLoS one**, v. 5, n. 9, p. e12648, 2010.

WRIGHT, A.J.; COCKERHAM, C.C. Selection with partial selfing. II. Family selection. **Crop Science**, v. 26, p. 261-268, 1986.

CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA DE DOENÇAS BACTERIANAS EM VIVEIROS E PLANTIOS DE *EUCALYPTUS* SPP

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 05/11/2020

Daniella Flávia Said Heid Schettini Silva

Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP
Botucatu – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/2645179972154637>

Helena Piedade Farsoni

Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP
Botucatu – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/2851581779531945>

Sharles Christian Moreira Dias

Eldorado Brasil
Três Lagoas – Mato Grosso do Sul
<http://lattes.cnpq.br/0135208505069002>

Luciano Flávio Neves Ramos

Eldorado Brasil
Três Lagoas – Mato Grosso do Sul
<https://orcid.org/0000-0003-4489-7246>

Celso Luis Marino

Instituto de Biociências, UNESP
Botucatu – São Paulo
<https://orcid.org/0000-0003-4524-954X>

Edson Luiz Furtado

Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP
Botucatu – São Paulo
<https://orcid.org/0000-0002-6924-835X>

RESUMO: O Brasil é referência mundial na produção de eucalipto, por sua atuação pautada em sustentabilidade, competitividade e inovação.

Então, faz-se necessário compreender os fatores que afetam a produção, como os causados por agentes bióticos patogênicos, compreendendo os de origem fúngica como o maior grupo de agentes causais, ou bacterianos. As bactérias englobam um grupo de patógenos de complexa diferenciação morfológica, necessitando assim de estudos para a caracterização das mesmas. Dentre os métodos para separação dos grupos bacterianos destaca-se a caracterização bioquímica, permitindo distinguir estes de acordo com suas características, como tipo de respiração, produção de enzimas específicas ou carboidratos. Assim, avaliou-se bioquimicamente cerca de 39 isolados patogênicos obtidos através de mudas de eucalipto com sintomas de arroxamento de nervura central de folhas e seca de ponteiro, a fim de avaliar o grupo do patógeno. Por tanto, todos estes foram submetidos aos testes de propostos por Schaad (2001), sendo estes o de hidróxido de potássio ou teste de Gram, teste de oxidação e fermentação, hipersensibilidade em fumo, produção de enzima pectinolítica, ativação de fosfatase redutora, redução de nitrato a nitrito, produção de carboidratos a partir de manitol e produção de catalase. Por tanto, os testes demonstraram que se trata de uma bactéria Gram negativa, ou seja, patogênica. Além disso, foram positivos para os testes de oxidação e fermentação, fosfatase redutora, redução de nitrato a nitrito, manitol e catalase e encontram-se resultados negativos para produção de enzima pectinolítica e hipersensibilidade em fumo, o que conferem aos isolados o grupo das Enterobactérias.

PALAVRAS-CHAVE: Bactérias. Proteção Florestal. Isolamento. Gram-negativas. Enterobactérias.

BIOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF BACTERIOSES DISEASES IN NURSERIES AND PLANTATIONS OF *EUCALYPTUS* SPP

ABSTRACT: Brazil is a world reference in eucalyptus production due to its action based on sustainability, competitiveness and innovation. Accordingly, factors that affect production, such as diseases caused by pathogenic biotic agents, including those of fungal and bacterial origin, need to be studied. Bacteria encompass a group of pathogens of complex morphological differentiation, requiring studies to characterize them. Among the methods for separating bacterial groups, the biochemical characterization allows to distinguish these according to their characteristics, such as types of respiration, production of specific enzymes or carbohydrates, among others. Thus, 39 pathogenic isolates obtained through eucalyptus seedlings with symptoms of die-back and wilting and lesions on the branches, petiole and midrib were evaluated biochemically, in order to evaluate the pathogen group. Consequently, these isolates were submitted to the tests proposed by Schaad (2001), such as potassium hydroxide or Gram test (positive or negative), oxidation and fermentation test, hypersensitivity to tobacco (*Nicotiana tabacum*), pectinolytic enzyme production, reductive phosphatase activation, reduction of nitrate to nitrite, production of carbohydrates from mannitol and production of catalase. Therefore, the tests demonstrated the bacterium is Gram negative, that is, pathogenic. In addition, the results of the tests of the oxidation and fermentation, reductive phosphatase, nitrate to nitrite reduction, mannitol and catalase were positive and for pectinolytic enzyme production and hypersensitivity to tobacco were negative, indicating the isolates belong to the group of the Enterobacteria.

KEYWORDS: Bacteria. Forest protection. Isolation. Gram-negative. Enterobacteria.

INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os principais produtores de celulose, papel e painéis de madeira no mundo advindos de eucalipto como matéria-prima. O país é referência por sua atuação pautada pela sustentabilidade, competitividade e inovação (IBÁ, 2016). Em 2019, em todo o território nacional a área total de árvores plantadas foi de 9,0 milhões de hectares, um aumento de 2,4% em relação a 2018. Desse total, a maioria é representada pelo cultivo de eucalipto, com 6,97 milhões de hectares (IBÁ, 2020). Diante da relevância do gênero para a indústria florestal brasileira, a compreensão dos fatores que afetam a produção e a qualidade desse se tornam cada vez importante.

Dentre esses, as perdas causadas por doenças bióticas, principalmente os fungos e bactérias fitopatogênicas, os quais ao serem introduzidos na cultura podem afetar o crescimento e a produtividade, provocando até a morte de mudas e árvores de *Eucalyptus* spp. Destacam-se dentre as bacterioses já descritas para a eucaliptocultura, *Ralstonia solanacearum*, causadora de murcha vascular e o complexo formado por *Pseudomonas*

spp. e *Xanthomonas* spp., causador de mancha foliar. Tais doenças foram capazes de causar a morte de diversas árvores plantadas, bem como, consequentes prejuízos aos viveiros de produção de mudas de *Eucalyptus* spp. devido ao fato de serem patógenos de eficiente disseminação e difícil controle.

Segundo Arriel *et al.* (2014), além dessas bacterioses, os sintomas de seca de ponteiros de árvores de eucalipto, bem como, o arroxamento da nervura principal das folhas de mudas e árvores já formadas foram atribuídos a *Erwinia psidii*, por serem sintomas semelhantes aos encontrados em goiabeiras, relatados pela primeira vez em 1987 (Rodrigues Neto *et al.*, 1987). Nos últimos anos observa-se a crescente importância dos patógenos bacterianos na cultura, pois muitos sintomas marcadores destas doenças se assemelham. A obtenção de isolados em culturas puras para futuros estudos de identificação do patógeno são fundamentais, auxiliando assim na caracterização destes microrganismos fitopatogênicos, o que ao final auxiliará na diagnose correta e na tomada de decisão para medidas de controle e ou manejo das doenças.

Dentre os métodos de caracterização, é empregada a caracterização bioquímica para distinguir grupos bacterianos e separá-los conforme as características encontradas. Esse método permite distinguir grupos bacterianos diferentes de acordo com suas principais características, diferenciando-as quanto ao tipo de respiração – anaeróbica ou não, a capacidade de causarem reação de hipersensibilidade em *Nicotiana tabacum* (fumo) ou até mesmo a produção de enzimas específicas, como a catalase e a fosfatase, dentre outras. Tal processo também auxilia na busca por medidas de controle e manejo de doenças.

Assim, no presente trabalho, o sintoma principal da doença em eucalipto pode ser descrito como a seca de ponteiros das mudas e árvores, bem como, o arroxamento da nervura principal das folhas e posteriormente necrose dos tecidos adjacentes à nervura. Portanto, diante da relevância dos patógenos bacterianos causadores de doença em *Eucalyptus* spp. e sua capacidade em formas complexos, faz-se necessário a obtenção de isolados em condições puras para estudos de identificação do agente causador, através da caracterização bioquímica e patogênica dos inóculos obtidos, o que constitui o objetivo do presente estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento ocorreu em um viveiro de produção de mudas clonais de *Eucalyptus* spp. localizado na cidade de Andradina, no interior de São Paulo. Foram feitas análises visuais da presença de sintomas principais da doença em questão, como o arroxamento da nervura principal de folhas jovens tanto de minicepas quanto em mudas de *Eucalyptus* spp. produzidas, bem como, a seca do ponteiro destas e posteriormente a morte do material vegetal. Posteriormente, o mesmo processo foi realizado em áreas com até dois anos de plantio da espécie, nas cidades de Águas Claras, Inocência e Três Lagoas, no estado do

Mato Grosso do Sul.

Amostras de tecido vegetal dessas áreas foram coletadas, acondicionada em sacos de papel e deixadas em baixas temperaturas, para manter a integridade das mesmas. Subsequente, foram transportadas para o Laboratório de Patologia Florestal da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, na Fazenda Lageado, no Câmpus de Botucatu, São Paulo, para os procedimentos laboratoriais de obtenção dos isolados bacterianos com condições de purificação. Após a desinfecção e esterilização do material, o tecido foi macerado em solução de água destilada autoclavada e a suspensão replicada por plaqueamento pelo método de estrias simples em placas de Petri, de 9 cm de diâmetro, contendo meio de cultura Nutriente Ágar (NA) enriquecido e vertidos com fungicida Nistatina 0,50% em álcool. Ademais, as placas foram incubadas a $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ em estufa BOD (demanda bioquímica de oxigênio) com fotoperíodo de 12 horas. O crescimento bacteriano pôde então ser observado após 24 a 48 horas do procedimento.

Os testes bioquímicos foram realizados conforme a metodologia sugerida por Marques *et al.* (2002), com o propósito de realiza-los para identificação de grupos bacterianos. Os protocolos de testes permite diferenciar as enterobactérias dentre as demais fitopatogênicas. Para tal, os 39 isolados foram submetidos aos seguintes testes: (a) Gram de Ryu ou também chamado de teste de hidróxido de potássio (KOH); (b) oxidação e fermentação (O/F) ou crescimento anaeróbico; (c) hipersensibilidade (HR) em folhas de *Nicotiana tabacum*; (d) produção de enzima pectinolítica; (e) ativação de fosfatase redutora; (f) produção de enzima catalase; (g) produção de ácidos a partir de carboidratos e (h) redução de nitrato (NO_{3-}) em nitrito (NO_{2-}). Os testes foram todos conduzidos e as soluções preparadas segundo proposto por Schaad (2001).

O teste de Gram de Ryu ou teste de hidróxido de potássio (KOH) permite diferenciar as bactérias Gram-negativas das Gram-positivas. A solução formada por colônias bacterianas adicionadas ao hidróxido de potássio, por se tratar de uma solução alcalina, pode promover a lise da parede celular no caso das bactérias Gram-negativas, formando um muco contínuo quando se retira as amostras desta solução com o uso da alça de platina. No caso das bactérias Gram-positivas cuja parede é permeável devido à grossa camada de peptidoglicanos (Suslow *et al.*, 1982) não ocorre a lise e nem a formação do muco bacteriano.

Segundo Hugh & Leifson (1953), o teste de oxidação e fermentação realiza a separação das bactérias pela característica de tipo respiratório, podendo estas serem facultativas (fermentativas - OF), anaeróbicas restritas (F) ou aeróbicas restritas (oxidativas). Tal parte da caracterização bioquímica é importante pois permite distinguir o gênero *Erwinia*, que é uma bactéria anaeróbica facultativa (OF), das bactérias Gram-negativas aeróbicas (O), como as pertencentes aos gêneros *Xanthomonas* e *Pseudomonas* (Romeiro, 2005).

Posteriormente, realizou-se o teste de hipersensibilidade em fumo. Segundo Lozano & Sequeira (1970) o teste consiste na infiltração de células bacterianas em uma folha de

planta não hospedeira da doença, que na maioria dos casos é feita com folhas de fumo (*Nicotiana tabacum*). Por tanto, para a realização do mesmo foram utilizadas suspensões bacterianas formadas a partir de culturas ultrapuras de crescimento de colônias de bactérias obtidas e colocadas em tubos de ensaio com água destilada estéril à concentração de 3×10^8 unidades formadas de colônias (UFC). Após isso, a suspensão de cada um dos isolados separadamente foi infiltrada sob a epiderme da folha no espaço internerval da face inferior da folha de fumo, por meio de uma seringa hipodérmica de 5 mL e incubado por até 24 horas para a observação de lesões de defesa na folha da planta.

O protocolo de avaliação de produção de enzima pectinolítica permite identificar se os isolados bacterianos possuem ou não a capacidade de produzir enzima pectinolítica capaz de romper e quebrar a lamela média do fruto de pimentão (*Capsicum annuum Group*) e causar danos para o mesmo, como a podridão desse. Para realizá-lo, após o crescimento das colônias foi feita a raspagem com a utilização de um palito de madeira esterilizado de cada colônia bacteriana e inserido em um pimentão, deixando o material à temperatura ambiente em um recipiente a vácuo. Aguardou-se então o período de 24 horas para o surgimento dos sintomas de podridão do fruto. Para aqueles isolados em que houve a podridão, confirmou-se a capacidade dos isolados em produzir a enzima pectinolítica e causar danos.

Segundo Schaad (2001) o teste de fosfatase redutora mede a capacidade do microrganismo de produzir enzima fosfatase suficiente para quebrar a cadeia do difosfato de fenolftaleína. Para realizá-lo inicialmente foi fundido o meio de cultura nutriente ágar (NA) com Nistatina 0,50% em álcool e adicionado uma solução previamente esterilizada de fenolftaleína a 5% e distribuídos em placas de Petri. Após a inoculação dos isolados e a incubação dos mesmos a $28^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ em estufa BOD por 24 horas, todas esses foram expostos ao vapor de hidróxido de amônia (NH_3OH), pela adição de algumas gotas do mesmo em papel filtro e colocados por dentro da tampa da placa de Petri. Como conclusão do teste, foram considerados, após a adição de NH_3OH , fosfatase positivo os isolados que ficaram com a coloração vermelha ou rósea nas colônias, os demais foram considerados negativos.

Para o protocolo de produção de catalase o teste consiste na caracterização das bactérias que conseguem converter o peróxido de hidrogênio em oxigênio e água, onde a liberação do oxigênio é observada com a formação de bolhas. A função da catalase é remover o H_2O_2 tóxico resultante dos processos de oxidação e redução envolvendo oxigênio. Para isso, foram colocadas individualmente sobre uma lâmina microscópica colônias dos isolados bacterianos e posteriormente adicionado uma gota de peróxido de hidrogênio a 3% (H_2O_2) nas mesmas. Ao serem observadas a formação de bolhas de ar, indicativo de teste positivo para catalase, ou seja, o isolado consegue produzir a enzima.

Posteriormente, para a avaliação da produção de ácidos a partir de carboidratos o teste deve-se adicionar manitol ao meio de cultura próprio do procedimento. Esse foi

preparado na concentração de 15% e filtrados com o uso de uma membrana. No preparo do meio de cultura, corrigiu-se o pH para o valor 7,0 e separou-se em tubos de ensaio 5 mL para cada isolado bacteriano. Este teste é importante para detecção de possíveis rotas metabólicas diferentes entre as bactérias Gram-negativas e Gram-positivas.

Por fim, finalizando o protocolo de caracterização bioquímica dos isolados o teste de redução de nitrato (NO_3^-) em nitrito (NO_2^-) detecta a capacidade das bactérias de utilizarem o nitrato como um receptor final de elétrons final na sua cadeia respiratória. Nesta reação, o nitrato é reduzido para nitrito, que pode ser posteriormente reduzido para gás nitrogênio ou amônia. A redução é detectada pela adição do ácido sulfanílico e a base N-dimetil-alfanaftilamina, que se combinam com o nitrito para formar um composto vermelho, que indica a resposta positiva ao teste (Schaad, 2001). Após a incubação dos isolados e o crescimento de colônias bacterianas, os mesmos foram colocados em soluções líquidas próprias para a realização do teste e introduzidos os reagentes indicadores, ácido sulfanílico e N-dimetil-alfanaftilamina.

O desenvolvimento de uma coloração alaranjada a amarronzada indicou a presença de nitrito. Caso a coloração houvesse desaparecido dentro de minutos acrescentou-se o pó de zinco (Zn), agitando a solução após a introdução do mesmo. Feito isso, se a coloração alaranjada aparecesse, significaria que o nitrato existente foi reduzido pelo metal e reagiu com o reagente, portanto o resultado é negativo. Se a coloração não aparecer, isto indicou que o nitrato e o nitrito estão ausentes do meio e que a desnitrificação ocorreu, portanto o resultado é positivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de material vegetal de áreas de campo e viveiro apresentaram os principais sintomas visuais (Figura 1 e 2). No isolamento indireto foi possível observar o crescimento de massa bacteriana pura, composta de colônias amareladas e/ou esbranquiçadas de 39 isolados distintos, que foram armazenados na biblioteca do Laboratório de Patologia Florestal da Unesp, câmpus de Botucatu.



Figura 1 - Sintomatologia da doença em plantios de eucalipto em Três Lagoas, no Mato Grosso do Sul. A) Arroxamento da nervura principal e B) Desfolha das árvores e seca de ramos e ponteiros.



Figura 2 - Sintomatologia da doença em minicepas e mudas de eucalipto em Andradina, São Paulo. A) Arroxamento de nervura e b) Necrose apical e arroxamento da nervura principal.

CONCLUSÕES

O primeiro teste realizado foi o de Gram de Ryu (teste de KOH) e comprovou-se que todos os isolados eram correspondentes a bactérias Gram-negativas, ou seja, causadoras de patogenicidade na cultura do eucalipto. Adiante, os resultados para o teste de fermentação e oxidação (O/F) mostraram o crescimento bacteriano em ambos os tubos de ensaio, com e sem óleo mineral como forma de vedação. Além disso, também foi possível perceber que houve o processo de fermentação em ambos os casos, com a mudança da coloração do meio de cultura utilizado de verde para amarelo. Tal fato confirmou que na maioria dos casos os isolados bacterianos estudados são fermentativos e oxidativos, ou seja, caracterização bactérias anaeróbicos facultativos (Figura 3). Apenas os isolados LPFG_016 e LPFG_036 diferiram desse resultado, crescendo em apenas um dos tubos de ensaio e não modificando a cor do meio de cultura.

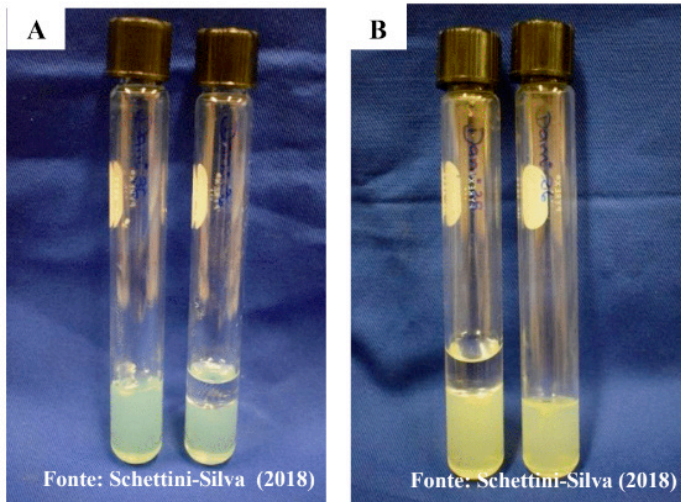


Figura 3 - Teste de oxidação e fermentação (O/F). A) No início do teste e B) Após 48 horas da realização.

Ademais, todos os isolados apresentaram respostas negativas a hipersensibilidade em folhas de fumo, ou seja, não foram capazes de formar lesões de defesa na planta causando a morte celular, como forma de proteção da mesma. Com relação a avaliação dos isolados para produção de enzima pectinolítica em pimentão, apenas o isolado LPFG_018 apresentou-se positivo ao teste, ou seja, ao ser introduzido no pimentão foi capaz de dissolver a lamela média do fruto e causar a podridão do material. Para os demais isolados a reação de produção de enzima pectinolítica foi negativa (Figura 4).

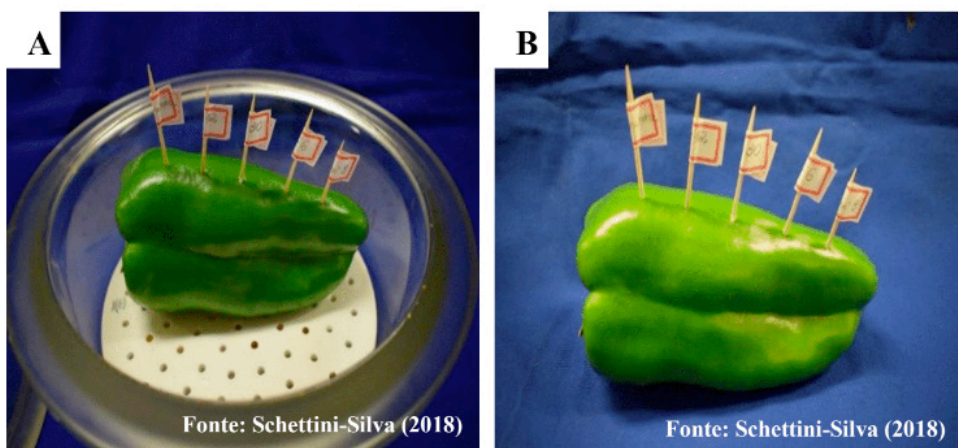


Figura 4 - Teste de produção de enzima pectinolítica em pimentão. A) Início do teste e B) Após 48 horas da inoculação das massas bacterianas.

Adiante, o teste de ativação de enzima fosfatase redutora mostrou-se positivo para a maioria dos isolados, mudando assim a coloração da bactéria de creme ou esbranquiçada para rosa, após a introdução de vapor de hidróxido de amônio (NH₄OH) nas mesmas. Apenas para o LPFG_019 o resultado diferiu das demais, mostrando-se ineficiente para a ativação da enzima após a introdução do hidróxido. Após a introdução de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), confirmou-se que no caso da produção de enzima de catalase, todos os isolados bacterianos avaliados possuem esta capacidade, produzindo assim bolhas de oxigênio após o contato com o líquido.

Posteriormente, completando assim a lista dos testes bioquímicos a serem seguidos, todos os isolados apresentaram-se positivos para os testes de produção de ácidos a partir do manitol, bem como, foram capazes de reduzir nitrato em nitrito. Os dados obtidos a partir da realização dos oito testes para os quarenta e dois isolados bacterianos reativos serão apresentados na tabela abaixo (Tabela 1).

Isolado	Gram de Ryu	O/F	HR em fumo	Enzima pectinolítica	Fosfatase redutora	Catalase	Manitol	Nitrato a nitrito
LPFG_001	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_002	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_003	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_004	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_005	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_006	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_007	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_008	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_009	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_010	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_011	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_012	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_013	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

Isolado	Gram de Ryu	O/F	HR em fumo	Enzima pectinolítica	Fosfatase redutora	Catalase	Manitol	Nitrato a nitrito
LPFG_015	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_016	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_017	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_018	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_019	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_020	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_021	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_022	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_023	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_024	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_025	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_026	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_027	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_028	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_029	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_030	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_031	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_032	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_033	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_034	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_035	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_036	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_037	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
LPFG_038	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

LPFG_039	Gram-Negativa	O/F	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
----------	---------------	-----	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Tabela 1 - Testes bioquímicos propostos por Schaad (2001) e os resultados encontrados para os isolados avaliados.

Assim, diante dos resultados percebe-se que, de maneira geral, os isolados bacterianos são Gram-negativos, positivos para os testes de oxidação e fermentação, fosfatase redutora, catalase, produção de ácidos a partir de carboidratos (manitol) e redutores de nitrato em nitrito. Além disso, mostram-se negativos aos testes de hipersensibilidade em fumo e produção de enzima pectinolítica em pimentão.

CONCLUSÃO

Concluiu-se então, de acordo com os testes bioquímicos descritos as bactérias avaliadas são, em grande maioria, pertencentes ao grupo das Enterobactérias. Nesse caso, descarta-se a possibilidade do patógeno ser *Ralstonia solacearum*, uma vez que esse se encontra no grupo das Betaproteobacterias. No caso dos isolados LPFG_018 e LPFG_036, os resultados diferem dos demais, podendo então dar indícios que se tratam de bactérias do grupo das Gammaproteobactérias.

O grupo das enterobactérias inclui diversas bactérias fitopatogênicas, como as do gênero *Brenneria*, *Dickeya*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Pantoea* e *Pectobacteria*. É o maior e mais variado grupo de bacilos Gram-negativos (Schaad, 2001). Segundo a literatura, apenas *Erwinia psidii* já foi descrita como causadora da seca de ponteiros de eucalipto no Brasil (Arriel *et al.*, 2014). De acordo com Coutinho *et al.* (2002) também foi possível encontrar *Pantoea eucalypti* causando o mesmo sintoma de necrose apical e seca de ponteiros em plantios de eucalipto na África do Sul. Sendo assim, os resultados bioquímicos então validam a necessidade de continuação dos estudos, através das ferramentas moleculares, a fim de descobrir à nível de gênero e espécie o patógeno estudado.

AGRADECIMENTOS

Ao pesquisador Luis Otávio Berian, pesquisador do Laboratório de Bacteriologia do Instituto Biológico de Campinas, por todo conhecimento repassado sobre o mundo das bactérias fitopatogênicas em plantas, principalmente na caracterização bioquímica do presente trabalho.

À empresa Eldorado Brasil, pela disponibilização das áreas e de seu corpo técnico para realização do trabalho.

Ao Laboratório de Patologia Florestal do Departamento de Proteção de Plantas da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP e ao Centro de Análises Genômicas

(Cagen) do Departamento de Genética da UNESP/Rubião Jr. de Botucatu.

REFERÊNCIAS

ARRIEL, D. A. A. et al., Wilt and die-back of *Eucalyptus* spp. caused by *Erwinia psidii* in Brazil. **Forest Pathology**. 44: 255-265. 2014.

COUTINHO et al., Bacterial blight and dieback of *Eucalyptus* species hybrids and clones in South Africa. **Plant Dis** 86:20-25. 2002.

HUGH, R. & LEIFSON E. The taxonomic significance of fermentative versus oxidative metabolism of carbohydrates by various Gram-negative bacteria. **Journal Bacteriological** 66:24-26. 1953.

IBÁ. 2016. **Relatório Indústria Brasileira de Árvores**. Disponível em: http://iba.org/images/shared/iba_2016.pdf. Acesso em: 09 abr. 2019.

IBÁ, 2019. **Relatório Indústria Brasileira de Árvores**. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf> Acesso em: 05 nov. 2020.

IBÁ, 2020. **Relatório Indústria Brasileira de Árvores**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf> Acesso em: 05 nov. 2020

LOZANO, J.C. & SEQUEIRA, L. Differentiation of races of *Pseudomonas solanacearum* by leaf infiltration technique. **Phytopathology** 60:833-838. 1970.

MARQUES *et al.*, Seca de ponteiros da goiabeira causada por *Erwinia psidii*: níveis de incidência e aspectos epidemiológicos. *Rev Bras Frutic* 29: 488-493. 2007.

RODRIGUES NETO, J., ROBBS, C. F. & YAMASHIRO, T. A bacterial disease of guava (*Psidium guava*) caused by *Erwinia psidii* sp. nov. **Fitopatologia Brasileira** 12:345-350. 1987.

ROMEIRO, R.S. **Bactérias Fitopatogênicas**. 5ª ed. Viçosa-MG. Editora UFV. 417p. 2005.

SCHAAD N. W., JONES J. B., CHUN W. Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. American Phytopathological Society Press. **Plant Pathology**. 50: 812-814. 2001.

SUSLOW, T.V., SCHROTH M.N. & ISAKA, M. Application of a rapid method for Gram differentiation of plant pathogenic and saprophytic bacteria without staining. **Phytopathology** 72:917-918. 1982.

CAPÍTULO 7

ANALYSIS OF CHLOROPLASTIDIAL SEQUENCES OF COLD-TOLERANT *Eucalyptus* AND *Corymbia* SPECIES

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 30/10/2020

Leandro de Siqueira

Itapetininga, São Paulo, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/8117124444025513>

Marcos Rafael Amâncio

International Paper do Brasil LTDA
Mogi Guaçu, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1221585185653756>

Evandro Vagner Tambarussi

Universidade Estadual do Centro-Oeste
UNICENTRO
Irati, PR, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3021997145272130>
<http://orcid.org/0000-0001-9478-5379>

Lucas Fernandes Rocha

Faculdade de Ciências Agrônômicas
Botucatu, São Paulo, Brazil
<http://lattes.cnpq.br/1499134273942358>

Alexandre Techy de Almeida Garrett

Universidade Estadual do Centro-Oeste
UNICENTRO
Irati, PR, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3414330479552770>

Daniel Barletta Sulis

North Carolina State University, Forest Biotech
Group
Raleigh, North Carolina, United States of
America
<http://lattes.cnpq.br/3354857707701735>

Andrea Nogueira Dias

Universidade Estadual do Centro-Oeste
UNICENTRO
Irati, PR, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9012244052533262>

ABSTRACT: The genus *Eucalyptus* and *Corymbia* comprises species planted worldwide, thus genetic characterization of eucalypt species has raised the interest from many researchers. The aim of this study is to analyze the evolutionary dynamics and phylogeny of nine cold-tolerant eucalypt species sequencing the JLA region of chloroplast DNA. We found a total of 175 mutations, most classified as single nucleotide polymorphism (SNPs). The species *Eucalyptus badjensis* and *Eucalyptus benthamii* presented a identical insertion of 25-bp, whereas *Eucalyptus platyphylla*, *Eucalyptus tereticornis* and *Eucalyptus robusta* presented a mutation of 28 bp. We also found a high mutation rate in *Corymbia torelliana* and *Corymbia eximia*, presenting large taxonomic differences with the genus *Eucalyptus*. Phylogenetic analysis revealed three different phylogeographic groups, being *C. torelliana* in a different group. The JLA region was informative for polymorphisms, becoming an important tool as a molecular marker. Therefore, these results may be very useful for genetic breeding and conservation genetics programs.

KEYWORDS: SNPs, polymorphism, in silico analysis, frost.

ANÁLISE DE SEQUÊNCIAS CLOROPLASTIDIAIS DE ESPÉCIES DE *EUCALYPTUS* E *CORYMBIA* TOLERANTES AO FRIO

RESUMO: Os gêneris *Eucalyptus* e *Corymbia* compreendem espécies plantadas por todo o mundo, portanto, a caracterização genética de espécies de eucalipto tem despertado o interesse de muitos pesquisadores. O objetivo deste estudo é analisar a dinâmica evolucionária e a filogenia de nove espécies de eucalipto tolerantes ao frio sequenciando a região JLA do DNA cloroplastidial. Encontramos um total de 175 mutações, em sua maioria classificadas como polimorfismo de único nucleotídeo, single nucleotide polymorphism (SNPs). As espécies *Eucalyptus badjensis* e *Eucalyptus benthamii* apresentaram uma inserção idêntica de 25-bp, enquanto *Eucalyptus platyphylla*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus robusta* apresentaram uma mutação de 28 bp. Também identificamos uma alta taxa de mutação em *Corymbia torelliana* e *Corymbia eximia*, as quais apresentaram ampla diferença taxonômica em relação ao gênero *Eucalyptus*. A análise filogenética revelou três grupos filogeográficos distintos, sendo *C. torelliana* em um grupo a parte. A região JLA foi informativa para polimorfismos, tornando-se uma importante ferramenta como marcador molecular. Assim, os resultados desta pesquisa podem ser muito úteis para programas de melhoramento genético e genética conservacionista.

PALAVRAS-CHAVE: SNPs, polimorfismo, análise in silico, geada.

1 | INTRODUCTION

The genus *Eucalyptus* corresponds to the most widely planted trees for tropical and subtropical climates around the world by its fast growth, plasticity and wood characteristics (Keane et al. 2000, Santos et al. 2019). Eucalypts are a group of trees belonging to the Myrtaceae botanical family, which contains the genera *Angophora*, *Eucalyptus* and *Corymbia*. The three genus contain 700 species, with the majority native from Australia, but they are also presented at a lower frequency in New Guinea, Indonesia, and the Philippines. The adaptation of *Eucalyptus* species to many edaphic and geographic conditions, due to phenotypic and genotypic plasticity (Prober et al. 2016). Across the world, the *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus pellita*, and their hybrids are the most of the planted species, representing more than 90% of the total *Eucalyptus* planted forests (Stanturf et al. 2013). Likewise, the genus *Corymbia* is closely related to the genus *Eucalyptus*, which is highly used in commercial plantations mainly because they are indicated to different soil and climatic conditions (McMahon et al. 2010). In the regions of occurrence of *Corymbia* spp. the incidence of frosts is mainly low to moderate (Boland et al. 2006).

Generally, the eucalypt species are intensively cultivated due to their easy adaptation, rapid growth and wood quality for cellulose, fiber panels, and charcoal production. Several species has been cultivated because its tolerance for extreme biotic and abiotic conditions, such as frosts, dries and fires (Hiwale 2015). According to the Brazilian Tree Industry (IBÁ

2019), the planted tree sector generated around US\$ 2.51 billion of revenue in federal, state and municipal taxes in Brazil, which corresponds to 0.9% of the total Brazilian Gross Domestic Product (GDP). Additionally, during the same period, the planted forests in Brazil totaled 7.84 million hectares (ha), representing an increase of 0.5% when compared to 2015, due exclusively to the increase of *Eucalyptus* plantations. This total area of planted forests corresponds to almost 1% of the Brazilian territory, occupying 5.67 million ha of *Eucalyptus* planted areas. Therefore, considering the economic and ecological relevance coupled to the social concerns of eucalypti species, and the limited number of species adopted in some regions of Southern Brazil due to frosts (Wreger et al. 2017), genetic studies are essential to improve our comprehension regarding the characteristics of these species.

Currently, the *Eucalyptus grandis* genome is commonly used as a reference in genetic studies for *Corymbia* and *Eucalyptus* species (Butler et al. 2017; Nascimento et al. 2017; Butler et al. 2018). However, the efficiency of using this data will depend on the similarities on genome structure of the species (Butler et al. 2017). For this purpose, the J_{LA} region of the plastid genome of plant species is commonly used as a tool for genetic studies. The J_{LA} region is an intergenic spacer that is found in one side of the chloroplast genome junctions, located between the LSC and IR regions, which has been used in molecular studies in *Eucalyptus* species because of the hypervariability of this chloroplast DNA region (Vaillancourt and Jackson 2000). These markers are informative for evolutionary studies among plants since they contain high polymorphism rates and conserved regions (Healey et al. 2018). Furthermore, previous studies of eucalypti species have already proven the relevance of chloroplast DNA for phylogenetic analysis (Sale, et al. 1996), genetic population structure (Jackson et al. 1999, McKinnon et al. 1999), and evolutionary studies (Jackson et al. 1999). Therefore, additional comprehension of genetic parameters is essential to go further in the current research status quo, improving the knowledge about population genetics and potentially use it for genetic breeding

Nonetheless, stagnation in the improvement in *Eucalyptus* volumetric growth is expected (Castro et al. 2016), which reinforces the substantial importance of genetics investigations to ensure the success of the forest breeding programs, and the better phylogeny comprehension of the species (Vaillancourt and Jackson 2000). Therefore, the aims of this study were: i) sequence the J_{LA} region of the chloroplast plastid (cpDNAs) of cold-tolerant *Eucalyptus* and *Corymbia* species; ii) characterize this region by identifying polymorphisms in cpDNAs and iii) perform phylogenetic analyzes of the species studied based on the JLA region.

2 | MATERIAL AND METHODS

2.1 Seedlings growing and in silico analysis

Young leaves were collected from seven *Eucalyptus* and two *Corymbia* species germinated from seeds provided by the Forestry Science and Research Institute (IPEF-Brazil) (Table 1).

Species	cpDNA Size (bp)
<i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden et Cabbage	589
<i>Eucalyptus badjensis</i> Beuzev. & Welch	583
<i>Corymbia eximia</i> (Schauer) K. D. Hill & L. A. S. Johnson	552
<i>Eucalyptus robusta</i> Smith	582
<i>Eucalyptus platyphylla</i> F. Mueller	585
<i>Eucalyptus doratoxylon</i> F. Mueller	556
<i>Eucalyptus leptophleba</i> F. Mueller	545
<i>Eucalyptus tereticornis</i> Smith	584
<i>Corymbia torelliana</i> (F. Mueller) K. D. Hill & L. A. S. Johnson	558

Table 1. Description of the *Eucalyptus* and *Corymbia* species used in the study and size of the chloroplastidial DNA samples

All species studied are cold toleran and therefore highly important to cold regions with the occurrence of frosts. Subsequently, the seeds were germinated in plastic tubes containing commercial substrate composed of a mixture of pine bark and vermiculite, under 50% shading in the tree nursery located at the Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), Irati, Paraná state, Brazil.

2.2 Molecular analysis

Young leaf tissues (0.1 g) of the one individual for each specie were used to DNA extraction according to the hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB) protocol (Doyle and Doyle 1990). The cpDNA of J_{LA} region were amplified by PCR, using specific primers cpDNAs (comprising the *rpl2-trnH* intergenic spacer). The primers used for J_{LA} region amplification were: *psbAF* 5'-GTTATGCATGAACGTAATGCTC-3' and *trnHR* 5'-CGCGCATGGTGGATTACAAATC-3' (Sang 1997). Amplification reactions were conducted in 50 mL final volume containing 5 mL of polymerase buffer *Taq* 10x (*Invitrogen*), 2 mL of *Taq* polimerase in 200 mM of each dNTP, 2 mM of $MgCl_2$, 100 mg.mL⁻¹ of BSA (bovine serum albumin), 10 rmoL of each *primer* and 20 ng of genomic DNA from each specie.

The PCR amplifications were performed in a 9700 GeneAmp thermal cycler (Applied

Biosystems). The cycles consisted of initial denaturation stage at 94 °C for 2 min, followed by 35 cycles at 94 °C for 1 min, 51 °C for 1 min, 72 °C for 1 min, and a final extension at 72 °C for 5 min. The quality of the amplification products was verified by electrophoresis on 0.8% agarose gel in 1x TAE buffer for 40 min at 80 V and colored using ethidium bromide. The fragments were visualized using a UV light source and photographed with a Kodak™ Digital camera. We used a 1 kb molecular marker (Invitrogen) to estimate the size of the amplification products. The PCR products were purified using the GFX™ PCR and Amersham Biosciences Gel Band purification kit and then quantified using the known weight pGEM standard. The sequencing was performed on an ABI 3100 automated sequencer (Applied Biosystems) using the DYnamic™ kit (Amersham Biosciences). Each PCR was sequenced using primers from GenBank database for the *psbA* region (5'-AGACGGTTTTCRGTGC-3') using the same amplification parameters used for the J_{LA} region.

2.3 Data analysis

In order to create the J_{LA} sequences, the PCR products were sequenced and aligned using ClustalW v1.8 (<http://www.clustal.org/clustal2/>). The exact position of the IR/LSC junctions was determined by DNA sequencing of the J_{LA} regions for all samples. A comparative analysis was performed for the junction of the J_{LA} region using the sequence previously developed for *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (Vaillancourt and Jackson 2000).

2.4 Phylogenetic analyses

Phylogenetic relationships were estimated applying the maximum likelihood method using *PhyML* (<http://www.atgc-montpellier.fr/phyml/>). Additionally, the Bayesian inference was estimated using *MrBayes* (<http://morphbank.ebc.uu.se/mrbayes>) for 22 models proposed by Kimura (1981). We used the Akaike Information Criterion (AIC) to select the distribution model (Kelchner and Thomas 2007) with better estimations using *jModeltest* (<http://darwin.uvigo.es>). The AIC is based on the concept of entropy, allowing the development of a reliable measurement of the information lost when using a model to describe reality (Akaike 1977). This method analyzes the trade-off between the model fit and complexity to achieve the best predictive ability. Therefore, we considered the lowest value of AIC to perform the selection of the best model. To construct the phylogenetic tree the species *Cedrus deodara* and *Juniperus virginiana* were used as outgroups.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

The J_{LA} region of the chloroplast DNA presented a total of 175 mutations among species, corroborating that J_{LA} region is considered effective to detect polymorphisms on *Eucalyptus* and *Corymbia* species, being polymorphisms commonly found in non-coding regions of the chloroplast (Andrade et al. 2018). The presence of two *Corymbia* species

SNPs are highly abundant in the different kinds of genomes. Surprisingly, we found a more frequent presence of transversions compared to transition variations that seems to be the most common SNPs class in plant genomes (Zhao et al. 2019).

Studies of chloroplastial DNA showed intraspecific polymorphisms and related haplotypes of eucalypti species among *Symphyomyrtus* (Jackson et al. 1999, Vaillancourt and Jackson 2000) and *Monocalyptus* (McKinnon et al. 1999, Wheeler and Byrne 2006) subgenera as well. In other study, Bayly et al. (2013) observed about 1000 insertions and deletions for different genera of the eucalypti group, where 25% were variations in lengths of mononucleotide repeats and 48% were single or multiple duplications of flanking regions.

Mutations are involved in evolutionary processes, inducing genetic diversity (Ulukapi and Nasircilar 2018) and are important to phylogeny studies, as demonstrated in the pioneering study by Vaillancourt et al. (2000). Additionally, there was a huge presence of indels for the species *E. badjensis*, for which was observed insertions of base pairs as well, confirming the presence of mutations in this species. Besides that, the polymorphisms observed for the species in this study can be applied in the development of cpDNA markers, as they are a promising tool for phylogenetic analyses, breeding, and conservation programs (Andrade et al. 2018).

Of the 22 models adjusted, the model TPM1uf (Kimura 1981) was selected to estimate the phylogenetic tree because the lowest AIC value, indicating that the model provides an error distribution with the smallest variation from the original patterns. We also used two species from different genus (*Cedrus deodara* and *Juniperus virginiana*) in order to perform a comparison between contrasting individuals. Therefore, the TPM1uf model organized different groups according to the genetic variation. As expected, *C. deodara* and *J. virginiana* diverged in two different groups because of the genetic distance compared to the others. We noticed the prominence of *C. torelliana* in a separate group from the other species (Figure 2). The distance among species in the dendrogram showed in Figure 2 reflected their geographical distribution in Australia (Figure 3).

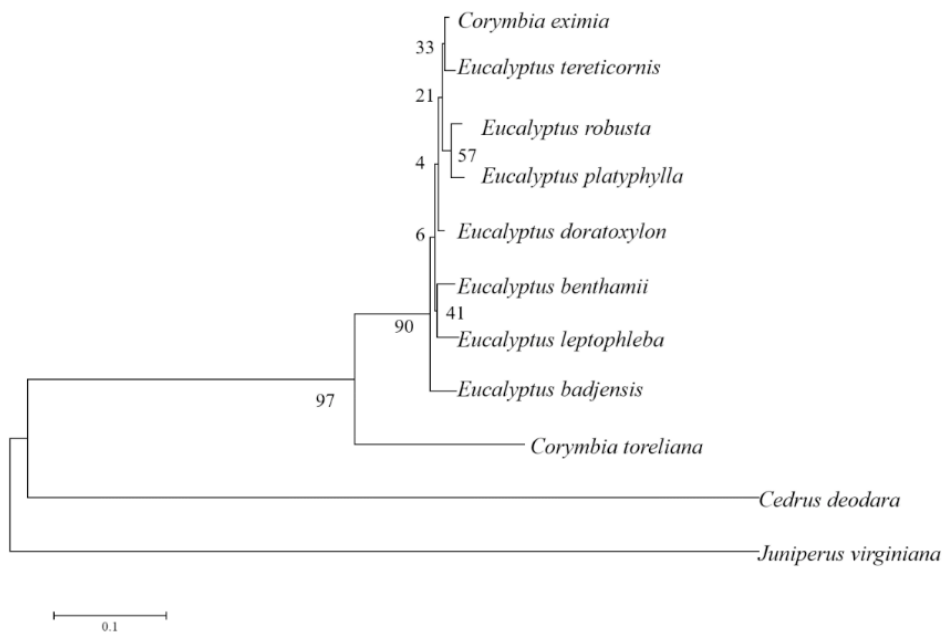


Figure 2. Phylogenetic tree constructed and implemented with the model TPM1uf (Kimura 1981) for the *Eucalyptus* and *Corymbia* species evaluated in this study, with *Cedrus deodara* and *Juniperus virginiana* as outgroups.

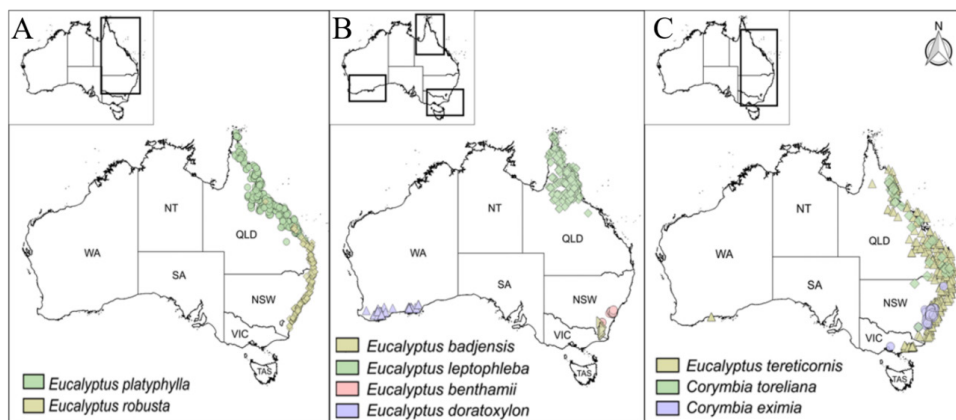


Figure 3. Geographic distribution of the species: (A) *Eucalyptus platyphylla* and *Eucalyptus robusta*. (B) *Eucalyptus badjensis*, *Eucalyptus leptophleba*, *Eucalyptus benthamii* and *Eucalyptus doratoxylon*. (C) *Eucalyptus tereticornis*, *Corymbia torelliana* and *Corymbia eximia*.

The large taxonomic differences within eucalypt species caused a new classification of the genus. Furthermore, the change from *Eucalyptus* to *Corymbia* was created to encompass 133 eucalypt species. Therefore, the presence of *C. torelliana* in a separate clade, while *C. eximia* was paraphyletic with *Eucalyptus* species can be a result of mutation

process, in contrast with the observed by Bayly et al. (2013) and Schuster et al. (2018). Besides that, the difference may be due to their different taxonomic levels as adopted by Schuster et al. (2018), that considered *C. eximia* in the subgenus *Blakella* section *Naviculares* *C. torelliana* in the subgenus *Blakella* section *Torellianae*, being the former monophyletic. Furthermore, based on chloroplastial sequences, Bayly et al. (2013) observed different nodes on phylogenetic analysis according to the origin region of the *Eucalyptus* species.

Speciation is an evolutionary process that is considered for evolutionary and conservation studies (Wang et al. 2017), however, assessing how species are formed and identifying these processes still remain major challenges. The changes caused by speciation occur slowly and the inferences of each speciation are generally made from pre-specified patterns. Considering that the occurrence of some species evaluated in this study is in adjacent and concomitant areas, it suggests a parapatric speciation, which occurs in a continuous environment where divergent species are adjacently and staggered distributed or with phenological differences (Foster et al. 2007). Such specification has already been suggested for *Eucalyptus* species (Healey et al. 2018). Another example that can be interpreted this way is seen by Williams and Potts (1996), that observed phenotypic contrasts for eucalypti species from sea level to the mountainous regions in Tasmania, Australia, observing hybrid zones with intermediate phenotypes of different species.

Another possible process that may have occurred is the sympatric speciation, that occurs for species distributed in overlapping areas where the gene flow is occurring, generating infertile hybrids from a single ancestral (Foote 2018). However, the hybrids fertility is restored by chromosomal number duplication, allowing the chromosomes pairing and meiosis, generating then fertile hybrids. Additionally, diploid hybridization can also culminate in speciation without polyploid events. It must also be considered the occurrence of different evolutionary mechanisms simultaneously (Rutherford et al. 2018).

In conclusion, the small chloroplast J_{LA} region proved to be informative for polymorphism and suitable for phylogeny and evolutionary studies of *Eucalyptus* and *Corymbia* species. Moreover, the information provided by the J_{LA} analysis can be adopted in plant breeding programs.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001. Evandro V. Tambarussi is supported by CNPq research fellowships (Project: 304899/2019-4).

REFERENCES

AKAIKE, H. On entropy maximization principle. In: KRISHNAIAH, P.R. (eds) **Applications of statistics**. Amsterdam: North-Holland, 1977, p. 27-41.

ANDRADE, M.C.; PEREK, M.; PEREIRA, F.B.; MORO, M; TAMBARUSSI, E.V. **Quantity, organization, and distribution of chloroplast microsatellites in all species of Eucalyptus with available plastome sequence.** Crop Breeding and Applied Biotechnology, v.18, n. 1, p. 97-102, 2018.

BAYLY, M.J.; RIGAULT, P.; SPOKEVICIUS, A.; LADIGES, P.Y.; ADES, P.K.; ANDERSON, C.; BOSSINGER, G.; MERCHANT, A.; UDOVICIC, F.; WOODROW, I.E.; TIBBITS, J. **Chloroplast genome analysis of Australian eucalypts – *Eucalyptus*, *Corymbia*, *Angophora*, *Allosyncarpia* and *Stockwellia* (Myrtaceae).** Molecular Phylogenetics and Evolution, v. 69, n.3, p. 704-716, 2013.

BOLAND, D.J.; BROOKER, M.I.H.; CHIPPENDALE, G.M.; HALL, N.; HYLAND, B.P.M.; JOHNSTON, R.D.; KLEINIG, D.A.; MCDONALD, M.W.; TURNER, J.D. **Forest trees of Australia.** Collingwood: CSIRO publishing, 2006. 769 p.

BUTLER, J.B.; FREEMAN, J.S.; POTTS, B.M.; VAILLANCOURT, R.E.; GRATTAPAGLIA, D.; SILVA-JUNIOR, O.B.; SIMMONS, B.A.; HEALEY, A.L.; SCHMUTZ, J.; BARRY, K.W.; LEE, D.J.; HENRY, R.J.; KING, G.J.; BATEN, A.; SHEPHERD, M. **Annotation of the *Corymbia* terpene synthase gene family shows broad conservation but dynamic evolution of physical clusters relative to *Eucalyptus*.** Heredity, v. 121, n. 1, p. 87-104, 2018.

BUTLER JB, VAILLANCOURT RE, POTTS BM, LEE DJ, KING GJ, BATEN A, SHEPHERD M AND FREEMAN JS. **Comparative genomics of *Eucalyptus* and *Corymbia* reveals low rates of genome structural rearrangement.** BMC Genomics, v. 18, n. 397, p. 1-13, 2017.

CASTRO, C.A.O.; RESENDE, R.T.; BHERING, L.L.; CRUZ, C.D. **Brief history of Eucalyptus breeding in Brazil under perspective of biometric advances.** Ciência Rural, v. 46, n. 9, p. 1585-1593, 2016.

CHAGNÉ, D.; BATLEY, J.; EDWARDS, D.; FORSTER, J.W. Single Nucleotide Polymorphism Genotyping in Plants. In: ORAGUZIE, N.C.; RIKKERINK, E.H.A.; GARDINER, S.E.; DE SILVA, H.N. (eds) **Association Mapping in Plants.** New York: Springer, 2007, p. 77-94.

DOYLE, J.J.; DOYLE, J.L. **Isolation of plant DNA from fresh tissue.** Focus, v. 12, p. 13-15, 1990.

FOSTER, S.A.; MCKINNON, G.E.; STEANE, D.A.; POTTS, B.M.; VAILLANCOURT, R.E. **Parallel evolution of dwarf ecotypes in the forest tree *Eucalyptus globulus*.** New Phytologist, v. 175, n. 2, p. 370-380, 2007.

FOOTE, A.D. **Sympatric speciation in the genomic era.** Trends in ecology & evolution, v. 33, n. 2, p. 85-95, 2018.

HEALEY, A.; LEE, D.J.; FURTADO, A.; HENRY, R.J. **Evidence of inter-sectional chloroplast capture in *Corymbia* among sections *Torellianae* and *Maculatae*.** Australian Journal of Botany, v. 66, n. 5, p. 369-378, 2018.

HIWALE, S. *Eucalyptus (Eucalyptus sp.)*. In: **Sustainable Horticulture in Semiarid Dry Lands.** New Delhi: Springer, 2015, p. 301-309.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Anual 2019.** Brasília: IBA, 2019. 80 p.

JACKSON, H.D.; STEANE, D.A.; POTTS, B.M.; VAILLANCOURT, R.E. **Chloroplast DNA evidence for reticulate evolution in Eucalyptus (Myrtaceae)**. *Molecular Ecology* v. 8, n. 5, p. 739-751, 1999.

KEANE, P.J.; KILE, G.A.; PODGER, F.D.; BROWN, B.N. **Diseases and pathogens of eucalypts**. Collingwood: CSIRO publishing, 2000. 523 p.

KELCHNER, S.A.; THOMAS, M.A. **Model use in phylogenetics: nine key questions**. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 22, p. 87–94, 2007.

KIMURA, M. **Estimation of evolutionary distances between homologous nucleotide sequences**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 78, n. 1, p. 454-458, 1981.

MCKINNON, G.E.; VAILLANCOURT, R.E.; JACKSON, H.D.; POTTS, B.M. **Chloroplast Sharing in the Tasmanian Eucalypts**. *Evolution*, v. 55, n. 4, p. 703-711, 2001.

MCPMAHON, L.; GEORGE, B.; HEAN, R. ***Corymbia maculata*, *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* and *Corymbia henryi***. PRIMEFACT 1073, New West Wallis, p. 1-4, 2010.

MORGIL, H.; GERCEK, Y.C.; TULUM, I. Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs) in Plant Genetics and Breeding. In: CALISKAN, M.; EROL, O.; ÖZ, G.C.C. (eds) **Genetic Polymorphisms**. London: IntechOpen, 2020, p. 1-12.

NASCIMENTO, L.C.; SALAZAR, M.M.; LEPIKSON-NETO, J.; CAMARGO, E.L.O.; PARREIRAS, L.S.; PEREIRA, G.A.G.; CARAZZOLLE, M.F. **EUCANEXT: an integrated database for the exploration of genomic and transcriptomic data from Eucalyptus species**. *Database*, 2017(bax079), p. 1-12, 2017.

PROBER, S.M.; POTTS, B.M.; BAILEY, T.; BYRNE, M.; DILLON, S.; HARRISON, P.A.; HOFFMANN, A.A.; JORDAN, R.; MCLEAN, E.H.; STEANE, D.A.; STOCK, W.D.; VAILLANCOURT, R.E. **Climate adaptation and ecological restoration in eucalypts**. *Proceedings of the Royal Society of Victoria*, v. 128, n. 1, p. 40-53, 2016.

RUTHERFORD, S.; ROSSETTO, M.; BRAGG, J.G.; MCPHERSON, H.; BENSON, D.; BONSER, S.P.; WILSON, P.G. **Speciation in the presence of gene flow: population genomics of closely related and diverging Eucalyptus species**. *Heredity*, v. 121, p. 2, p. 126-141, 2018.

SALE, M.M.; POTTS, B.M.; WEST, A.K.; REID, J.B. **Relationships within Eucalyptus (Myrtaceae) using PCR-amplification and southern hybridisation of chloroplast DNA**. *Australian Systematic Botany*, v. 9, n. 3, p. 273-282, 1996.

SANG, T.; CRAWFORD, D.; STUESSY, T. **Chloroplast DNA phylogeny, reticulate evolution, and biogeography of *Paeonia* (Paeoniaceae)**. *American Journal of Botany*, v. 84, n. 8, p. 1120-1120, 1997.

SANTOS, B.M. dos; ZIBRANDTSEN, J.F.S.; GUNBILIG, D.; SØRENSEN, M.; COZZI, F.; BOUGHTON, B.A.; HESKES, A.M.; NEILSON, E.H.J. **Quantification and Localization of Formylated Phloroglucinol Compounds (FPCs) in Eucalyptus Species**. *Frontiers in Plant Science* v. 10, n. 186, p. 1-14, 2019.

STANTURF, J.A.; VANCE, E.D.; FOX, T.R.; KIRST, M. **Eucalyptus beyond its native range: Environmental issues in exotic bioenergy plantations**. *International Journal of Forestry Research* v. 2013, n. 2, p. 1-5, 2013.

SCHUSTER, T.M.; SETARO, S.D.; TIBBITS, J.F.G.; BATTY, E.L.; FOWLER, R.M.; MCLAY, T.G.B.; WILCOX, S.; ADES, P.K.; BAYLY, M.J. **Chloroplast variation is incongruent with classification of the Australian bloodwood eucalypts (genus *Corymbia*, family Myrtaceae)**. PLoS ONE, v. 13, n. 4, e0195034, 2018.

ULUKAPI, K.; NASIRCILAR, A.G. Induced mutation: creating genetic diversity in plants. In: EL-ESAWI, M.A. (eds) **Genetic Diversity in Plant Species-Characterization and Conservation**. London: IntechOpen, 2018, p. 41-55.

VAILLANCOURT, R.E.; JACKSON, H.D. **A chloroplast DNA hypervariable region in eucalypts**. Theoretical and Applied Genetics, v. 101, n. 3, p. 473-477, 2000.

WANG, J.; AI, B.; KONG, H.; KANG, M. **Speciation history of a species complex of *Primulina eburnea* (Gesneriaceae) from limestone karsts of southern China, a biodiversity hot spot**. Evolutionary Applications, v. 10, n. 9, p. 919-934, 2017.

WHEELER, M.A.; BYRNE, M. **Congruence between phylogeographic patterns in cpDNA variation in *Eucalyptus marginata* (Myrtaceae) and geomorphology of the Darling Plateau, south-west of Western Australia**. Australian Journal of Botany, v. 54, n. 1, p. 17-26, 2006.

WILLIAMS, K.J.; POTTS, B.M. **The natural distribution of *Eucalyptus* species in Tasmania**. Tasforests, v. 8, p. 39-165, 1996.

WREGER, M.S.; CARAMORI, P.H.; FRITZSONS, E.; PARTALA, A.; CHRISTENSEN, G.L. **AGROCLIMATIC ZONING FOR EUCALYPTUS IN THE STATE OF PARANÁ AND THE NEW SCENARIOS DEFINED BY GLOBAL CLIMATE CHANGE**. REVISTA GEAMA, V. 3, N. 4, 216-228, 2017.

ZHAO, Y.; WANG, K.; WANG, W.; YIN, T.; DONG, W.; XU, C. **A high-throughput SNP discovery strategy for RNA-seq data**. BMC Genomics, v. 20, n. 160, p. 1-10, 2019.

CAPÍTULO 8

REGENERAÇÃO NATURAL EM ÁREAS DE CAATINGA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE CONSERVAÇÃO

Data de aceite: 04/01/2021

Data da submissão: 25/09/2020

Natalie da Mota Soares

Secretaria Municipal de Meio Ambiente de
Aracaju
Aracaju-SE
<http://lattes.cnpq.br/1710569967129393>

Robério Anastácio Ferreira

Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Aracaju-SE
<http://lattes.cnpq.br/2608135146877558>

Janisson Batista de Jesus

Programa de Pós-graduação em
Sensoriamento Remoto, Universidade Federal
do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Porto Alegre-RS
<http://lattes.cnpq.br/0477204865125542>

Higor dos Santos Vieira

Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Aracaju-SE
<http://lattes.cnpq.br/2482126212864729>

Diogo Gallo de Oliveira

Universidade Federal do Vale do São Francisco
(UFVFS)
Petrolina-PE
<http://lattes.cnpq.br/0191235250110433>

Ana Cecília da Cruz Silva

Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente,
Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Aracaju-SE
<http://lattes.cnpq.br/2417665213910647>

Fernando Luis Hillebrand

Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS)
Rolante-RS
<http://lattes.cnpq.br/7463722965745775>

Cristiano Niederauer da Rosa

Programa de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, Universidade Federal
do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Porto Alegre-RS
<http://lattes.cnpq.br/6771309461719180>

RESUMO: Estudos de regeneração natural na Caatinga são fundamentais para compreender a resiliência de suas tipologias vegetacionais. Sendo assim, o presente estudo foi realizado com o objetivo de analisar a regeneração natural de espécies florestais nativas da Caatinga, no Semiárido sergipano, por meio de parâmetros estruturais da vegetação, avaliando-se a capacidade de resiliência de três ambientes sob diferentes níveis de conservação. As análises foram realizadas na Unidade de Conservação Monumento Natural Grota do Angico, considerando-se os seguintes ambientes: na Zona Primitiva, Zona de Uso Extensivo e Zona de Recuperação. Para isto, foram instaladas 5 parcelas de 2 x 20 m em cada ambiente, fazendo-se as medições, coletas, identificação e registro de todos os indivíduos de espécies lenhosas vivas, com altura mínima de 15 cm e diâmetro ao nível do solo menor que 3 cm. Posteriormente, foram analisadas as classes de tamanho, e a estrutura, tanto horizontal quanto vertical. As espécies *Poincianella pyramidalis*, *Bauhinia cheilantha*, *Jatropha mollissima* e *Commiphora*

leptophloeos tiveram, de forma geral, maior contribuição na regeneração natural total para os ambientes estudados. Cada ambiente analisado apresentou suas espécies mais representativas quanto à densidade, frequência e regeneração natural, em função também das classes de tamanho.

PALAVRAS-CHAVE: Floresta tropical seca, fitossociologia, estrutura horizontal e vertical.

NATURAL REGENERATION IN CAATINGA AREAS IN DIFFERENT STAGES OF CONSERVATION

ABSTRACT: Studies of natural regeneration in the Caatinga are fundamental to understand the resilience of its vegetation typologies. Thus, the present study was carried out with the objective of analyzing the natural regeneration of native forest species of the Caatinga, in the semi-arid Sergipe, through structural parameters of the vegetation, evaluating the resilience of three environments under different conservation levels. The analyzes were carried out in the Natural Monument Conservation Unit of the Angico, considering the following environments: in the Primitiva Zone, Extensive Use Zone and Recovery Zone. For this purpose, five 2 x 20 m plots were installed in each environment. Measurements, collection, identification and recording of all individuals of living woody species, with a minimum height of 15 cm and a diameter at ground level of less than 3 cm. Subsequently, the size classes, and the structure, both horizontal and vertical, were analyzed. The species *Poincianella pyramidalis*, *Bauhinia cheilantha*, *Jatropha mollissima* and *Commiphora leptophloeos* had, in general, greater contribution in total natural regeneration for the studied environments. Each analyzed environment presented its most representative species regarding density, frequency and natural regeneration, also in function of size classes.

KEYWORDS: Dry tropical forest, phytosociology, horizontal and vertical structure.

1 | INTRODUÇÃO

O conhecimento relacionado às características da floresta, como a sua composição e estrutura, pode servir de forma incisiva para escolha de medidas que visem orientar e acelerar o processo de regeneração (Guimarães *et al.*, 2016). É importante procurar compreender a regeneração natural de uma área, por meio das características florísticas e estruturais em cada etapa do processo sucessional da floresta, uma vez que as condições favoráveis aos habitats não são constantes (Falcão *et al.*, 2015).

O Bioma Caatinga, apesar da sua expansão territorial e forte antropização no país, é um dos biomas que se tem pouco conhecimento em termos de funcionamento, bem como da resposta da composição e estrutura dos seus ecossistemas ao longo do tempo (Cavalcanti *et al.*, 2009). Mesmo considerando a sua importância, ainda há uma grande lacuna de conhecimento sobre a sua vegetação e as suas interações com o meio ambiente, sendo escassos os trabalhos neste bioma (Marangon *et al.*, 2016).

Vários fatores podem comprometer a biodiversidade e a sustentabilidade ecológica deste ambiente, afetando diretamente a estrutura e a dinâmica natural da Caatinga,

tais como: as características das perturbações antrópicas (tipo, tamanho, forma), o tipo de vizinhança, o grau de isolamento e o nível da sucessão da vegetação (Dario, 2018), sendo necessário, então, compreender-se o seu comportamento ecológico mediante perturbações, e saber a capacidade regenerativa dos seus ecossistemas.

Estudos de regeneração da vegetação de Caatinga são vistos em alguns estados do Nordeste, dentre eles: Pernambuco (Calixto Júnior e Drumond, 2014), Paraíba (Santos *et al.*, 2017), Piauí (Fernandes *et al.*, 2017), Rio Grande do Norte (Lucena *et al.*, 2017) e Ceará (Lima e Coelho, 2018). Porém, no estado de Sergipe, há uma grande carência desse tipo de estudo, o que resulta na falta de conhecimento e de compreensão das respostas ecológicas sucessionais da Caatinga local, sem saber, portanto, o potencial de cada espécie florestal nesse processo, bem como capacidade de resiliência da região semiárida no Estado.

Portanto, este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a regeneração natural de espécies florestais nativas da Caatinga, na Unidade de Conservação Monumento Natural Grota do Angico, no Semiárido sergipano, por meio de parâmetros estruturais da vegetação, visando compreender a dinâmica florestal e avaliando-se a capacidade de resiliência de três ambientes sob diferentes estádios de conservação.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área estudada está delimitada em um fragmento de Caatinga (cerca de 2.138 ha) o qual faz parte do Monumento Natural Grota do Angico (MONA), uma Unidade de Conservação (UC) de Proteção Integral estadual, localizada entre as coordenadas UTM (E;N): 637.270,590;8.935.547,258 m e 649.298,966;8.925.786,101 m, *Datum* Horizontal SIRGAS 2000. O MONA Grota do Angico abrange os municípios de Poço Redondo e Canindé de São Francisco, no Alto Sertão do estado de Sergipe. As áreas experimentais foram selecionadas de acordo com o zoneamento ambiental, definido no Plano de Manejo do Monumento Natural Grota do Angico, considerando-se três áreas segundo o grau de conservação: a Zona Primitiva, que envolve os remanescentes mais conservados; a Zona de Uso Extensivo, considerada uma zona de nível médio de degradação; e a Zona de Recuperação, uma área muito alterada (SEMARH, 2011).

Esta região possui um clima do tipo BSh segundo a classificação de Köppen, tendo uma precipitação anual inferior a 700 mm e uma temperatura média anual variando entre 24 a 26 °C, estando inserida na região semiárida do país (Alvares *et al.*, 2013). A vegetação da área está dividida em: vegetação fechada com florestas hipoxerófitas caducifólias e aberta em estágio de regeneração, com pastagens e áreas abandonadas, com solos salinizados (Ribeiro e Mello, 2007).

2.2 Instalação das parcelas, avaliações e análises

Os dados sobre a regeneração natural foram obtidos a partir da instalação de 5 parcelas de 2 x 20 m em cada um dos ambientes selecionados, dispostas paralelamente à margem do Rio São Francisco, obedecendo-se à distância de 50 m uma da outra. No total, foram instaladas 15 unidades amostrais, correspondendo a 600 m². Foram amostrados todos os indivíduos de espécies lenhosas (vivas), com altura mínima de 15 cm e diâmetro ao nível do solo (DNS) menor que 3 cm, medidos, respectivamente, com o auxílio de uma escala métrica de madeira, com graduação em milímetros, e um paquímetro analógico de plástico com precisão de 0,05 mm.

O levantamento dos dados sobre o estrato regenerativo ocorreu nos meses de janeiro e maio de 2012, onde também foi coletado material botânico de todas as espécies encontradas nas unidades amostrais, o qual foi devidamente herborizado conforme recomendações de Mori *et al.* (1989), prensado, colocado em estufa e levado ao Herbário da Universidade Federal de Sergipe para a identificação.

2.3 Análise da regeneração natural

2.3.1 Classes de tamanho

Para a análise dos aspectos estruturais do estrato regenerativo, os indivíduos avaliados foram estratificados em quatro classes de tamanho:

Classe 1 - indivíduos com altura variando de 0,15 m a 0,49 m;

Classe 2 - indivíduos com altura variando de 0,50 m a 1,49 m;

Classe 3 - indivíduos com altura variando de 1,50 m a 2,50 m;

Classe 4 - indivíduos com altura superior a 2,50 m.

A estratificação foi baseada e adaptada de acordo com Pereira *et al.* (2001), que utilizaram a classificação de Finol (1971), ajustada às condições da Caatinga. A partir da divisão em classes de altura, foram estimados os valores de categoria de tamanho relativa dos indivíduos, com o objetivo de promover a estimativa dos índices de regeneração natural por classe de tamanho e regeneração natural total das espécies estudadas. Seguem abaixo as equações 1 e 2 utilizadas para os referidos parâmetros, conforme Finol (1971) e Carvalho (1984):

$$CAT_{ij} = (VFI \times nI) + (VFII \times nII) + (VFIII \times nIII) + (VFIV \times nIV) \quad (1)$$

$$CRT_{ij} = \frac{CAT_{ij}}{\sum CAT_{ij}} \quad (2)$$

Sendo:

CAT_{ij} = Categoria de Tamanho Absoluta;

VF = Valor Fitossociológico simplificado (dividido por 10), que corresponde à proporção de cada indivíduo em cada categoria de tamanho;

I = categoria de tamanho I;
 II = categoria de tamanho II;
 III = categoria de tamanho III;
 IV = categoria de tamanho IV;
 n = número de indivíduos;
 CRT_{ij} = Categoria de Tamanho Relativa.

2.3.2 Parâmetros da estrutura horizontal

A estrutura horizontal do componente regenerativo foi caracterizada a partir dos valores absolutos e relativos de densidade e frequência das espécies presentes nas unidades amostrais. A densidade absoluta corresponde ao número de indivíduos de uma determinada espécie na área, enquanto que densidade relativa é a relação entre o número de indivíduos de uma espécie e o número de indivíduos de todas as espécies, a qual é expressa em porcentagem. Os valores foram obtidos através das equações 3 e 4 (Volpato, 1994):

$$DA_{ij} = \frac{n_{ij}}{A} \quad (3)$$

$$DR_{ij} = \left[\frac{DA_{ij}}{\sum_{i=1}^{n_j} DA_{ij}} \right] * 100 \quad (4)$$

Sendo:

DA_{ij} = Densidade Absoluta da i-ésima espécie, na j-ésima classe de regeneração natural;

n_{ij} = número de indivíduos da i-ésima espécie, na j-ésima classe de regeneração natural;

n_j = número de classes da regeneração natural;

A = Área amostrada (ha);

DR_{ij} = Densidade Relativa da i-ésima espécie, na j-ésima classe de regeneração natural.

A frequência representa a probabilidade de se encontrar uma espécie em uma unidade amostral, e o seu valor indica o número de vezes que a espécie ocorre, em um dado número de amostras. Esse parâmetro pode ser expresso tanto em valores absolutos como em valores relativos, conforme as equações 5 e 6:

$$FA_{ij} = \left[\frac{U_{ij}}{U_c} \right] \quad (5)$$

$$FR_{ij} = \left[\frac{FA_{ij}}{\sum_{j=1}^{n_j} FA_{ij}} \right] \times 100 \quad (6)$$

Sendo:

FA_{ij} = Frequência Absoluta da i -ésima espécie na comunidade vegetal, na j -ésima classe de regeneração natural;

U_{ij} = número de unidades amostrais em que a i -ésima espécie ocorre, na j -ésima classe de regeneração natural;

U_t = número total de unidades amostrais;

FR_{ij} = Frequência Relativa da i -ésima espécie na comunidade vegetal na j -ésima classe de regeneração natural (%);

n_j = número de classes de altura de regeneração natural.

2.3.3 Parâmetros da estrutura vertical

O estudo da estrutura vertical permite obter informações mais detalhadas sobre o comportamento das espécies em regeneração, evitando que as classes de menor tamanho apresentem maior peso na estrutura da comunidade em razão da maior densidade, podendo desta forma, mascarar aspectos importantes quanto à dinâmica da sucessão vegetal e a contribuição de cada espécie nas fases do processo. Para o cálculo da estrutura vertical, foi utilizada a metodologia de Volpato (1994), obtendo-se o índice de regeneração natural por classe de tamanho de planta (RNC_{ij}). A regeneração natural total por espécie (RNT_i) é obtida a partir do somatório dos índices de regeneração por classe de tamanho. As expressões 7 e 8 apresentam o cálculo de RNC_{ij} e RNT_i :

$$RNC_{ij} = \frac{DR_{ij} + FR_{ij} + CRT_{ij}}{3} \quad (7)$$

$$RNT_i = \frac{\sum RNC_{ij}}{4} \quad (8)$$

Sendo:

RNC_{ij} = estimativa da Regeneração Natural por Classe da i -ésima espécie na comunidade vegetal, na j -ésima classe de regeneração natural (%);

DR_{ij} = Densidade Relativa da i -ésima espécie, na j -ésima classe de regeneração natural;

FR_{ij} = Frequência Relativa da i -ésima espécie na comunidade vegetal na j -ésima classe de regeneração natural (%);

CRT_{ij} = Categoria Relativa de Tamanho da i -ésima espécie na comunidade vegetal, na j -ésima classe de regeneração natural (%);

RNT_i = estimativa da Regeneração Total da i -ésima espécie.

Os dados dos parâmetros estruturais foram processados no Mata Nativa 2.10® (CIENITEC, 2006).

3 | RESULTADOS

3.1 Parâmetros estruturais da regeneração natural na distribuição das alturas

A grande maioria dos indivíduos jovens foi obtida no ambiente menos antropizado da área de estudo, a Zona Primitiva (Figura 1). De maneira geral, as espécies que se encontravam em uma fase mais avançada do ciclo vegetativo (Classes III e IV) foram pouco registradas em todo o levantamento, abrangendo apenas 19% dos indivíduos amostrados nos três ambientes durante a primeira avaliação. Aliado a isso, 50% dos indivíduos com altura acima de 1,50 m (Classes III e IV) foram encontrados na Zona Primitiva.

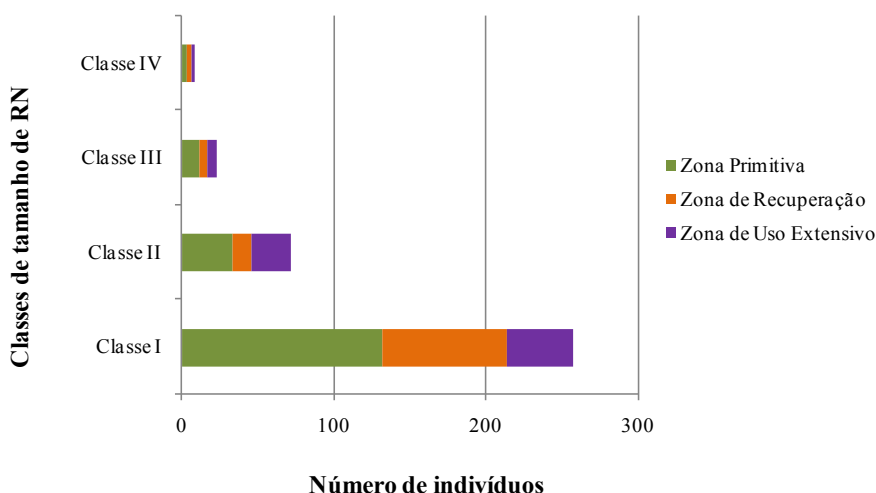


Figura 1 – Gráfico de ocorrência geral dos indivíduos por classe de tamanho de regeneração natural nas áreas de estudo no MONA Natural Grota do Angico, Sergipe, 2012.

Na primeira avaliação (janeiro), foi observado que na Zona Primitiva cerca de 81% dos indivíduos apresentavam altura inferior a 1,50 m pertencendo, portanto, às Classes I e II, com predomínio da primeira (51%). Os demais indivíduos estavam compreendidos nas classes de tamanho III e IV, representando 15% e 4%, respectivamente. A Zona de Uso Extensivo apresentou distribuição semelhante, onde cerca de 88% dos indivíduos pertenciam às classes de tamanho I e II. Já na Zona de Recuperação, formada pelas áreas em pior estado de degradação, o número de indivíduos pertencentes à classe de tamanho I foi superior às demais, atingindo 63% dos indivíduos.

Na segunda avaliação, em maio de 2012, dos 201 indivíduos avaliados, a sua quase totalidade foi representada pelas Classes I e II de tamanho de regeneração, correspondentes a 83,5% e 14%, respectivamente. O pequeno percentual apresentado

pelas Classes III e IV (2,5%) demonstra que algumas das espécies observadas na primeira avaliação posteriormente desapareceram da área.

3.2 Parâmetros estruturais da regeneração natural na estrutura horizontal

O comportamento das espécies amostradas com relação à frequência de indivíduos nos ambientes estudados e a sua ocorrência no primeiro mês (Tabela 1) indicou que os maiores valores de densidade das espécies se deram na Zona Primitiva (DA = 3.350 indivíduos ha⁻¹), sendo a Classe I detentora dos valores mais elevados (DA= 1.750 indivíduos ha⁻¹). A Zona de Uso Extensivo apresentou uma densidade total (1.700 indivíduos ha⁻¹) superior à de Recuperação (1.500 indivíduos ha⁻¹), influenciada pelos valores das Classes I e, principalmente, II. Estas Zonas também tiveram uma sequência divergente da Zona Primitiva, em função das primeiras Classes, onde a da Zona de Recuperação teve a menor densidade (100 indivíduos ha⁻¹) na Classe II quando comparada às demais, enquanto que a Zona de Uso Extensivo teve o maior valor (900 indivíduos ha⁻¹), exatamente nesta Classe.

Analisando-se a densidade das espécies por Zona, observou-se que na Zona Primitiva *Commiphora leptophloeos* apresentou a maior densidade total (1.600 indivíduos ha⁻¹). *Bauhinia cheilantha* se destacou tanto na Zona de Recuperação como na de Uso Extensivo, tendo um valor de 400 e 500 indivíduos ha⁻¹, respectivamente, se diferenciando das demais ao apresentar valores em todas as Classes. Já as espécies que apresentaram maiores valores de frequência absoluta foram *Commiphora leptophloeos* e *Jatropha mollissima*, na primeira classe de regeneração, as quais estiveram presentes em 80% das parcelas instaladas na Zona Primitiva e na Zona de Recuperação, respectivamente.

Espécie	FA1%	DA1	FA2%	DA2	FA3%	DA3	FA4%	DA4
Zona Primitiva								
<i>Aspidosperma pyriformium</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	20,0	50,0	0,0	0,0
<i>Commiphora leptophloeos</i>	80,0	950,0	60,0	600,0	20,0	50,0	0,0	0,0
<i>Jatropha mollissima</i>	60,0	300,0	60,0	200,0	60,0	250,0	50,0	67,0
<i>Libidibia ferrea</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Poincianella pyramidalis</i>	60,0	400,0	60,0	200,0	40,0	150,0	50,0	33,0
Total	-	1.750,0	-	1.000,0	-	500,0	-	100,0
Zona de Uso Extensivo								
<i>Aspidosperma pyriformium</i>	20,0	50,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Bauhinia cheilantha</i>	60,0	150,0	60,0	200,0	20,0	100,0	20,0	50,0
<i>Capparis flexuosa</i>	0,0	0,0	20,0	100,0	0,0	0,0	20,0	50,0
<i>Commiphora leptophloeos</i>	0,0	0,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Jatropha ribifolia</i>	0,0	0,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Maytenus rigida</i>	20,0	200,0	60,0	250,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Mimosa tenuiflora</i>	0,0	0,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0

<i>Poincianella pyramidalis</i>	20,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Schinopsis brasiliensis</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	0,0	0,0	20,0	150,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Sp. (Indeterminada)</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	-	600,0	-	900,0	-	100,0	-	100,0
Zona de Recuperação								
<i>Anadenanthera colubrina</i>	40,0	350,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Aspidosperma pyriformium</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	50,0
<i>Bauhinia cheilantha</i>	40,0	100,0	20,0	100,0	40,0	150,0	20,0	50,0
<i>Capsium parvifolium</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Commiphora leptophloeos</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Jatropha mollissima</i>	80,0	250,0	0,0	0,0	20,0	50,0	0,0	0,0
<i>Poincianella pyramidalis</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	40,0	100,0	20,0	50,0
<i>Ziziphus joazeiro</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	-	950,0	-	100,0	-	300,0	-	150,0

Tabela 1 – Comportamento das espécies encontradas no estrato regenerativo na primeira avaliação (janeiro), em relação à frequência e densidade, nos seus valores absolutos. FA1; FA2; FA3 e FA4 = frequências absolutas das Classes I; II; III e IV de tamanho de regeneração natural, respectivamente; DA1; DA2; DA3 e DA4 = densidades absolutas das Classes I; II; III e IV de tamanho de regeneração natural, respectivamente. MONA Grota do Angico, Sergipe, 2012.

As mesmas características de densidade da primeira avaliação foram observadas na segunda (Tabela 2), referente a maior densidade da Zona Primitiva (DA = 5.550 indivíduos ha⁻¹) em relação às demais, apresentando como destaque a Classe I de tamanho de regeneração (DA = 4.850 indivíduos ha⁻¹). Notou-se também, neste período de avaliação, uma sequência decrescente da densidade ao longo das Classes em todas as Zonas.

Espécie	FA1%	DA1	FA2%	DA2	FA3%	DA3	FA4%	DA4
Zona Primitiva								
<i>Aspidosperma pyriformium</i>	20,0	100,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Capsicum cf. parvifolium</i>	20,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Commiphora leptophloeos</i>	100,0	2850,0	60,0	350,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cordia globosa</i>	0,0	0,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Erythroxylum sp.</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Jatropha mollissima</i>	100,0	550,0	60,0	150,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Libidibia ferrea</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Poincianella pyramidalis</i>	100,0	950,0	0,0	0,0	20,0	50,0	0,0	0,0
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	20,0	100,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Ziziphus joazeiro</i>	20,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Total	-	4.850,0	-	650,0	-	50,0	-	0,0
Zona de Uso Extensivo								
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	40,0	400,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Bauhinia cheilantha</i>	80,0	450,0	40,0	150,0	40,0	100,0	0,0	0,0
<i>Capparis flexuosa</i>	20,0	150,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Commiphora leptophloeos</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Jatropha ribifolia</i>	0,0	0,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Maytenus rigida</i>	20,0	400,0	60,0	150,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Mimosa sp.</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	25,0	0,0	0,0
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	25,0	0,0	0,0
<i>Poincianella pyramidalis</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	-	1.550,0	-	400,0	-	150,0	-	0,0
Zona de Recuperação								
<i>Anadenanthera colubrina</i>	40,0	700,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Bauhinia cheilantha</i>	40,0	400,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Commiphora leptophloeos</i>	40,0	150,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cordia globosa</i>	0,0	0,0	20,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Erythroxylum sp.</i>	20,0	50,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Jatropha mollissima</i>	100,0	400,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Piptadenia stipulacea</i>	0,0	0,0	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Poincianella pyramidalis</i>	60,0	250,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Ziziphus joazeiro</i>	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
*** Total	-	2.000,0	-	350,0	-	0,0	-	0,0

Tabela 2 – Comportamento das espécies encontradas no estrato regenerativo na segunda avaliação (maio), em relação à frequência e densidade, nos seus valores absolutos. FA1; FA2; FA3 e FA4 = frequências absolutas nas Classes I; II; III e IV de tamanho de regeneração natural, respectivamente; DA1; DA2; DA3 e DA4 = densidades absolutas nas Classes I; II; III e IV de tamanho de regeneração natural, respectivamente, no MONA Grota do Angico, Sergipe, 2012.

As espécies que mais se destacaram, por Zona, foram: *Commiphora leptophloeos* na Zona Primitiva (3.200 indivíduos ha⁻¹), *Anadenanthera colubrina* na Zona de Recuperação (750 indivíduos ha⁻¹) e *Bauhinia cheilantha* na Zona de Uso Extensivo (700 indivíduos ha⁻¹). Constatou-se ainda, que *Commiphora leptophloeos*, *Jatropha mollissima* e *Poincianella pyramidalis*, na Classe I, estavam presentes em todas as parcelas da Zona Primitiva, apresentando os maiores valores de frequência absoluta (FA = 100%). Os indivíduos da espécie *Jatropha mollissima*, na Classe I, também apareceram em 100% das parcelas instaladas na Zona de Recuperação.

As espécies que apresentaram maiores valores de densidade absoluta em toda a amostragem foram: *Commiphora leptophloeos* (DA = 5.100 indivíduos ha⁻¹), *Poincianella*

pyramidalis (DA = 2.383 indivíduos ha⁻¹), *Jatropha mollissima* (DA = 2.317 indivíduos ha⁻¹) e *Bauhinia cheilantha* (DA = 2.050 indivíduos ha⁻¹). Os menores valores de densidade foram registrados para as espécies menos abundantes: *Myracrodruon urundeuva*, *Schinopsis brasiliensis*, *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa* sp., *Piptadenia stipulacea* e Sp. (Indeterminada).

3.3 Parâmetros estruturais da regeneração natural na estrutura vertical

As espécies que apresentaram os maiores índices de regeneração natural (RNT) na primeira avaliação foram: *Bauhinia cheilantha* na Zona de Uso Extensivo (50,6%), sendo a maior também na Zona de Recuperação (48,0%) e *Jatropha mollissima* na Zona Primitiva (38,2%) (Tabela 3). As espécies: *Poincianella pyramidalis* (29,1%) e *Commiphora leptophloeos* também tiveram alta representatividade na primeira avaliação (29,1% e 27,5%, respectivamente, ambas na Zona Primitiva).

Espécie	RNR1%	RNR2%	RNR3%	RNR4%	RNT%
Zona Primitiva					
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	4,7	0,0	11,4	0,0	4,0
<i>Commiphora leptophloeos</i>	47,3	51,1	11,4	0,0	27,5
<i>Jatropha mollissima</i>	19,8	24,4	47,6	61,1	38,2
<i>Libidibia ferrea</i>	4,7	0,0	0,0	0,0	1,2
<i>Poincianella pyramidalis</i>	23,6	24,4	29,5	38,9	29,1
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Zona de Uso Extensivo					
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	9,7	6,5	0,0	0,0	4,1
<i>Bauhinia cheilantha</i>	29,2	23,2	100,0	50,0	50,6
<i>Capparis flexuosa</i>	0,0	10,2	0,0	50,0	15,0
<i>Commiphora leptophloeos</i>	0,0	6,5	0,0	0,0	1,6
Sp. (Indeterminada)	9,7	0,0	0,0	0,0	2,4
<i>Jatropha ribifolia</i>	0,0	6,5	0,0	0,0	1,6
<i>Maytenus rigida</i>	26,4	26,9	0,0	0,0	13,3
<i>Mimosa tenuiflora</i>	0,0	6,5	0,0	0,0	1,6
<i>Poincianella pyramidalis</i>	15,3	0,0	0,0	0,0	3,8
<i>Schinopsis brasiliensis</i>	9,7	0,0	0,0	0,0	2,4
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	0,0	13,9	0,0	0,0	3,5
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Zona de Recuperação					
<i>Anadenanthera colubrina</i>	29,7	0,0	0,0	0,0	7,4
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	6,1	0,0	0,0	33,3	9,9
<i>Bauhinia cheilantha</i>	12,2	100,0	46,7	33,3	48,0
<i>Capsicum cf. parvifolium</i>	6,1	0,0	0,0	0,0	1,5
<i>Commiphora leptophloeos</i>	6,1	0,0	0,0	0,0	1,5

<i>Jatropha mollissima</i>	27,8	0,0	17,8	0,0	11,4
<i>Poincianella pyramidalis</i>	6,1	0,0	35,6	33,3	18,7
<i>Ziziphus joazeiro</i>	6,1	0,0	0,0	0,0	1,5
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabela 3 – Regeneração natural por classe de tamanho das espécies encontradas na primeira avaliação (janeiro) no MONA Grota do Angico, Sergipe, 2012.

Analisando-se por Classe em cada Zona, *Commiphora leptophloeos* apresentou maiores percentuais nas Classes I (47,3%) e II (51,1%) da Zona Primitiva, enquanto *Jatropha molíssima* se destacou nas Classes seguintes. Na Zona de Recuperação, *Jatropha molíssima* teve um maior valor (27,8%) na primeira Classe de regeneração, e *Bauhinia cheilantha* obteve os valores de porcentagem mais altos na Classe II (100%), III (46,7%) e IV (33,3%). Esta espécie também se destacou nas Classes I, III e IV da Zona de Uso Extensivo, tendo respectivamente 29,2%, 100% e 50%, com a segunda Classe tendo *Maytenus rígida* com o maior valor (26,9%).

No segundo período de avaliação, as espécies *Poincianella pyramidalis* (30,3%), *Bauhinia cheilantha* (29,0%) e *Commiphora leptophloeos* (23,5%) tiveram os maiores valores relacionados à regeneração natural (RNT) (Tabela 4). As espécies *Poincianella pyramidalis* e *Bauhinia cheilantha* apresentaram os maiores valores considerando-se as Zonas Primitiva e de Uso Extensivo, respectivamente, com os mesmos percentuais citados anteriormente. Na Zona de Recuperação, *Anadenanthera colubrina* teve valor superior às demais com 10,6%.

Espécie	RNR1%	RNR2%	RNR3%	RNR4%	RNT%
Zona Primitiva					
<i>Aspidosperma pyriformium</i>	3,0	8,8	0,0	0,0	2,9
<i>Capsicum cf. parvifolium</i>	3,0	0,0	0,0	0,0	0,7
<i>Commiphora leptophloeos</i>	47,1	47,0	0,0	0,0	23,5
<i>Erythroxylum sp.</i>	2,30	0,0	0,0	0,0	0,6
<i>Cordia globosa</i>	0,0	8,8	0,0	0,0	2,2
<i>Jatropha mollissima</i>	15,5	26,5	0,0	0,0	10,5
<i>Libidibia ferrea</i>	2,3	0,0	0,0	0,0	0,6
<i>Poincianella pyramidalis</i>	21,0	0,0	100,0	0,0	30,3
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	3,0	8,8	0,0	0,0	2,9
<i>Ziziphus joazeiro</i>	3,0	0,0	0,0	0,0	0,7
Total	100,0	100,0	100,0	0,0	75,0
Zona de Uso Extensivo					
<i>Aspidosperma pyriformium</i>	23,3	13,1	0,0	0,0	9,1

<i>Bauhinia cheilantha</i>	31,5	34,5	50,0	0,0	29,0
<i>Capparis flexuosa</i>	9,5	0,0	0,0	0,0	2,4
<i>Commiphora leptophloeos</i>	5,2	0,0	0,0	0,0	1,3
<i>Mimosa sp.</i>	0,0	0,0	25,0	0,0	6,3
<i>Jatropha ribifolia</i>	0,0	13,1	0,0	0,0	3,3
<i>Maytenus rigida</i>	20,2	39,3	0,0	0,0	14,9
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,0	0,0	25,0	0,0	6,3
<i>Poincianella pyramidalis</i>	5,2	0,0	0,0	0,0	1,3
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	5,2	0,0	0,0	0,0	1,3
Total	100,0	100,0	100,0	0,0	75,0
Zona de Recuperação					
<i>Anadenanthera colubrina</i>	27,5	15,08	0,0	0,0	10,6
<i>Bauhinia cheilantha</i>	17,5	15,08	0,0	0,0	8,1
<i>Commiphora leptophloeos</i>	9,17	0,0	0,0	0,0	2,3
<i>Erythroxylum sp.</i>	3,75	15,08	0,0	0,0	4,7
<i>Cordia globosa</i>	0	24,6	0,0	0,0	6,2
<i>Jatropha mollissima</i>	23,75	15,08	0,0	0,0	9,7
<i>Piptadenia stipulacea</i>	0	15,08	0,0	0,0	3,8
<i>Poincianella pyramidalis</i>	14,58	0,0	0,0	0,0	3,7
<i>Ziziphus joazeiro</i>	3,75	0,0	0,0	0,0	0,9
Total	100	100	100	0,0	50,0

Tabela 4 – Regeneração natural por classe de tamanho das espécies encontradas na segunda avaliação (maio) no MONA Grota do Angico, Sergipe, 2012.

Avaliando-se os valores obtidos por Classe em cada Zona, na Zona Primitiva *Commiphora leptophloeos* se destacou nas duas primeiras Classes, enquanto *Poincianella pyramidalis* apresentou 100% na Classe III. Na Zona de Recuperação, houve representantes apenas nas duas primeiras Classes, com *Anadenanthera colubrina* (27,5%) tendo o maior percentual na primeira e *Cordia globosa* (24,6%) na segunda Classe. *Bauhinia cheilantha* atingiu os maiores valores nas Classes I (31,5%) e III (50,0%) na Zona de Uso Extensivo, e apesar de ter apresentado um alto valor na Classe II (34,5%), não conseguiu ser superior a *Maytenus rigida* (39,3%).

Calculando-se uma média entre os valores obtidos nas duas avaliações (janeiro e maio de 2012), *Poincianella pyramidalis*, *Bauhinia cheilantha*, *Jatropha mollissima* e *Commiphora leptophloeos* constituíram as quatro espécies mais abundantes nas três áreas selecionadas para o presente estudo e com maior regeneração natural total (Figura 2).

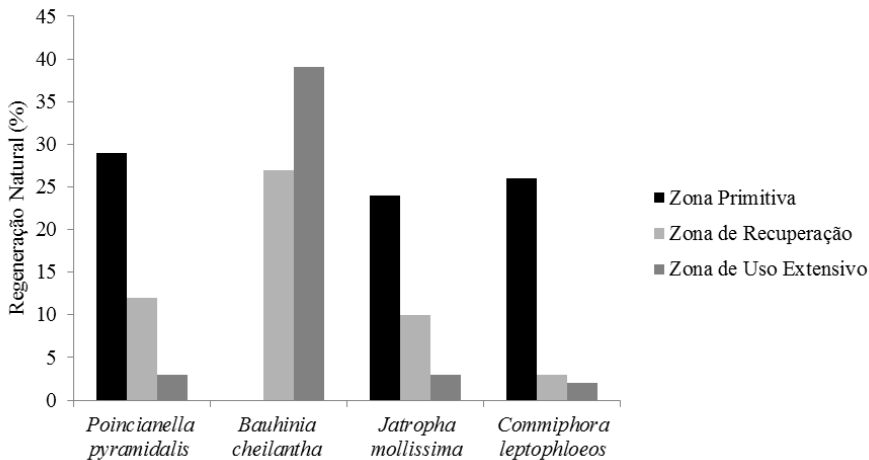


Figura 2 – Gráfico de regeneração natural total (RNT) das espécies mais abundantes do estudo, definidas por zona, no MONA Grota do Angico, Sergipe, 2012

Nota-se ainda, por Zona, que a Primitiva teve o maior percentual para a RNT entre as espécies citadas, com exceção de *Bauhinia cheilantha*, que apresentou grande destaque na Zona de Uso Extensivo e de Recuperação. Além disso, apenas esta espécie não teve a mesma configuração de porcentagem em relação às Zonas, onde as demais tiveram decréscimo na sequência da Zona Primitiva (maior valor), Zona de Recuperação (valor mediano) e Zona de Uso Extensivo (menor valor).

4 | DISCUSSÃO

O processo de regeneração natural nos ambientes analisados encontra-se nas fases mais iniciais. Isto se confirma pelo fato da expressiva distribuição dos indivíduos nas Classes de menores tamanho (I e II), em ambos os períodos de avaliação. A Zona de Recuperação apesar de ter sido desocupado há pouco tempo, desde a criação da UC em 2007, ainda possui poder de resiliência, com o surgimento e estabelecimento das espécies florestais nativas. Os indivíduos observados nas Classes em um momento mais avançado do ciclo vegetativo foram vistos em alta proporção na Zona Primitiva, refletindo, talvez, a ocorrência de uma razão inversa entre o estabelecimento das espécies e o nível de perturbação imputado aos ambientes, conforme pode ser ratificado pelos resultados obtidos por Pereira *et al.* (2001).

Uma característica importante quanto à distribuição dos indivíduos arbóreos, nos ambientes analisados, foi de que a maioria se encontrou na área mais conservada. Contudo, é válido ressaltar que a densidade da regeneração natural depende de diversas variáveis como, por exemplo, a proximidade entre remanescentes, tipo de dispersão, densidade

de plantas fornecedoras de sementes, período de frutificação, entre outros. Desta forma, cada local apresenta suas características específicas de densidade e frequência no estrato regenerante, não sendo, portanto, necessariamente semelhante a outras regiões do bioma.

A espécie *Commiphora leptophloeos* apresentou a maior densidade absoluta entre as amostragens, a qual possui destaque à importância da dispersão zoocórica nas espécies de Caatinga (Gomes e Quirino, 2016). A frutificação das plantas desta espécie ocorre geralmente entre os meses de novembro e dezembro, com o amadurecimento e queda dos frutos após dois meses. Por apresentarem relativa rapidez no processo de germinação (poucas semanas), é aceitável o aparecimento de um grande número de indivíduos da referida espécie, e do consequente aumento na sua densidade, durante o mês de maio (período posterior à chegada dos frutos amadurecidos ao solo).

Além desta espécie, *Poincianella pyramidalis* também teve uma alta densidade absoluta. Comparando-se com outras áreas de Caatinga, Sanquetta *et al.* (2014) também observaram que *Commiphora leptophloeos* foi a segunda mais vista (48), com maior valor de importância (18,31%), em seu levantamento na Caatinga, seguida de *Croton* sp. Lacerda e Barbosa (2018) analisando a vegetação de Caatinga em um trecho de mata ciliar no Semiárido da Paraíba notaram que, apesar da espécie com maior abundância ter sido *Croton blanchetianus*, *Poincianella pyramidalis* obteve o maior valor de importância.

Já Ferraz *et al.* (2014) verificaram outras espécies de maiores representatividades ao analisarem duas diferentes áreas de Caatinga, em diferentes níveis de conservação no município de Floresta, em Pernambuco, onde *Poincianella bracteosa* foi a mais destacada em ambos os locais, seguida de *Jatropha molíssima* e *Croton rhamnifolius*, respectivamente, na primeira e segunda área. Farias *et al.* (2016) constataram densidades superiores em área de regeneração, quando comparada a um componente lenhoso em duas vegetações de Caatinga (uma densa e outra aberta), com a espécie *Bauhinia cheilantha* tendo grande representatividade em ambos os ambientes de regeneração. Esta espécie foi estudada por Silva e Oliveira (2015) em dois fragmentos em diferentes estágios de conservação, no estado de Sergipe, sendo que no situado dentro do MONA angico, verificaram que a população desta espécie está em um estado sucessional menos avançado, devido estar em uma área menos conservada que o outro fragmento que está preservado desde a década de 1960.

Myracrodruon urundeuva e *Schinopsis brasiliensis* apresentaram os menores valores de densidade, podendo estar associado à forte exploração dessas espécies, acarretando a redução das suas populações na área de estudo, diminuindo o poder de regeneração natural das mesmas. Isso ocorre devido, quando adultas, constituírem boas fontes de recursos para a comunidade local, através do fornecimento de madeira para construção, lenha, forragem e medicamentos, além de outros usos (Lucena *et al.*, 2008; Ramos *et al.*, 2008).

Na região do MONA, é possível distinguir algumas áreas em processo de

regeneração pela grande abundância de *Mimosa tenuiflora* e *Croton campestris*, seguindo-se de *Caesalpinia pyramidalis* (atual *Poincianella pyramidalis*) e *Aspidosperma pyriforme* (SEMARH, 2011). Desta forma, a baixa incidência de *Mimosa tenuiflora* na área de estudo pode ser explicada pela presença de cobertura vegetal ainda significativa, inibindo a incidência dessa espécie pela forte competição com as outras. A baixa densidade desta espécie e de *Piptadenia stipulacea* também pode estar atrelada a outros fatores, como o tamanho do esforço amostral, insuficiente para contemplar áreas de maior ocorrência das mesmas, ou ainda, o tempo de germinação das suas sementes.

Valores mais elevados de RNT são obtidos quando se tem um alto índice de regeneração natural relativa para uma determinada classe de tamanho de regeneração natural (RNT1%, por exemplo), ou quando se tem a ocorrência de indivíduos de uma dada espécie em todas as classes de regeneração. O primeiro exemplo foi verificado no levantamento de maio com *Poincianella pyramidalis* e *Commiphora leptophloeos*, pois mesmo ocorrendo em apenas duas classes de tamanho de regeneração natural, estas espécies obtiveram altos valores de regeneração total. Já as espécies *Bauhinia cheilantha*, *Jatropha mollissima*, *Poincianella pyramidalis* e *Commiphora leptophloeos*, da primeira avaliação, obtiveram maiores valores de RNT devido ao aparecimento de indivíduos em todas as classes de tamanho.

Holanda *et al.* (2015), comparando a estrutura da vegetação em dois remanescentes também sob distintos históricos em Cajazeiras, Paraíba, constataram dominância de *Mimosa tenuiflora* na área conservada há mais de 50 anos, com alta representação nas primeiras classes de altura, principalmente na segunda das três classes definidas, tendo 63,8% de RNT. No segundo fragmento, o qual teve sua vegetação suprimida há mais de 12 anos, *Croton blanchetianus* teve o maior índice de regeneração (54,2%), com uma distribuição decrescente entre as classes de altura, porém sem tanta variação, diferente do resultado visto na espécie do primeiro remanescente. Lucena *et al.* (2018) também evidenciaram a grande participação de *Croton blanchetianus* na regeneração natural na Estação Ecológica do Seridó e na Fazenda Pedro Cândido, Município de Serra Negra do Norte-RN. Esta espécie se mostrou ter um alto potencial para a regeneração da Caatinga, e isto pode ser devido por não sofrer influência das variações climáticas sazonais e interanuais, o que é essencial para a região semiárida (Nascimento *et al.*, 2017).

5 | CONCLUSÕES

O processo de regeneração natural da vegetação de Caatinga se encontra em estabelecimento, de forma diferente em cada Zona estudada em termos de composição e estruturas, comprovando a capacidade de resiliência da área estudada. Evidenciou-se, ainda, o aumento da densidade das espécies florestais entre os meses analisados.

Cada ambiente analisado apresentou suas espécies mais representativas quanto à

densidade, frequência e regeneração natural, em função também das classes de tamanho, que por sua vez, se destacou com maior abundância de indivíduos, com menor tamanho em todas as Zonas avaliadas, e com a Zona Primitiva tendo maior número por Classes. Além disso, as espécies: *Poincianella pyramidalis*, *Bauhinia cheilantha*, *Jatropha mollissima* e *Commiphora leptophloeos* tiveram, de forma geral, maior participação na regeneração natural total (%) para os ambientes estudados.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- CALIXTO JÚNIOR, J. T.; DRUMOND, M. A. Estudo comparativo da estrutura fitossociológica de dois fragmentos de Caatinga em níveis diferentes de conservação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 345-355, 2014.
- CARVALHO, J. O. P. **Manejo de regeneração natural de espécies florestais**. Belém: Embrapa - CPATU, 1984. 22 p.
- CAVALCANTI, A. D. D. C.; RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; COSTA, K. C. C. Mudanças florísticas e estruturais, após cinco anos, em uma comunidade de Caatinga no estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 4, p. 1210-1212, 2009.
- CIENTEC. 2006. **Mata Nativa 2: Sistema para análise fitossociológica e elaboração de planos de manejo de florestas nativas**. Viçosa: CIENTEC, 295 p.
- DARIO, F. R. Uso de plantas da caatinga pelo povo indígena Pankararu no estado de Pernambuco, Brasil. **Geotemas**, v. 8, n. 1, p. 60-76, 2018.
- FALCÃO, H. M.; MEDEIROS, C. D.; SILVA, B. L.; SAMPAIO, E. V.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; SANTOS, M. G. Phenotypic plasticity and ecophysiological strategies in a tropical dry forest chronosequence: A study case with *Poincianella pyramidalis*. **Forest Ecology and Management**, v. 340, p. 62-69, 2015.
- FARIAS, S. G. G. D.; RODAL, M. J. N.; MELO, A. L. D.; SILVA, M. A. M.; LIMA, A. L. A. D. Fisionomia e estrutura de vegetação de caatinga em diferentes ambientes em serra talhada – Pernambuco. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 435-448, 2016.
- FERNANDES, M. M.; OLIVEIRA, T. M.; DE MOURA FERNANDES, M. R. Regeneração natural de um fragmento florestal de caatinga na região semi-árida do Piauí. **Scientia Plena**, v. 13, n. 2, 2017.
- FERRAZ, J. S. F.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. D.; MEUNIER, I. M. J.; SANTOS, M. V. F. D. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo da vegetação em duas áreas de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco. **Revista Árvore**, v. 38, n. 6, p. 1055-1064, 2014.
- FINOL, H. Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. **Revista Venezolana**, v. 14, n. 21, p. 29-42, 1971.

GOMES, V. G. N.; QUIRINO, Z. G. M. Síndromes de dispersão de espécies vegetais no Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 4, p. 1157-1167, 2016.

HOLANDA, A. C. D.; LIMA, F. T. D.; SILVA, B. M.; DOURADO, R. G.; ALVES, A. R. Estrutura da vegetação em remanescentes de caatinga com diferentes históricos de perturbação em Cajazeirinhas (PB). **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 142-150, 2015.

LACERDA, A. V. de; BARBOSA, F. M. Fitossociologia da vegetação arbustivo-arbórea em uma área de mata ciliar no semiárido paraibano, Brasil. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 2, p. 34-43, 2018.

LIMA, B. G. de; COELHO, M. de F. B. Fitossociologia e estrutura de um fragmento florestal da Caatinga, Ceará, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 809-819, 2018.

LUCENA, M. S. de, ALVES, A. R.; BAKKE, I. A. Regeneração natural da vegetação arbóreo-arbustiva de Caatinga em face de duas formas de uso. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 3, p. 212-222, 2017.

LUCENA, M. S. de; SILVA, J. A. da; ALVES, A. R. Estrato regenerante do componente lenhoso em área de caatinga com diferentes usos, no Seridó Potiguar. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 1, p. 45- 59, 2018.

LUCENA, M. S. de; SILVA, J. A. da; ALVES, A. R. Regeneração natural do estrato arbustivo-arbóreo em área de Caatinga na Estação Ecológica do Seridó - RN, Brasil. **Revista Biotemas**, v. 29, n. 2, p. 17-31, 2016.

LUCENA, R. F. P. de; NASCIMENTO, V. T. do; LIMA ARAÚJO, E. de; ALBUQUERQUE, U. P. de. Local uses of native plants in an area of caatinga vegetation (Pernambuco - NE, Brazil). **Ethnobotany Research and Applications**, v. 6, p. 3-13, 2008.

MARANGON, G. P.; FELKER, R. M.; ZIMMERMANN, A. P. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. da. Análise de agrupamento de espécies lenhosas da Caatinga no Estado do Pernambuco. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 347-353, 2016.

MORI, A. S. *et al.* **Manual de manejo do herbário fanerogâmico**. Ilhéus: Centro de Pesquisa de Cacau, 1989. 43 p.

NASCIMENTO, I. S.; SANTOS, J. M. F. F. dos; SILVA, R. C. S.; SANTOS, D. M. dos; SILVA, K. A. da; LIMA ARAÚJO, E. de. Variação sazonal e interanual na dinâmica populacional de *Croton blanchetianus* em uma floresta tropical seca. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 92, p. 437-446, 2017.

PEREIRA, I. M.; ANDRADE, L. A. D.; COSTA, J. R. M.; DIAS, J. M. Regeneração natural em um remanescente de Caatinga sob diferentes níveis de perturbação, no Agreste Paraibano. **Acta Botânica Brasílica**, v. 15, n. 3, p. 413-426, 2001.

RAMOS, M. A.; MEDEIROS, P. M. de, ALMEIDA, A. L. S. de; FELICIANO, A. L. P.; ALBUQUERQUE, U. P. de. Use and knowledge of fuelwood in an area of caatinga vegetation in NE, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, p. 510-517, 2008.

RIBEIRO, A. S.; MELLO, A. A. Diagnóstico da biota. In: Ribeiro, A. S. (Coord.) **Estudos para criação do Monumento Natural Grota do Angico**. Sergipe: Governo de Sergipe, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, 2007. 51 p.

SANQUETTA, M. N. I.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; RODRIGUES, A. L.; MONGON, F. Diversidade e estrutura fitossociológica da Caatinga na região de Brumado - BA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 17, p. 2157-2167, 2014.

SEMARH. 2011. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Sergipe. **Plano de Manejo do Monumento Natural Grota do Angico**. 614 f.

SILVA GUIMARÃES, J. R. da; CARIM, M. D. J. V.; TOSTES, L. D. C. L.; COSTA NETO, S. V. da. Floristic diversity of secondary forest in the eastern Amazon, State of Amapá. **Revista Floresta**, v. 46, n. 3, p. 343-351, 2016.

SILVA, A. C. da C.; OLIVEIRA, D. G. de. Population structure and spatial distribution of *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud. in two fragments at different regeneration stages in the caatinga, in Sergipe, Brazil. **Revista Árvore**, v. 39, n. 3, p. 431-437, 2015.

SOUSA SANTOS, W. de; SOUZA, M. P. de; SOUSA SANTOS, W. de; MEDEIROS, F. S. de; ALVES, A. R. Estudo fitossociológico em fragmento de caatinga em dois estágios de conservação, Patos, Paraíba. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 4, p. 305-321, 2017.

VOLPATO, M. M. L. **Regeneração Natural em uma Floresta Secundária no Domínio de Mata Atlântica: uma Análise Fitossociológica**. 1994. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

CRECIMIENTO Y MORTALIDAD DE PLÁNTULAS DE CASTAÑA (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) EN CLAROS Y SOTOBOSQUE EN LA AMAZONIA PERUANA

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 10/12/2020

Jorge Garate-Quispe

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios
Puerto Maldonado, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-7494-2274>

Mishari Garcia Roca

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios
Puerto Maldonado, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-4055-2718>

Liset Rodriguez-Achata

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios
Puerto Maldonado, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-2904-8097>

Rembrandt Canahuire Robles

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios
Puerto Maldonado, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-2319-7910>

Gabriel Alarcón Aguirre

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios
Puerto Maldonado, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-0816-9911>

RESUMEN: El objetivo del presente estudio fue de evaluar el efecto de la apertura de dosel en el crecimiento y mortalidad de plántulas

de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. Se establecieron sesenta y cuatro plántulas considerando un diseño experimental con ocho repeticiones de cuatro plántulas cada una, y dos tratamientos ambientales de apertura de dosel. Se realizaron evaluaciones mensuales durante un año. Se midieron la altura y diámetro, para calcular las tasas de crecimiento, y se registraron incidencias de mortalidad y rebrote de las plántulas. Los porcentajes de apertura de dosel se estimaron utilizando un densiómetro esférico. El 47% del total de las plántulas sobrevivieron en el transcurso de 12 meses de monitoreo. El promedio de supervivencia de plántulas de *B. excelsa* en claros (75 ± 26.7 %) fue significativamente superior a las de sotobosque (15.6 ± 22.9 %). El 64% de la mortalidad fue causada por la fauna local, predación de la semilla. El incremento anual en altura de las plántulas también fue significativamente superior en los claros (40.2 ± 29 cm) que en sotobosque (3.3 ± 2.4 cm). El análisis de regresión escalonado, sugiere que la apertura de dosel es el factor determinante en el incremento en altura y diámetro. Mediante un análisis de regresión lineal simple se encontró una relación directa y significativa entre la apertura de dosel y el incremento diamétrico ($r^2 = 0.61$), y la apertura de dosel con el incremento en altura ($r^2 = 0.27$). Por lo tanto, concluimos que la apertura de dosel influye significativamente en el incremento en diámetro, altura y supervivencia de plántulas de *B. excelsa*. Por estas razones se recomendaría el uso de esta especie para el enriquecimiento de los bosques en Madre de Dios utilizando claros grandes (>25% apertura de dosel) que generen

maiores condiciones de luz.

PALABRAS CLAVE: Análisis de crecimiento, mortalidad de plántulas, apertura de dosel.

GROWTH AND MORTALITY OF BRAZIL-NUT SEEDLINGS (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) IN TREE-FALL GAPS AND UNDERSTORY IN THE PERUVIAN AMAZON

ABSTRACT: This study was to evaluate the effect of opening canopy on the growth and seedling mortality of *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. Sixty-four seedlings were planted within the experimental design, with eight repetitions each with four replications and two environmental treatments of canopy openness. The height and diameter were measured, to calculate the growth rates, incidences of mortality and regrowth of seedlings were recorded (for a period of 1 year with monthly evaluations). The percentages of canopy openness were estimated using a spherical densitometer. 47% of the seedlings survived during the 12 months of monitoring. The average survival of seedlings of *B. excelsa* in the gap treatment ($75 \pm 26.7\%$) was significantly higher than the understory treatment ($15.6 \pm 22.9\%$). 64% mortality was caused by local wildlife (seed predation). The annual increase in seedling height was also significantly higher in the gaps (40.2 ± 29 cm) than in the understory (3.3 ± 2.4 cm). Stepwise regression analysis suggests that canopy openness is the determining factor in the increase in height and diameter. A Regression analysis showed a direct and highly significant relationship between canopy openness and diameter increment ($r^2 = 0.61$) and canopy openness with increasing height ($r^2 = 0.27$). Therefore, we concluded that canopy openness significantly influences the increase in diameter, height and seedling survival of *B. excelsa*. For these reasons we recommend the use of Brazil nut seedlings in reforestation for the enrichment of forests in Madre de Dios, using large gaps (> 25% canopy opening) that generate higher light conditions and guarantee high rates of diameter and height growth.

KEYWORDS: Growth analysis, seedling mortality, Canopy openness.

1 | INTRODUCCIÓN

Los bosques amazónicos representan la mayor parte de los bosques tropicales del mundo, representando el 40% (3900000 km²) (INPE, 2002; PERÉA, 2005). Es una de las regiones con mayor diversidad y en la actualidad muchos fórums vienen discutiendo su conservación y lo poco que se conoce sobre la ecología de la mayoría de las especies y sobre su estrategia de conservación. Considerando que esta información es especialmente importante cuando se trata de especies con algún interés económico (ASSAD, 2000; PERÉA, 2005).

A pesar de que algunas especies son de utilidad económica desde los inicios de ocupación de la Amazonía, como el caso de la extracción del látex de la shiringa, castaña y productos forestales maderables; poco se conoce sobre los efectos de la explotación de estos recursos para la sostenibilidad en el tiempo de estas especies. Se tiene conocimiento de varios ejemplos de especies que fueron explotadas sin ningún criterio ecológico y que

tiempo más tarde entraron a la lista de las especies amenazadas de extinción (PERÉA, 2005), algunos ejemplos clásicos para Perú como la shiringa, castaña, Cedro, Caoba, etc.

La castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) está actualmente clasificada como especie vulnerable a extinción (PAIVA, GUEDESA e FUNIA, 2011), esta clasificación está atribuida a la frecuente e intensa cosecha de los frutos. La cual compromete seriamente a la regeneración debido a la sobre-explotación de las poblaciones naturales y la deforestación, que reduce el rango geográfico de la distribución de la especie. La presión de cosecha de los frutos de castaña resulta en una vulnerabilidad controversial, en quienes sustentan la teoría de que es posible la sostenibilidad ecológica de la extracción del recurso (ZUIDEMA e BOOT, 2002; WADT, KAINER e STAUDHAMMER, 2008; PAIVA, GUEDESA e FUNIA, 2011) mediante un manejo adecuado y sin afectar gravemente la regeneración natural de la especie (PERES, BAIDER, *et al.*, 2003; PAIVA, GUEDESA e FUNIA, 2011).

La castaña es una de las especies emergentes y más importantes de la economía extractivista de la Amazonia (CLAY, 1997; COTTA, KAINER, *et al.*, 2007). Las semillas, comúnmente denominadas nueces, son utilizadas para la producción de una variedad de productos crudos o secos, aceites, harinas, medicinas y productos personales (COTTA, KAINER, *et al.*, 2007), haciendo de la castaña un producto forestal no maderable versátil y valioso. Varios estudios recientes sobre la regeneración reportan impactos de los niveles de cosecha de la nuez de castaña en la estructura poblacional de castaña, disminuyendo la tasa de reclutamiento de la regeneración en sus poblaciones (ZUIDEMA, 2003; ZUIDEMA e BOOT, 2002; COTTA, KAINER, *et al.*, 2007).

La extracción de la nuez de la castaña fue siempre vista como un ejemplo de explotación sustentable en los bosques amazónicos. Esta visión fue profundamente discutida por PERES *et al.* (2003), mostrando que no existe suficiente regeneración en los castañales. Reflejando un proceso de reclutamiento de plantas nuevas que no va acorde a la velocidad de envejecimiento, lo cual podría significar a largo plazo un colapso debido a extracción intensa del recurso (PERES, BAIDER, *et al.*, 2003). Por lo tanto, la supervivencia de las plántulas es esencial para traducir el valor de los niveles de densidad de plántulas en la determinación de los niveles reales de regeneración natural. Las diferencias en los claros y los sitios del sotobosque pueden dar lugar a densidades de plántulas más altas, pero si ninguna de las plántulas sobrevive después de un año, estos resultados no son relevantes (MOLL-ROCEK, 2012).

El objetivo del presente estudio fue determinar la tasa de crecimiento y mortalidad de plántulas de castaña (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) en claros y sotobosque en un bosque de Madre de Dios (Perú).

2 | MÉTODOS

Área de Estudio

El Centro de Referencia e Interpretación de la Biodiversidad en Bosques Amazónicos de Terrazas altas en Madre de Dios (CRIBATAMAD), perteneciente a la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), geográficamente se ubica en la Región sur-Oriental de la Amazonia Peruana, se ubica en la margen derecha de la Carretera Puerto Maldonado – Iberia (km 16). El clima es Húmedo y Cálido, se caracteriza debido a un exceso grande agua en verano y déficit pequeño de agua (SENAMHI; ANA, 2010). Presenta como características más resaltantes su regular pluviosidad (2280 mm en promedio) y temperaturas tropicales del orden de los 25.4 °C promedio.

Métodos de campo

Se utilizó 2 tratamientos (en función a la cobertura de dosel), en claros y sotobosque con 08 repeticiones cada uno, y cada repetición con 4 plántulas de castaña (64 en total). Se ubicó las áreas donde se establecerán las plántulas (claros y sotobosque). Seguidamente se retiró la cobertura vegetal en un radio de 50 cm, alrededor del sitio de donde se ubicó la plántula (Figura 1).

Del Monitoreo

La primera medición se realizó 2 semanas después del establecimiento en campo, las evaluaciones siguientes fueron mensuales, durante un año (12 meses). Las variables consideradas durante cada medición en campo fueron la altura, diámetro a la altura del suelo, largo y ancho de las hojas. Para determinar el porcentaje de cobertura de dosel, se utilizó un densiómetro esférico (LEMMON, 1956), se realizaron 04 mediciones por cada plántula en diferentes direcciones (N, S, E y O).

Análisis Estadístico

Se utilizó el paquete estadístico PAST versión 3.02 (Hammer, 2014) y SigmaPlot versión 12.5 (SYSTAT, 2013) para obtener el análisis descriptivo de todas las variables obtenidas en el campo, asimismo el análisis exploratorio para verificar las condiciones para aplicar análisis comparativos y de regresión paramétricos o no paramétricos.

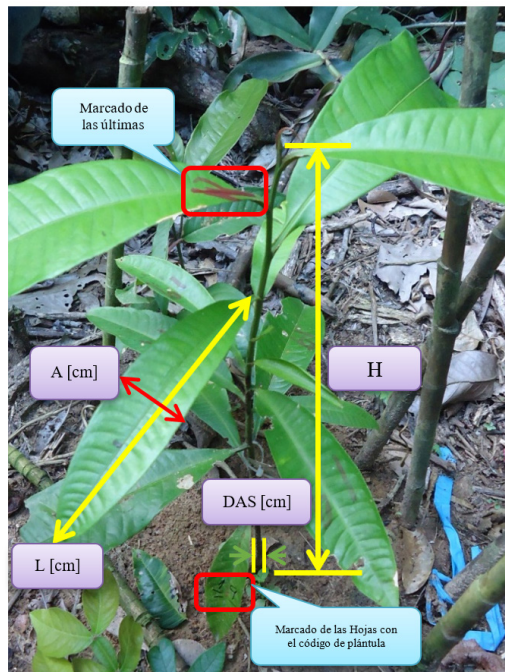


Figura 1: Representación esquemática de metodología de evaluación mensual de las plántulas.

Se utilizó análisis de regresión lineal múltiple y regresión escalonado (método backward), para determinar que variable influyen significativamente en el incremento en diámetro y altura. Además, Se realizaron análisis comparativos para la tasa de crecimiento y mortalidad entre las plántulas ubicadas en claros y sotobosque. Se utilizaron los paquetes estadísticos PAST versión 3.14 (HAMMER e HARPER, 2006), Systat 13 y R en el entorno de R-Studio (R CORE TEAM, 2016). Las figuras se elaboraron utilizando paquete estadístico SigmaPlot versión 12.5 (SYSTAT, 2013).

Para analizar la significancia de las correlaciones y elaborar el ajuste de curvas entre el incremento en altura (H), diámetro a la altura del suelo (DAS) y la densidad de cobertura de dosel, se utilizó el paquete estadístico SigmaPlot versión 12.5. Para analizar la probabilidad de supervivencia según claro y sotobosque se utilizó un modelo lineal generalizado (regresión logística). considerando el porcentaje de supervivencia mensual, utilizando el software R en el entorno de R-studio (R CORE TEAM, 2016).

3 | RESULTADOS Y DISCUSIONES

De la supervivencia

De las 64 plántulas establecidas en campo, sólo 30 (47%) sobrevivieron en

el transcurso de 12 meses de monitoreo. La mortalidad fue superior en las plántulas establecidas en sotobosque (84%) en comparación con las establecidas en claros, 25% (SCOLES, GRIBEL e KLEIN, 2011; PEÑA-CLAROS, BOOT, *et al.*, 2002). Asimismo, la mortalidad fue superior a los reportado por un estudio previo en Madre de Dios (13% anual) (CORNEJO, 2003).

El promedio de supervivencia de plántulas en claros ($\bar{X} \pm$ desviación estandar = 75 ± 26.7 %) fue superior al del sotobosque (15.6 ± 22.9 %) (Figura 2). Esta diferencia fue estadísticamente significativa ($t = -4.7$ y $p < 0.001$).

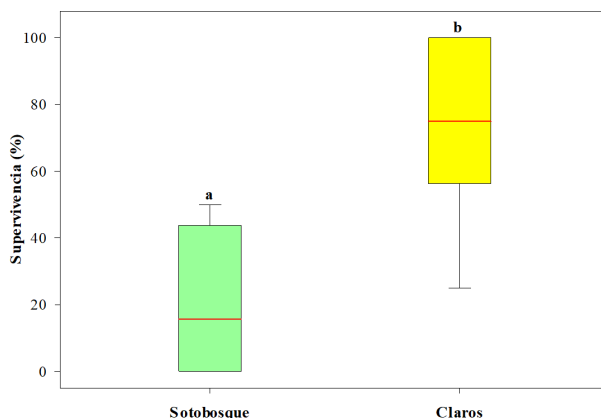


Figura 2: Boxplot de la comparación del porcentaje de supervivencia de las plántulas en sotobosque y claros. Letras diferentes muestran una diferencia significativa (test de *t*-student) a un 5% de probabilidad de error (p -value <0.05). Las líneas rojas representan el promedio.

Considerando sólo muertes naturales el porcentaje de sobrevivencia fue mayor en los claros que en sotobosque, con 92% y 38% respectivamente. Similares resultados a los encontrados por SCOLES *et al.* (2011) en claros (96%), pero inferior en el sotobosque (89%) luego de 2 años de monitoreo.

En 22 plántulas de *B. excelsa* (64% de la mortalidad) la causa de mortalidad fue debido a la predación de la semilla por fauna local, roedores u otros (CORNEJO, 2003). En estos casos las plántulas fueron extraídas de raíz y muchas veces solo quedaron los tallos quebrados debido al intento de extracción. Similares observaciones encontradas en castañales de la amazonia brasileña (Acre) (PERÉA, 2005). De estas, un 72% (16 plántulas) sucedieron en el sotobosque y sólo un 23% (6 plántulas) en los claros. Es decir, la mayor mortalidad debido a la predación de las semillas ocurrió en los sitios con menor apertura de dosel, similares resultados a los encontrados para *B. excelsa* en Bolivia (PEÑA-CLAROS, BOOT, *et al.*, 2002).

La mayor mortalidad de plántulas ocurrió durante el inicio de la estación lluviosa y el

inicio de la caída de frutos de *B. excelsa*, coincidiendo con el experimento de remoción de semillas en *B. excelsa* de PERES et al. (1997). Esta diferencia estacional en la mortalidad debido a predadores parece estar relacionado con la fenología, la caída de frutos de *B. excelsa* y una mayor actividad de sus dispersores naturales cuando los frutos frescos permanecen en el suelo (PERES, BAIDER, et al., 2003). Debido a que, aun después de germinar la semilla puede ser comida por animales, pues tarda más de un año en ser absorbida en su totalidad por la plántula (CORNEJO, 2003).

Se ajustó al modelo logístico con la supervivencia de las plántulas, considerando como variables explicativas los tratamientos (claros y sotobosque), tiempo y la interacción tratamiento-tiempo. La interacción entre los tratamientos y el tiempo fue significativa. Por lo que se utilizó un modelo binomial simplificado, eliminando la interacción para ver si realmente existe una diferencia en la supervivencia de plántulas entre claro y sotobosque.

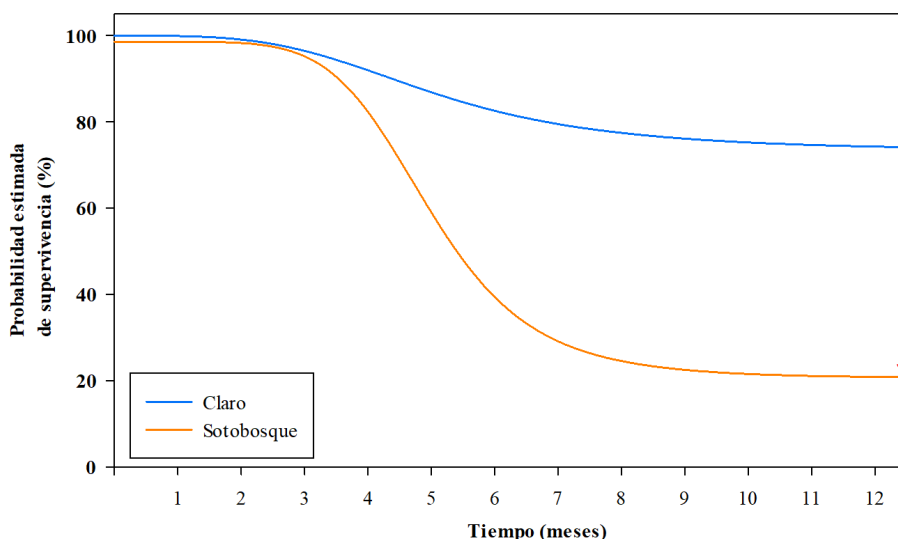


Figura 3: Análisis de regresión logística binomial utilizando un GLM (modelo lineal generalizado) para estimar la probabilidad de supervivencia de las plántulas de *B. excelsa* en función de la cobertura de dosel y el tiempo de evaluación. La flecha roja indica la diferencia en la probabilidad de supervivencia de plántulas entre claros y sotobosque al finalizar la evaluación.

Las variables independientes utilizadas resultaron altamente significativas ($p\text{-value} < 0.05$), lo que manifiesta una diferencia significativa en la probabilidad de supervivencia de plántulas de *B. excelsa* entre claros y sotobosque (Figura 3). Considerando que la proporción de varianza explicada por el Modelo Lineal Generalizado (devianza - D^2) es de 92%.

La tasa de supervivencia comparada con experimentos similares en claros de plántulas de *B. excelsa* en la amazonia, fue inferior a los reportados por SCOLES et al.

(2011) en Brasil (95% luego de 2 años), PEÑA-CLAROS et al. (2002) en un experimento de enriquecimiento en la amazonia boliviana (97% anual), en condiciones naturales en Brasil (90%) (NEVES, 2010).

En la comparación del crecimiento en altura, entre las plántulas de claros y sotobosque, se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA). Considerando al DAS_i de las plántulas como covariable debido a su buena relación con el crecimiento en altura; esto permitió analizar la diferencia significativa en el crecimiento entre los claros y sotobosque, eliminando la influencia generada por el DAS_i (Tabla 1).

	(A) Primeros 4 meses				(B) 12 meses			
	Sum Sq	Mean Sq	F value	p-value	Sum Sq	Mean Sq	F value	p-value
Tratamiento	47.4	47.4	65.2	0.0000***	39.2	39.2	56.8	0.0000***
DAS_i	4.0	4.0	5.5	0.0229*	2.2	2.2	3.1	0.0895
Tratamiento* DAS_i	1.1	1.1	1.5	0.2335	0.1	0.1	0.1	0.7881
Residuales	39.3	0.7			15.9	0.7		

^a Datos transformados "ln (incremento en altura)"

Tabla 1: Resultados del ANCOVA sobre el incremento en altura^a de plántulas de *B. excelsa*, (a) a los 4 meses del establecimiento y (b) 12 meses. Los tratamientos (claros y sotobosque) como factor y el diámetro inicial de las plántulas como covariable. DAS_i = Diámetro de las plántulas al inicio del experimento.

El crecimiento en altura de las plántulas durante los 4 primeros meses fue estadísticamente superior ($F = 65.2$ y $p < 0.001$) en los claros que en el sotobosque (Tabla 9 y Figura 10). La interacción Tratamiento- DAS_i no fue significativa ($p\text{-value} > 0.05$); sin embargo, un mayor crecimiento en altura en los primeros 4 meses está influenciado significativamente por el DAS_i ($p\text{-value} < 0.05$). Asimismo, el incremento anual en diámetro fue significativamente superior en los claros ($F = 58.6$ y $p\text{-value} < 0.001$) y el diámetro inicial no influyó de manera significativa en el crecimiento anual en altura ($F = 3.1$ y $p\text{-value} > 0.05$), ver Tabla 9. Resultados similares a los reportados por (ZUIDEMA, DIJKMAN e RIJSOORT, 1999), que encontraron diferencias significativas en el crecimiento según categorías de tamaño de las plántulas al inicio del experimento (Figura 11).

Incremento en altura vs cobertura de dosel

El incremento anual fue superior en los claros (40.2 ± 29 cm) que en el sotobosque (3.3 ± 2.4) y esta diferencia fue significativa (U Mann-Whitney = 2, $p\text{-value} < 0.001$, Figura 11).

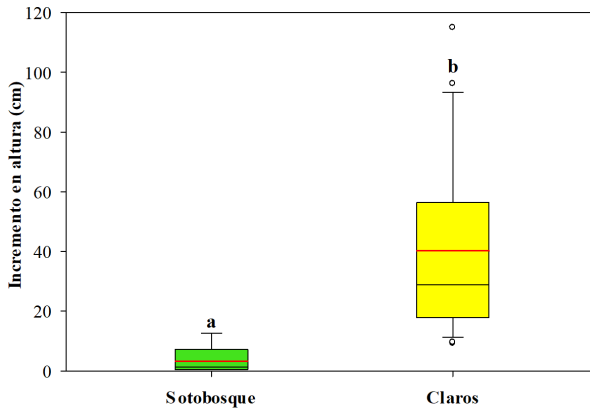


Figura 4: Boxplot de la comparación del crecimiento anual en altura de plántulas de *B. excelsa* establecidas en claros y sotobosque. Las líneas rojas representan el promedio del incremento en altura.

El crecimiento promedio anual en altura de 40 cm es similar al reportado por CORNEJO (2003) en claros naturales de Madre de Dios, aunque sugiere que una protección contra los herbívoros y el aclareo de dosel aumentaría significativamente el crecimiento (CORNEJO, 2003). Por otro lado, se encontró una relación significativa entre el porcentaje de apertura de dosel y el incremento en altura en las plántulas de claros (Figura 5), durante los 4 primeros meses ($r^2 = 0.27$, $p < 0.01$) y también para el incremento anual ($r^2 = 0.34$, $p < 0.01$, Figura 5).

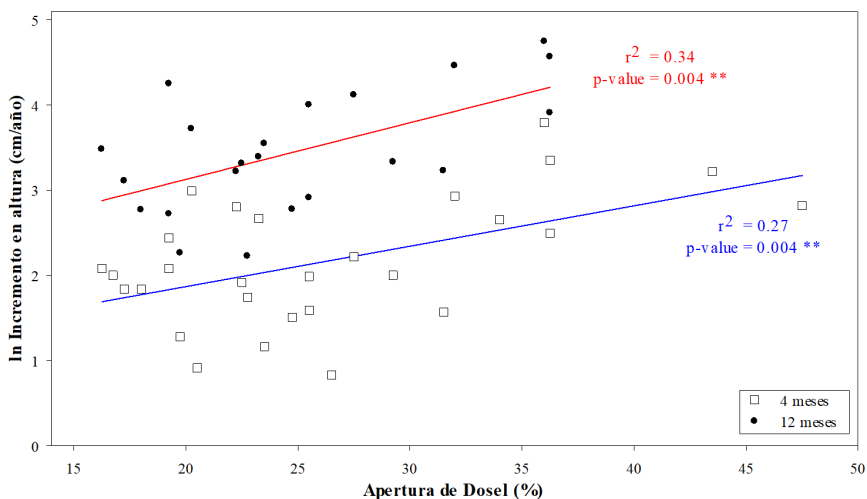


Figura 5: Regresión lineal entre el porcentaje Apertura de Dosel e incremento en diámetro anual (mm) de plántulas de *B. excelsa* en claros. Los asteriscos indican significancia a un nivel * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

El rápido crecimiento en altura garantizaría su establecimiento y que estas sean menos susceptibles a predación (Neves, 2010). Esta sería una estrategia para alcanzar el dosel más rápido y tener mayor luz disponible, luego el crecimiento en diámetro será más importante para garantizar su establecimiento (Baider, 2000; Neves, 2010).

Los resultados encontrados en el presente estudio concuerdan con los obtenidos por MYERS et al. (2000) y TONINI y WOLKMER (2011), que consideran a la regeneración de *B. excelsa* como oportunista y muy dependiente de una apertura en el dosel “gap-dependent” (MYERS, NEWTON e MELGAREJO, 2000). Aunque las semillas puedan germinar y sobrevivir en el sotobosque, necesitan un dosel abierto (claro) para un mejor desarrollo (SCOLES, GRIBEL e KLEIN, 2011); lo cual sugiere que un disturbio en el dosel puede ser un factor importante en el crecimiento y supervivencia de plántulas de *B. excelsa* (MYERS, NEWTON e MELGAREJO, 2000). En la presente investigación, el crecimiento de las plántulas en *B. excelsa* fue significativamente mayor en los claros que en el sotobosque. Asimismo, el crecimiento se incrementa significativamente con una mayor apertura de dosel, es decir una mayor luz disponible (SCOLES, GRIBEL e KLEIN, 2011; NEVES, 2010; PEÑA-CLAROS, BOOT, et al., 2002).

Mientras que en el sotobosque las plántulas de *B. excelsa* mantuvieron sus hojas, y estas fueron más gruesas que las de los claros y presentaban el borde dentado (Figura 13), debido a las condiciones poca luz del sotobosque se espera que las plántulas de *B. excelsa* inviertan más recursos disponibles y biomasa en sus hojas para captar una mayor cantidad de luz (POORTER, 1999) (ZUIDEMA, DIJKMAN e RIJSOORT, 1999). HAYASHIDA-OLIVER et al. (2001), encontró una mayor proporción de peso en hojas (peso en hojas/peso total) en plántulas de *B. excelsa* y *Swietenia macrophylla* en sotobosque (3% luz) que en claros. El incremento en el área foliar en los claros representaría una estrategia adoptada por las plántulas de *B. excelsa* con la finalidad de maximizar la interceptación de luz solar y fijación de CO₂ (SANTOS, CARVALHO e FELDPAUSCH, 2006; FERREIRA, CARVALHO e SILVA, 2012).

4 | CONCLUSIONES

El incremento anual en diámetro de las plántulas de *B. excelsa* fue significativamente superior en los claros (3.7 ± 2.1 cm) en comparación con las de sotobosque (1.5 ± 0.9 cm). El incremento anual en altura de las plántulas fue significativamente superior en los claros (40.2 ± 29 cm) que en sotobosque (3.3 ± 2.4 cm). La mortalidad total fue superior en las plántulas establecidas en sotobosque (84%) en comparación con las establecidas en claros (25%). Asimismo, el promedio de supervivencia de las plántulas fue significativamente mayor en los claros. Es decir, que la supervivencia de plántulas de *B. excelsa* es dependiente de las condiciones de la cobertura de dosel. La apertura de dosel fue la variable que influencia significativamente el incremento en diámetro y altura de las plántulas de *B. excelsa*.

REFERENCIAS

ASSAD, A. **Biodiversidade:** Institucionalização e programas governamentais no Brasil. Campinas: Tesis Doctorado. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociencias , 2000.

CLAY, J. Brazil Nuts: The Use of a Keystone Species for Conservation and Development; The Impact of Palm Heart Harvesting in the Amazon Estuary. In: FREESE, C. **Harvesting Wild Species:** Implications for Biodiversity Conservation. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1997. p. 246-282.

CORNEJO, F. **Historia Natural de la Castaña (Bertholletia excelsa Humb & Bonpl.) y Propuestas para su Manejo.** Puerto Maldonado: ACCA, Asociación para la conservación de la Cuenca Amazónica, 2003. 54 p.

COTTA, J. et al. Shifting Cultivation Effects on Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*) Regeneration. **Forest Ecology and Management**, Florida, USA, v. 256, n. 2, p. 28-35, 2007.

FERREIRA, M.; CARVALHO, F.; SILVA, J. Crescimento e Eficiência do uso da Água de plantas jovens de Castanheira-da-Amazônia em Área degradada e submetidas à Adubacao. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 393-401, 2012.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. **Paleontological Data Analysis.** First. ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006.

HAYASHIDA-OLIVER, Y.; BOOT, R.; POORTER, L. Influencia de la disponibilidad de agua y luz en el crecimiento y la morfología de plantines de *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata* y *Bertholletia excelsa*. **Ecologia en Bolivia**, v. 35, p. 51-60, 2001.

INPE. **Monitoramento da Floresta Amazônia por Satélite:** 2001-2002. São Paulo: Ministério de Ciências e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.

LEMMON, R. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. **Forestry Science**, n. 2, p. 314 - 320, 1956.

MOLL-ROCEK, J. **The effects of selective logging on Bertholletia excelsa natural regeneration:** An investigation of compatibility for multiple-use forest management in Madre de Dios, Peru. Cambridge, Massachusetts: Department of Organismic and Evolutionary Biology, Harvard University, 2012.

MYERS, G.; NEWTON, A.; MELGAREJO, O. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. **Forest ecology and management**, v. 127, n. 1-3, p. 119-128, 2000.

NEVES, E. **Regeneracao Natural e Interaccion do Crescimento Inicial Da Castanheira Da Amazonia (Bertholletia excelsa Bonpl.) Com Atributos de Solo e Luz.** Macapá, Brasil: Tesis de Grado: Universidade do Estado do Amapá, 2010.

PAIVA, P.; GUEDESA, M.; FUNIA, C. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 508–514, 2011.

PEÑA-CLAROS, M. et al. Enrichment planting of *Bertholletia excelsa* in secondary forest in the Bolivian Amazon: Effect of cutting line width on survival, growth and crown traits. **Forest Ecology and Management**, v. 161, p. 159-168, 2002.

PERÉA, R. **Regeneração e Estrutura Populacional de *Bertholletia excelsa* H. B. K. Em Áreas com Diferentes Históricos de Ocupação, No Vale do Rio Acre (Brasil)**. Rio Branco – AC: Universidade Federal Do Acrem Programa de pós Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, 2005. 59 p.

PERES, C. et al. Demographic Threats to the Sustainability of Brazil Nut Exploitation. **Science**, v. VOL 302, p. 2112-2114, 2003.

PERES, C.; SCHIESARI, L.; DIAS-LEME, C. Vertebrate Predation of Brazil-Nuts (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae), an Agouti-Dispersed Amazonian Seed Crop: A Test of the Escape Hypothesis. **Journal of Tropical Ecology**, v. 13, n. 1, p. 69-79, 1997.

POORTER, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, v. 13, p. 396-400, 1999.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

SANTOS, U.; CARVALHO, F.; FELDPAUSCH, T. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 226, p. 299-309, 2006.

SCOLES, R.; GRIBEL, R.; KLEIN, G. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 6, n. 3, p. 273-293, 2011.

SENAMHI; ANA. **Estudio Diagnóstico Hidrológico de la Cuenca Madre de Dios**. Lima - Perú: Ministerio de Agricultura, 2010.

SYSTAT. **Using SigmaStat Statistics in SigmaPlot**. United States of America: Systat Software, 2013.

WADT, L.; KAINER, K.; STAUDHAMMER, C. Forest use in Brazilian extractive reserves: natural regeneration of brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**, v. 141, p. 332-346, 2008.

ZUIDEMA, P. **Ecología y manejo del árbol de la castaña (*Bertholletia excelsa*)**. 95 p. ed. Riberalta, Beni, Bolivia: PROMAB, 2003.

ZUIDEMA, P.; BOOT, R. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, p. 1-31, 2002.

ZUIDEMA, P.; DIJKMAN, W.; RIJSOORT, J. Crecimiento de plantines de *Bertholletia excelsa* H.B.K. en función de su tamaño y la disponibilidad de luz. **Ecología en Bolivia**, v. 33, p. 23-35, 1999.

INFILTRATION CAPACITY MODELLING UNDER FORESTS IN THE BASIN OF THE SAN CRISTOBAL RIVER, BOGOTÁ

Data de aceite: 04/01/2021

Carlos Francisco García Olmos

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Bogotá D.C., Colombia

Diana Constanza García Rincón

University of Sao Paulo
Sao Paulo, Brazil

ABSTRACT: It studied the infiltration capacity under mature forests of *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus globulus* and natural forest in the basin of the San Cristobal River, southeast of the Bogotá city. The characterization of the forests was made and identified in each three representative trees; around which were measured infiltration capacity. With the curves of the infiltration capacity obtained according to Horton, Philip, Kostiakow and modified Kostiakow, models using MATLAB, class nonlinear model fit. The most representative model was Horton. *Cupressus lusitanica* forest presents the curves with the highest values of the infiltration capacity in the soils, and then the saturation of *Eucalyptus globulus*; both by its more robust and deep root systems. Found differences were found to be statistically significant. These results allow to know the benefits of these mature forests in regulating flows.

KEYWORDS: Natural forests, *lusitanica* *Cupressus*, *Eucalyptus globulus*, Horton, infiltration.

RESUMEN: Se modelizó la capacidad de infiltración bajo bosques maduros de *Cupressus*

lusitanica, *Eucalyptus globulus* y bosque natural en la cuenca del río San Cristóbal al sureste de la ciudad de Bogotá. Primero se hizo la caracterización de los bosques y se identificó en cada uno tres árboles representativos. Con centro en cada árbol representativo se trazaron líneas radiales cada 120 grados sobre las cuales realizaron mediciones de capacidad de infiltración a los 3, 6 y 9 metros de distancia a partir de cada uno de ellos. Con las curvas de la capacidad de infiltración obtenidas se hallaron los modelos según Horton, Philip, Kostiakow y Kostiakow modificado, utilizando MATLAB, clase nonlinear model fit. El modelo más representativo fue el de Horton. Se pudo establecer que el bosque de *Cupressus lusitanica* presenta las curvas con los mayores valores de la capacidad de infiltración y las mayores tasas de la capacidad de infiltración a suelo saturado, y luego el de *Eucalyptus globulus*; ambos por sus sistemas radiculares más robustos y profundos. Las diferencias halladas resultaron ser estadísticamente significativas. Estos resultados permiten conocer las bondades de estos bosques maduros en la regulación de caudales.

PALABRAS CLAVE: Bosque natural, *Cupressus lusitanica* Mill, *Eucalyptus globulus* Labill, Horton, infiltration.

INTRODUCTION

It studied the behavior of the infiltration capacity of a natural forest, and mature plantations of cypress (*Cupressus lusitanica* Mill) and eucalyptus (*Eucalyptus globules* Labill), and

analyzed the differences between them, result that allows to make a better choice of species that should be planted to obtain a higher water potential in the watershed.

The modeling of the infiltration capacity it can to know how these forest species have their infiltration processes in search for a better regulation of flows in watersheds.

Factors affecting the capacity of infiltration are related to species planted, the type of soil, the content of organic matter, slope and their configuration, the transfer of water in soil, its storage capacity, characteristics of the permeable medium and the flow of water through the soil profile. (Philip, 1957); (Terlien, 1998); (Lal and Shukla, 2004).

The tree characteristics that affect the ability of soil infiltration include their age, layout, density, management, root development and its aerial structure.

Root systems forming cracks in the soil or contribute to enlarge the pores and the treetops cushioning the impact of rain drops. In general, protected by forest areas have higher rates of infiltration capacity than those who are not. In addition, the organic layer that can be found on the ground in areas with good cover, protects the soil from the impact of water drops rain, and contributes to higher infiltration capacity.

In Kenya, Brazil and Niger there are examples that good management and care of the Earth prevents or reduces the scarcity of water, and is achieved by increasing the infiltration of rain water on the floor, being retained for the use of the plants or to recharge the groundwater. (Shaxson & Barben, 2005).

Vegetation exerts control over the components of interception, runoff, evapotranspiration and infiltration, increasing the capacity regulation of rain water that reaches the soil. (Cortés *et al.*, 2014). Capacity of infiltration have been made different mathematical models, which according to Mishra *et al.*, (1999), are classified in theorists such as Green-Ampt, Philip, Mein and Larson; semi empirical as Horton, Holtan, Overton, Singh-Yu and Grigorjev-Iritz and empirical as the SCS-CN, Kostiakov, Huggins-Monke, modified Kostiakov (Smith) and Collis-George.

The formulated models are derived from specific tests, regardless of the presence of the forest. According to Bruijnzeel (1997), plantation and its management have an influence on the hydrological characteristics, among which is the infiltration, which affects the water yield, runoff and sediments that occur in those soils.

Manzano Agugliari & Zapata (2008), in the study of the influence of six tree species on soil water infiltration concluded that the infiltration must be corrected when there is presence of trees, and that infiltration decreases as the trees are more distanced. This work established a given density of trees to obtain greater soil infiltration.

Landini *et al* (2007) confirm the importance that infiltration in the conservation of groundwater. The infiltrated water can be much of fall rain and is very important to be able to quantify.

This research was designed to the characterization of tree species in the basin of the river San Cristobal, infiltration processes modeling and analysis, where was a contribution

to their hydrological knowledge, for the conditions in which they are, allowing you to know what kind of forest favored greater infiltration capacity, to make a better water regulation applicable in similar watersheds.

The results obtained provide a knowledge in the hydrological process simulation lluvia-escorrentia, to improve regulation and water balance of watershed.

MATERIALS AND METHODS

Area of study

Located to the South East of the Bogotá city, on the eastern cordillera of the Colombian Andes, in the forest reserve of the basin of the river San Cristobal, between the 2900 and the 3200 meters above sea level, the village of San Cristobal. Figure 1.

The mean annual precipitation is 1220 mm. (Deliriumpluviometric-pluviographic station at the 3,000 meters, 1933-2013 period), with an average temperature of 13.3 °C (Vitelma weather station, at 2800 meters, 1981-2013 period). (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá “EAAB”, 2014).

According to the rainfall regime, the way how are temperatures, relative humidity and winds, the weather in the area has two dry periods, which are: from December to March and in September; and two wet: from April to August and October to November. (García, 2007).



Figure 1. Location of the basin of the river San Cristobal in the town that bears his name, in the city of Bogotá, D.C. source: www.esetunjuelito.gov.co

In the basin were identified *C. lusitanica* forested experimental areas, *E. globulus* and natural forest. (Figure 2).

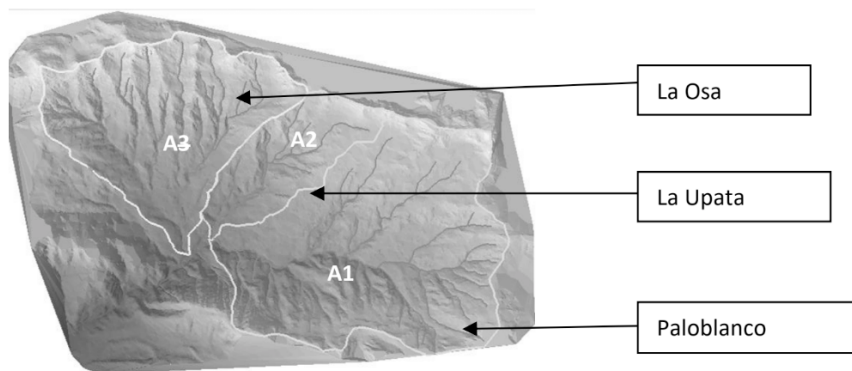


Figure 2. Basin of the river San Cristobal, watersheds, and the experimental areas located: (*C. lusitanica*) A1, A2 (*E. globulus*) and A3 (Natural forest).

In the forest of *C. lusitanica*, much of the area is free of undergrowth, but in Exchange there is an important organic layer on the ground, with abundant supply of needles, own a very mature, planted forest without any design or management later but is in good condition.

The forest coverage of *E. globulus* is very populated with chusque (*Chusquea* sp.) It is a planted forest as old as that of *C. lusitanica*.

Natural forest, has the greatest variety of species compared to the others. Between the chusque and other species, are few clearances. There the reference tree is the encenillo (*Weinmannia tomentosa*). (Table 1).

The study area is of sandstone and clay with varied States of compaction. The geological formations belong to the upper Cretaceous age. These are the Guadalupe formation with hard sandstones and limestones, the Guaduas formation siltstones and claystones, the Chub formation with sandstone and Quaternary formation which is of fluvio-glacial and alluvial accumulations. (Van der Hammen & Gonzalez, 1963).

The relative density of the soil under the plant cover is low, with values of 0.3 to 0.7 and porosity of 60 to 75% with a volume of empty of 55 to 65%.

According to the identified characteristics of soils in the experimental areas, were classified taxonomically, in accordance with the United States Department of Agriculture - USDA, in the order of the Inseptisoles, of recent volcanic origin, with little defined characteristics. They are soils of low temperatures that can develop in humid climates, with low rates of organic decomposition, have accumulations of amorphous clays and an acid ph. (De Las Salas & García, 2000).

Watershed	Species of Reference	h (m)	DAP (m)	D Cup (m)	Density (No. / ha.)	Main species understorey
Palo Blanco	<i>Cupressus lusitanica</i>	25-32	0.92	2.5	1166	<i>Chusqueasp</i> ,
The Osa	<i>Weinmannia tomentosa</i>	12-17	0.08-0.27	6.0	2672	<i>Chusqueasp</i> , <i>Myrcianthesleucoxylla</i> (large Myrtle), <i>Myrsine sp.</i> (hayuelo), <i>Alnusacuminata</i> (Alder)
The Upata	<i>Eucalyptus globules</i>	20-30	0.70	3.0	1000	<i>Chusquea sp</i>

Table. 1. An overview of the reference species

Were it obtained in-situ nine cylindrical samples taken to 0.60 meters deep, in the central area of each forest, one at each site where; infiltration capacity test was performed samples were examined to evaluate the texture, identifying these as sandy soils and sandy frank, with permeability from 25 to 50 mm/h.

Design Experimental implemented for each type of forest

Each forest type had an experimental area of one hectare, where three representative trees is selected. Around each representative tree radial lines were plotted every 120 degrees, and on them were the sites of the trials of infiltration capacity, to distances of 3, 6 and 9 meters. Two replications by trial, for 18 trials by representative tree done at each site. Replications were verification purposes. (Figure 3).

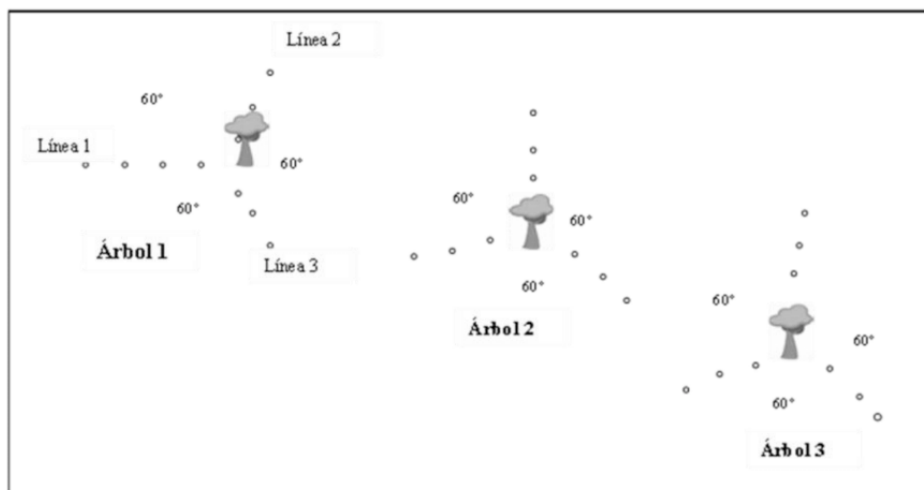


Figure 3. Disposal of trials according to experimental design, in every forest.

Experimentation

Experimentation was done by conducting trials of infiltration capacity around the representative trees in each forest type, for a total of 162 tests, according to design of Figure 3.

Infiltration capacity

The degree of initial soil humidity for each trial was established with the TDR-100 moisture meter. Trials were made by concentric metal rings 28 cm in diameter, kneeling on the ground to a depth of 10 centimeters, in the mineral soil, prior retired from the organic layer.

Infiltration capacity models in three types of forests

Preprocessing: calculation of soil infiltration capacity for each time interval: were digitized data that correspond to the level of water in millimeters and the time in minutes. The calculation of soil infiltration capacity was based on the definition of differentiation:

$$\text{Infiltration capacity}[\text{mm}/\text{min}] = \frac{|\text{Water layer}(t_{i+1}) - \text{Water layer}(t_i)|}{t_{i+1} - t_i} \quad (1)$$

Processing: Calculation of parameters of different models using non-linear regression. The treatment of the data was performed with MATLAB R2012b (Moler, 2012).

In the setting of parameters of the models in the study used the same method of non-linear regression. This setting was optimized by the least squares technique, which is the tool that is used in MATLAB called the `nonlinearmodel.fit` class.

The initial value assigned to the parameters was empirical, based on the shape of the curve obtained and the equation which is intended to represent.

The models used were: Horton, Philip, Kostiakov and modified Kostiakov, whose mathematical expressions are presented in Table 2.

Model	Equation
Horton	$f(t) = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$
Philip	$f(t) = st^{-0.5} + C$
Kostiakov	$f(t) = abt^{b-1}$
Kostiakov Modificado	$f(t) = f_c + \alpha t^{-\beta}$

Table 2. Equations for the infiltration capacity

Where:

t = time passed since the surface soil saturation, in minutes

k = constant of decay

f(t) = permeation rate at time t, mm/h

f_o = initial infiltration rate (t = 0), mm/h

f_c = minimum infiltration rate (asymptotic), mm/h

s = sortividade in Philip, obtained by regression model.

C = transmissivity in Philip, obtained by regression model.

a, b = parameters of Kostiakov model, obtained by regression.

A, β = modified Kostiakov model parameters, obtained by regression.

The modelling was done taking into account the criteria of initial moisture content of the soil, which were defined as high (60-80%), medium (40 to 60%) and low (20-40%) and the distance to trees representative, that they were 3, 6 and 9 meters.

Behavior of the infiltration capacity in three types of forests

It is determined based on the obtained modeling, first associated with general level including all trials of each species, and then for the trials around each representative tree in particular, and then taking into account the distances to the representative tree and subsequently according to the degree of moisture in soil.

Analysis of the infiltration capacity in three types of forests

Using calibration curves obtained from the behavior of the infiltration capacity for each species and taking into account the degree of moisture in soil and the distances to the representative trees. The results are compared with other studies.

Analysis of variance of the infiltration capacity under saturation in three types of forests

In order to determine whether the differences in the capacity of infiltration under three types of forests are significant, variance analyses were made based on infiltration under the condition of saturation of the soil, which is the final rate of infiltration, of each of the experiments made capacity.

Discussed the statistical validity through analysis of variance of each forest with the design of blocks at random for each of the forests, which allowed to determine the behavior to the inside of each one of them and then that those results met this led to an analysis of variance of data completely at random.

RESULTS AND DISCUSSION

For the modelling done, a good overall fit was obtained at Horton model according to the indicator R^2 , for natural forest, but not for other coverages. But grouping the tests based on the degree of initial soil moisture were found trends which are defined for all forests in study, especially when the initial soil moisture content is high (60-80%), with R^2 of at least 60%, and with the other contents of initial humidity of the soil (low and medium) the degree of adjustment was 15% lower. (Table 3).

Soil moisture	Species	R ²	Model
	<i>E. globulus</i>	0.4257	Kostiakov mod.
Initial low moisture	<i>C. lusitanica</i>	0.5308	Horton
	Natural forest	0.7179	Horton
	<i>E. globulus</i>	0.4880	Horton
Initial average moisture	<i>C. lusitanica</i>	0.5496	Horton
	Natural forest	0.8140	Horton
	<i>E. globulus</i>	0.9328	Horton
Initial high humidity	<i>C. lusitanica</i>	0.6036	Horton
	Natural forest	0.9440	Horton

Table 3. Assessment of R² of some capacity modelling of Infiltration, according to the soil moisture range.

The considered models were those of Horton, Philip, Kostiakov and modified Kostiakov, the behavior of the infiltration capacity presented a better degree of adjustment with the formulation of Horton (R²> 60%), under sandy soils sandy, accompanied by the plant cover in the study; the other models were not sufficiently representative.

The results were compared with those obtained by Guevara & Marquez (2010), who evaluated nine models in three sectors of a farming community, Basin of Chirgua River, Venezuela, under organic silt soils, sand loam and clay loam, using infiltration meters. They found that the Horton model was satisfactory for the entire series of data, the model of Kostiakov modification best estimated from the 400 mm/h and high moisture content model of Philip, who was the only one with an R² had a good fit greater than 70%.

Although in the former case it is not same soils and coverage, if the wide applicability of the Horton model, but also other models which were considered in the present study also had an acceptable level of approximation.

Ateca *et al* (2007), studied the movement of the water in the profile of a Haplustol under conditions of natural forest and monoculture of soy, and found that the Horton equation best described that of Philip the process of infiltration of water in the soil, corroborating the applicability of this model in the process of infiltration under forest.

Navar & Synnott (2000), determined the effect of the use of the soil at the rate of infiltration of vertisols in Northeast Mexico. They used double infiltration meters of constant load, in trials from July to November 1985 on the agricultural property of the Universidad Autónoma de Nuevo León - UANL on agricultural lands, grasslands, scrub and forest plantations. Data were adjusted using the models of Green and Ampt, modified Kostiakov, Horton and Philip, finding that the modified Kostiakov model was the best fit. When

compared with the modeling done in the present study with modified Kostiakov, this was one of the best fit, which shows that in forestry and agricultural applications is representative, by adjusting its coefficients.

Shown the model curves of the infiltration capacity according to the considered initial soil moisture ranges, in Figures 4a, 4b and 4c.

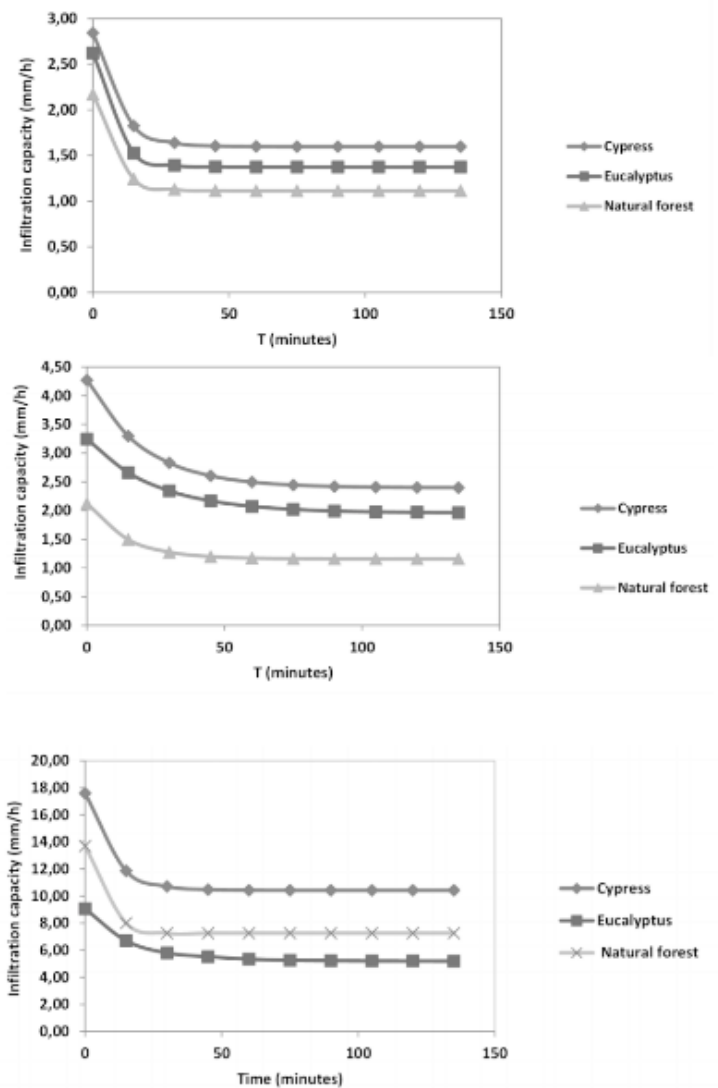


Figure 4. Curves of the infiltration capacity, modelled for initial soil moisture: (a). 60 to 80%. (b). 40 to 60%. (c). 20 to 40%.

Ranges that were experimentally infiltration capabilities for forests study are presented in Table 4. Shows that differences in the capacity of infiltration of the species in the study are minimized higher initial moisture content of soil, being lower for initial soil moisture of 60 to 80%.

Species	ω_i (20-40%)		ω_i (40-60%)		ω_i (60-80%)	
Cypress	660.0	1,050.0	168.0	258.0	102.0	174.0
Natural forest	450.0	810.0	78.0	126.0	72.0	126.0
Eucalyptus	360.0	540.0	138.0	198.0	90.0	162.0

Table 4. Ranges of infiltration capacity (mm/h), for intervals of initial soil moisture ω_i (%), Basin of San Cristobal River, Bogotá, D.C.

According to Figure 4 and Table 4 the infiltration capacity for contents of initial soil moisture (40 to 60%) and (60-80%) is greater for *C. lusitanica* and then *E. globulus* by the influence of their root systems on the structure of the soil, which are more robust and become a trainer agent of the same, when it comes to forests that have been there for many years.

Another analysis that was made was the compare to a same species variations in the values of the capacity of infiltration, according to the initial soil moisture contents considered content of initial soil moisture (20 to 40%) shows that the natural forest presents greater sensitivity on the behavior of the infiltration capacity by changes in the value of the initial soil moisture of the ground in front of content medium and high soil moisture, with which the differences are slim. This fact can be explained by the influence that it has varied and abundant vegetation that is superficial, which favors the process of infiltration under this low soil moisture condition.

Is assessed the degree of development of root systems by linking them with the column shafts and height of trees, where the *C. lusitanica*, turns out to be the larger species, with a diameter at the height of the chest-DAP in the order of 0.92 meters, heights of 25 to 32 meters and diameters of the order of 2.5 Cup meters, but the density of the forest of 1166 trees per hectare. This result is consistent with that obtained by Manzano Agugliario & Zapata (2008), who determined that higher values of infiltration are presented to greater height and diameter of trees.

The general trend for a second place in terms of the infiltration capacity, turned out to be of the *E. globulus*, which has trees with a diameters of up to 0.70 m, heights of 20 to 30 meters, diameter of Cup of the order of 5 meters, but with very few branches and leaves and a density of 1000 trees per hectare. While it has an understory rich in chusques, with a density of 100%, this did not influence both in the process of infiltration capacity. However

should highlight that differences in infiltration capacity between the covers of Cypress, eucalyptus and natural forest are diminished to high contents of humidity (60-80%), since these effects of root systems were reduced in that State of moisture.

Comparatively the curves to content medium and low soil moisture are marked by differences increasingly older in the behavior of the infiltration capacity, and to a moisture content of 20 to 40%, the differences become up to 100% between cypress and eucalyptus, indicating that they will lead to greater infiltration facilities in the forest of *C. lusitanica*.

In terms of the infiltration capacity with respect to the distance to the representative trees, a definite trend not found due to the fact that these forests are not due to a design, or have had management, being planted randomly. Trials at distances of 3, 6 and 9 meters, finding that these differences were minimal for Cypress were. However for the natural forest the infiltration capacity to 3 meters of distance to the representative tree was slightly greater than the one presented to the 6 and 9 meters, among which there was no variation in the infiltration capacity.

Other studies that addressed the infiltration under the forest, as the one made by Manzano Agugliaro & Zapata (2008), could define that the infiltration capacity is greater as the distance to the tree is minor, where the trees if obeyed a plantation ordered according to a design.

The capacity of infiltration under a forest cover has a different behavior to the bare soil, by altering that induces the forest. Bruijnzeel, (1997); Manzano Agugliaro & Zapata (2008). This can be verified by comparing the rates of the infiltration capacity obtained in trials to bare soil with values of 25 to 50 mm/h, in contrast with those obtained under forests, which were of the order of 120 to 1080 mm/h. This difference is explained in addition, because the forest through many years of staying in those soils has induced modifications as forming agent.

Rates of infiltration under natural forest capacity have been measured by different authors, where Oyarzún *et al* (2011), worked in the Cordillera de la Costa in the South of Chile, obtaining values of 323.3 to 1083.3 mm/h for the month of March and 20.2 to 133.6 mm/h for June, which were higher than in a plantation of *E. globulus*, infiltration rates ranging from 3.3 to 42.7 mm/h in august and 1.7 11.7 mm/h, in April.

The above results in natural forest are approaching those obtained in this study, Table 4, where rates of the infiltration capacity of 450 to 810 mm/h, and 72 to 126 mm/h to soil moisture of 60 to 80% were obtained for contents of moisture of 20 to 40%. However, for *E. globulus* the values found in the basin of the San Cristobal River are much higher (from 90 to 540 mm/h), because that is very developed mature forests, while Chile was a young plantation.

According to the Anova statistical analysis based on saturation average rates for each of the blocks designed around each of the three trees representative, in each of the forests, applying the analysis of blocks at random, was found for all forests that there were no

significant differences between the blocks of each forest, neither nor were there significant differences regarding distances to representative trees. Tables 5, 6, 7 y 8. Consequently, to make the analysis of all the data completely at random were found significant differences in rates of infiltration capacity saturation between three types of forests, confirming that the differences identified by the modelling of greater adjustment are confirmed as representative. This analysis was a validation process, where it was an approximation to the normality of the residuals, which does not affect the results, (Montgomery, 2004).

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Medium square	F- ratio	Fo	p -value
Blocks	9779,85	2	4889,9	4,30		
Treatments	3395,85	8	424,5	0,37	Fo=2.09	<0,01
Error	18198,81	16	1137,4			
Total	31374,52	26				

Table 5. Analysis of variance of the data, design blocks at random, according to the rate of saturation, for *Cupressus lusitanica*.

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Medium square	F- ratio	Fo	p -value
Blocks	835,85	2	417,9	0,66		
Treatments	5930,96	8	741,4	1,17	Fo=2.09	<0,01
Error	10137,48	16	633,6			
Total	16904,30	26				

Table 6. Analysis of variance of the data, design blocks at random, according to the rate of saturation, for *Eucalyptus globulus*.

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Medium square	F- ratio	Fo	p -value
Blocks	45,31	2	22,7	0,20		
Treatments	1417,49	8	177,2	1,54	Fo=2.09	<0,01
Error	1844,59	16	115,3			
Total	3307,39	26				

Table 7. Analysis of variance of the data, design blocks at random, according to the rate of saturation, for natural forest.

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Medium square	F- ratio	Fo	p -value
Treatments	10192	2	5096	7,24	Fo=2.37	<0,01
Error	54908	78	704			
Total	65100	80	814			

Table 8. Analysis of variance of the data, design completely at random, according to the rate of saturation, for *Eucalyptus globulus*, *Cupressus lusitanica* and natural forest.

CONCLUSIONS

The behavior of the capacity of infiltration under mature forests of *E. globulus*, *C. lusitanica* and natural forest in the basin of the San Cristobal River was modelled adequately according to Horton reaching an average level of approximation of the 60%, according to the indicator R^2 , in comparison with those of Philip, Kostiakov and modified Kostiakov.

The previous result was obtained when it pooled trials with a same soil moisture range, proving to be the point of comparison allowing to identify defined trends.

The modelling according to soil moisture content, the behavior of the infiltration capacity present higher values for cypress forest, and in second place for the eucalyptus and then by natural forest, because this process of deep water ingress was favored by sturdy root systems, and towards the inside of the soil. This result because is mature forests, but it cannot say that introduced species are ideal substitute for natural forest, which presents great differences to a plantation in its early stages.

There are significant differences in the behavior of the infiltration capacity under three types of forests in study, which were identified in the modelling, which were checked by analysis of variance.

Not identified a definite trend of capacity of infiltration with respect to the distance to trees representative, in reason that these forests do not obey any design, as if it has been the case with other investigations where if trends have been defined. ManzanoAgugliaro & Zapata (2008).

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to the company of aqueduct and sewer of Bogotá "EAAB" for allowing us to investigate in the for reserve of the Basin of San Cristóbal River, especially to the doctors Mauricio A Velástegui Torres, and Carlos A. Bello Blanco, The Center for research and scientist development of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas that made the project possible, the Faculty of environment and natural resources for their institutional support. The doctors Miguel E. Cadena Romero and Néstor Bernal for their contributions.

REFERENCES

Ateca, M. R., Aoki, A. M. & Sereno, R. (2007). Movement of water in the profile of a Haplustol under conditions of native forest and monoculture of soya. *Terra Latin American* [Online], vol. 25 [cited 2011-07-02]. Available online: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57325306>. ISSN 1870-9982.

Bruijnzeel, L.T. Sampurno. (1997). Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. Canberra Australia: Editors: E. K. Sadanandan. Nambiar and Alan G. Brown. CSIRO. 571p.

- Cortes, S., Iovano, E. & Gurvich, D. (2014). Ecohydrology in mountain catchments under different land uses. Córdoba, Argentina: Centro de Investigaciones in Earth Sciences (CICTERRA), National University of Córdoba and multidisciplinary Institute of plant biology (IMBIV): UNC-CONICET. 9 p.
- De Las Salas, G. & Garcia Olmos, C. (2000). Water balance under three contrasting plant cover in the basin of the San Cristobal River, Bogotá, Bogotá D.C.: Revista de la Academia Colombiana de las Ciencias Exactas, 24 (91), 205-218
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá "EAAB". (2014). Files of meteorological and hydrological information stations in the basin of San Cristobal River, hydrology office, Bogotá, D.C.
- García O., C. F. (2007). Water regulation under three plant cover in the basin of the San Cristobal River, Bogotá D.C.: Colombia Forestal, 10 (20), 127-147
- Guevara E. & Márquez, T.O. (2010). Parameterization of models of infiltration based on field testing in agricultural soils of the basin of the Chirgua River, Venezuela. Carabobo: The Center for research hydrological and environmental, University of Carabobo, Venezuela. 14 p.
- Lal, R. and Shukla, M.K.(2004). Principles of soil physics. New York, USA. Marcel Dekker. 716 p
- Landini, A.M., Martinez, D., Diaz, H., Soza, E., Agnes, D. & Sainato, C. (2007). Models of infiltration and pedotransferencia functions applied to soils of different texture. Science soil (Argentina) 25 (2): 123-131.
- Manzano Agugliaro, F. & S. Zapata, A. (2008). Influence of six tree species on soil water infiltration. Agrociencia, vol. 42, number 7, postgraduate school, Mexico.
- Mishra SK, Kumar SR & Singh VP. (1999). Calibration of a general infiltration model. Journal of Hydrological Processes 13: 1691-1718.
- Moler, C. (2012). MATLAB R2012a. Massachusetts. MathWorks. ISBN: 9780982583852 0982583850, www.mathworks.com
- Mongomery, D.C. (2004). Diseño y análisis de experimentos. Arizona, US.A. Segunda edición, Editorial Limusa.
- Navar, J.& Timothy J. Synnott. (2000). "Soil infiltration and land use in Linares, N.L., Mexico." Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L., Mexico.
- Oyarzun, C.E., Frêne, C., Lacrampe, g., Huber A. & Hervé, P. (2011). Hydrological properties of the soil and export of sediments in two watersheds of the Cordillera de la Costa in the South of Chile with different vegetation cover. FOREST 32 (1): 10-19, Santiago de Chile: Austral University of Chile, Faculty of Sciences, Institute of Geosciences.
- Philip J.R. (1957). Theory of infiltration. Soil Science 83 (5): 345-357.
- Shaxson, F. & Barben, R. (2005). Optimization of the humidity of the soil for crop production. Bulletin of FAO, no. 79 floors. Rome: UN food and Agriculture Organization.
- Terlien, M. (1998). The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds. *Environmental Geology* 35 (273): 124-130.
- Van der Hammen, T. & Gonzalez, E. (1963). History of the climate and vegetation of the upper Pleistocene and Holocene of the Savannah of Bogotá. Bogota: Geological bulletin V, XI (1 - 3): 189-266.

MÉTODO BOTANAL APLICADO A QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA NA SERAPILHEIRA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Data de aceite: 04/01/2021

Luciano Farinha Watzlawick

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava – PR
<http://lattes.cnpq.br/4985215075940551>
<http://orcid.org/0000-0001-9944-7408>

Maria Fernanda Subtil Gallo

UNI GUAIRÁCA – Centro Universitário
Guarapuava - PR
<http://lattes.cnpq.br/7412319312615254>

Matheus Rech

Centro Universitário Campo Real
Guarapuava - PR
<http://lattes.cnpq.br/3736091762102681>

Talyta Mytsuy Zanardini Galeski Sens

Universidade Federal do Paraná
Curitiba - PR
<http://orcid.org/0000-0002-0028-482X>

Richeliel Albert Rodrigues Silva

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava – PR
<http://lattes.cnpq.br/4633852866899003>

Joelmir Augustinho Mazon

UNI GUAIRÁCA – Centro Universitário
Guarapuava - PR
<http://lattes.cnpq.br/3677183983139893>

RESUMO: O armazenamento de carbono na biomassa é um dos fatores ambientais que as florestas oferecem gerando um equilíbrio entre as emissões de gases para a atmosfera. O

presente estudo tem como objetivo quantificar a serapilheira, aprimorando um método rápido e não destrutivo por meio de estimativa visual de classificação por notas pelo método Botanal. Utilizou 42 unidades amostrais, para a obtenção da estatística descritiva como também o “Teste T”. Por meio dos resultados a correlação dos 3 observadores para estimar a biomassa por meios visuais foi respectivamente 68, 70 e 74. O coeficiente de determinação foi de 0,80, isso demonstra que o coeficiente de determinação e de correlação são considerados muito bons na pesquisa. Conclui-se que é possível a utilização do método Botanal para estimativas de serapilheira em Floresta Ombrófila Mista (FOM), pois é viável o ajuste na equação de regressão, proporcionando as estimativas de serapilheira por meio das notas dos avaliadores, fato comprovado quando é aplicado o teste T.

PALAVRAS-CHAVE: Floresta com araucária, liteira, método de amostragem.

BOTANAL METHOD APPLIED THE QUANTIFICATION OF BIOMASS IN LITTLE IN MIXED OMBROPHILOUS FOREST

ABSTRACT: The storage of carbon in biomass is one of the environmental factors that forests offer, generating a balance between emissions of gases into the atmosphere. The present study aims to quantify the litter, improving a fast and non-destructive method through visual estimation of classification by notes using the Botanal method. It used 42 sample units, to obtain descriptive statistics as well as the “T Test”. Through the results, the correlation

of the 3 observers to estimate biomass by visual means was 68, 70 and 74, respectively. The determination coefficient was 0.80, which shows that the determination and correlation coefficient are considered very good in the research. . We conclude that it is possible to use the Botanal method for litter estimates in Mixed Ombrophilous Forest (FOM), since it is feasible to adjust the regression equation, providing litter estimates through the evaluators' notes, a fact proven when it is applied the T test.

KEYWORDS: Araucaria forest, litter, sampling method.

1 | INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é uma unidade pertencente ao bioma Mata Atlântica, onde essa formação florestal ocorre exclusivamente no planalto meridional brasileiro (IBGE, 2012). O termo “ombrófila” é de origem grega que significa “amigo das chuvas” e “mista” por função da mistura de espécies latifoliadas com a *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze. (VELOSO; RANGEL; LIMA, 1991).

A FOM é caracterizada floristicamente pela coexistência de vegetação de origem tropical e subtropical, com as chuvas bem distribuídas ao longo do ano, onde domina a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze da família Araucariaceae, espécie gregária de um alto valor econômico e paisagístico e de padrões fitofisionômicos típicos (RODERJAN et al., 2002).

A FOM predomina no Brasil, essa formação florestal está localizada em especial na região Sul, nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e em pequenas quantidades na região sudeste nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. A Floresta Ombrófila Mista aparece também em pequenas manchas em alguns países como Argentina e Paraguai.

Por meio dos estudos de Accioly (2013), o qual mapeou e quantificou os remanescentes florestais arbóreos do Estado do Paraná, definindo que as florestas com araucárias remanescentes representavam, até a data do referido estudo, cerca de 32% de sua área de ocorrência natural. O autor ressalta que estes fragmentos se encontram em níveis variados de sucessão ou formas de manejo.

A FOM apresenta diferentes tipologias florestais comparado a florestas ciliares, galeria ou ripárias, conhecidas também como florestas aluviais, são formações florestais influenciadas fortemente pelos rios, ou seja, que exercem importante função na estabilidade do regime hídrico das planícies sujeitas a inundações em certos períodos (WATZLAWICK, 2019).

No entanto, essa tipologia florestal é representada por número de espécies pequenas, inseridas em lugares de solos aluviais, que se desenvolvem constantemente em inundações e com a sua grande importância ambiental não fogem da destruição e fragmentação desses meios.

Segundo Sanquetta et al. (2011) o armazenamento de carbono na biomassa é um

dos fatores ambientais que as florestas oferecem, esse fator, ou seja, a fixação de carbono é um processo que ocorre naturalmente, onde as emissões de gases como o CO₂ (dióxido de carbono) ajudam para o efeito estufa causando assim, mudanças no clima. A fixação de carbono gera um equilíbrio entre a emissão de gases, entre eles o CO₂ por meio da conversão em biomassa pelo processo da fotossíntese.

Segundo Watzlawick (2019) faz-se necessário o desenvolvimento de metodologias em relação a quantificação de carbono fixado na biomassa florestal, para ajudar o manejo, a elaboração de um plano e a valorização destas tipologias florestais, pelo fator do potencial de fixação de carbono na biomassa das florestas naturais e ao interesse global por este assunto.

Portanto é de suma importância a finalidade da quantidade de biomassa em florestas, para fatores como a questão relacionada à dinâmica desses meios, como para estudos científicos também.

Desenvolvido na Austrália, Hargreaves e Kerr (1978) citados por Gardner (1986), foi elaborado um método para realizar cálculos da estimativa de produtividade de biomassa em pastagem, por meio da comparação botânica do DWR “*dry weight rank*” ou seja, “peso seco classificado” e da assistência de todas as espécies pela análise de frequência que é denominado de aplicativo botanal ou método botanal.

Para tanto o presente trabalho teve os seguintes objetivos: propor um sistema de amostragem não destrutiva aplicado nos inventários de biomassa na serapilheira em Floresta Ombrófila Mista; ajustar os cálculos e estimativas de biomassa na serapilheira em Floresta Ombrófila Mista; aplicar a metodologia Botanal na quantificação de biomassa da serapilheira; e validar a metodologia Botanal na quantificação de biomassa na serapilheira em Floresta Ombrófila Mista Aluvial.

2 | QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL

Segundo os autores Ravindranath e Ostwald (2008) definem o termo biomassa sendo a quantidade total de matéria orgânica, sendo morta ou viva, abaixo e acima do solo, expressa em toneladas de massa seca por unidade de área. O termo biomassa florestal pode representar toda a biomassa na floresta existente ou apenas a fração arbórea (SANQUETTA, 2002).

Para a quantificação da biomassa podem ser empregados métodos diretos ou indiretos, os métodos indiretos, por meio de relações quantitativas ou matemáticas como razões ou regressões por estimativas. Enquanto os métodos diretos implicam em determinações, que são medidas reais realizadas diretamente no material de análise, como a pesagem inteira de um fuste para a determinação da biomassa (SANQUETTA e BALBINOT, 2004).

Utilizando o método destrutivo, Watzlawick (2003) quantificou a biomassa de uma

floresta, onde as árvores foram derrubadas, medidas e pesadas e, os seus componentes amostrados, o autor estimou via imagens de satélites. Os autores Mello e Gonçalves (2008) por meio de dados coletados com uma amostragem destrutiva de dez árvores em cada sítio florestal, ajustaram equações para calcular a biomassa das árvores, assim como o autor Ratuchne (2010) que ajustou equações de regressão para estimar a biomassa e o carbono em (FOM), com base nos dados coletados por meio de amostragem destrutivas de 153 árvores em Floresta Ombrófila Mista.

Segundo Mason (1980) a serapilheira é definida como sendo todo o tipo de materiais biogênicos, com vários estágios de decomposição. Já o autor Koehler (1989) define a serapilheira como o material recém-caído, na parte superficial da floresta, que consiste em fragmentos de casca, galhos, folhas, flores, frutos e outros resíduos. De acordo com os estudos feitos por Bray e Gorham (1964), a serapilheira é composta em média de 1 a 15 % de ramos, 60 a 80% de folhas e 1 a 25% de casca.

A serapilheira disposta sobre o solo, passa por diversos processos de decomposição por meio da atividade da fauna edáfica, principalmente por artrópodes, cuja a função principal desses organismos são a decomposição do material orgânico que estão presentes nesses meios (Golley et al., 1978).

A serapilheira é de suma importância, pois, armazena água no solo e com isso aumenta as taxas de infiltração e condicionamento dos fluxos superficiais. Esses meios abrigam animais invertebrados que compõem a fauna do solo, esses organismos que estão nesse habitat, geralmente são influenciados por fatores como a temperatura, umidade do solo e espessura da serapilheira (CORREIA e OLIVEIRA, 2000; SILVA et al., 2009).

3 | MÉTODO BOTANAL

Desenvolvido na Austrália, como um programa computacional, o método botanal teve como objetivo combinar visualmente as estimativas da produtividade de massa seca e da composição botânica em pastagens, onde se considera as espécies por sua frequência e pela porcentagem da cobertura do solo (HARGREAVES e KERR, 1978).

As espécies de plantas em pastagens heterogêneas como a contribuição de cada componente na biomassa total são avaliadas por pesquisadores por meio desse método (TOTHILL, MCLOUGHLIN e HEADING, 1978). Segundo o autor De Vries (1933) desenvolveu inicialmente para o estudo botânico de pastagens e peso seco um método de classificação ou ranking as porcentagens relativas de importância em relação a quantidade de biomassa.

Meyer (2014), por meio de uma comunidade herbácea em um sistema silvipastoril natural, utilizou o método botanal, para inventariar a composição botânica e a análise da interferência de variáveis ambientais. Na sequência dos estudos, Corrales (2016), utilizou o método botanal para alcançar a avaliação produtiva, espacial, descritiva, e sazonal da

vegetação herbácea em Floresta Ombrófila Mista em um Sistema Faxinal.

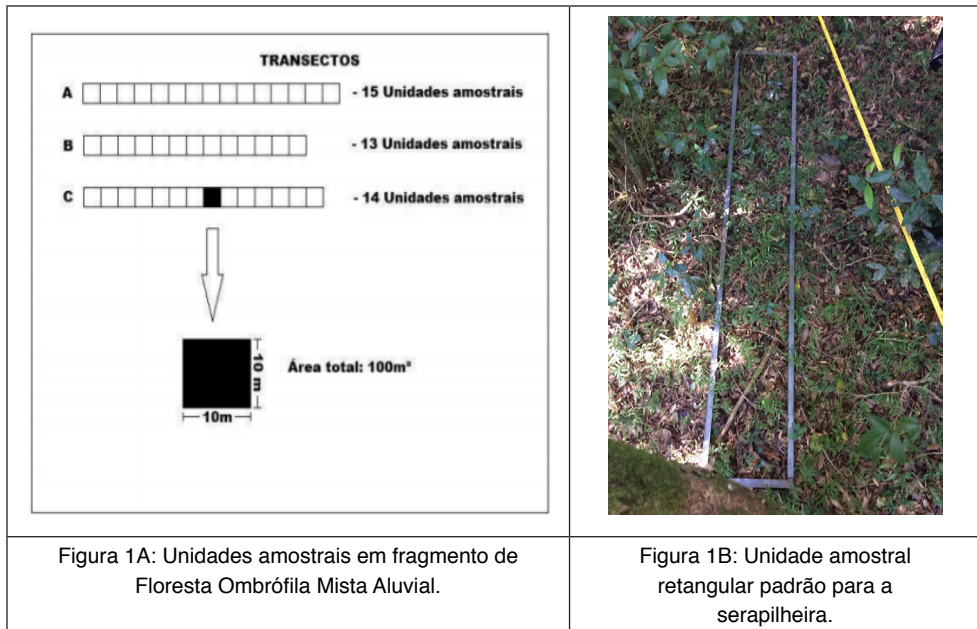
Em Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Watzlawick (2019) utilizou o método botanal para determinar a quantidade de biomassa em Floresta Ombrófila Mista Aluvial e, por meio de seus resultados obtidos os coeficientes de correlação dos observadores para estimar a biomassa por notas e o coeficiente de determinação, são considerados muitos bons segundo o pesquisador.

4 | METODOLOGIA

A área do estudo está localizada no município de Guarapuava, Paraná, na Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) Campus Cedeteg. O estudo está inserido em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial (IBGE, 2012). O fragmento florestal do estudo é margeado, na porção oeste pelo Rio Cascavelzinho e ao norte pelo Arroio Carro Quebrado, entre as coordenadas geográficas 25° 23" 00" S e – 51° 30" 00" W e 25° 22" 47" S – 51° 29" 43" W. O clima é do tipo Cfb com chuvas bem distribuídas ao longo dos anos sendo a precipitação pluvial anual média entre 1.600 e 2.000 mm com temperatura média dos três meses mais frios entre - 3 °C e 18 °C, caracterizado por verões amenos, com altitude próxima de 1.020 m em relação ao nível do mar.

4.1 Amostragem, remediação e quantificação de biomassa

Utilizando a amostragem de 42 parcelas permanentes instaladas no ano de 2011, essa amostragem foi dividida em três transectos A, B e C, conforme figura 1A, com dimensões de 10 x 10 m (100 m²), ou seja, 4.100 m² de área amostral. Para a amostragem da serapilheira utilizou a indicação de Lorentz et al., (2015), com o emprego de unidades amostrais padrões de 0,0375 m², no formato retangular de 0,25 m x 1,50 m, como mostra a figura 1B.



Na aplicação do método botanal o parâmetro total do material coletado da serapilheira, foi seco em estufa a 60° C, mantendo-o por 72 horas até alcançar o peso constante, sendo pesado em balança de 0,1 g de precisão e convertido em kg logo em seguida.

A avaliação da serapilheira no presente estudo foi obedecendo aos seguintes passos:

4.1.1 *Estimativa da biomassa (unidades amostrais-padrão)*

Com a finalidade de estimar a biomassa por meios visuais, a distribuição de notas de 1 a 5 foi realizada para um melhor entendimento das unidades padrões para serapilheira. Inicialmente, determinou dois padrões (1 e 5), sendo assim o padrão 1 de menor quantidade de biomassa e 5 de maior quantidade de biomassa. Em seguida, foi estabelecido o padrão intermediário (padrão 3) e, no final determinando os padrões 2 e 4 respectivamente na figura 2.

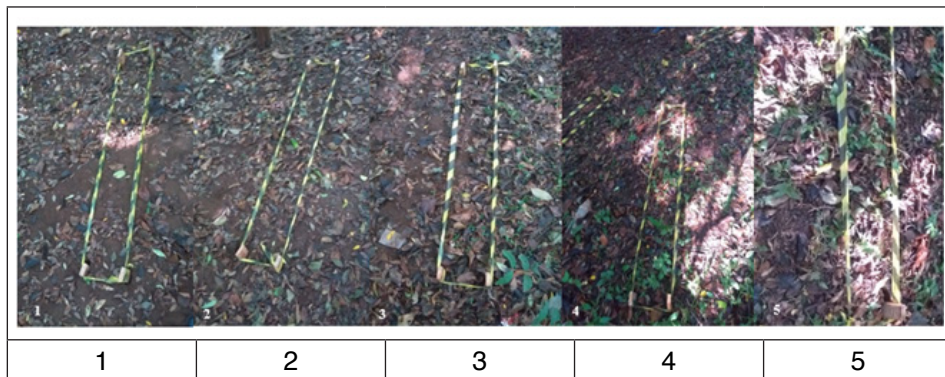


Figura 2: Padrões estimados para a serapilheira em Floresta Ombrófila Mista Aluvial.

Com o auxílio de três avaliadores para observar os padrões de biomassa, obteve um treinamento visual para tirar todas as dúvidas possíveis, atribuindo assim uma escala de cinco valores para a biomassa da serapilheira em cada unidade avaliada, sendo possivelmente atribuir notas em formas decimais e entre os números de 1 até o 5 (1; 1,3; 1,5 ... 3,3; 3,5... 4,9; 5).

Em seguida foi escolhido padrões diferentes dos quais foi utilizado para o treinamento, justamente para comparar os valores atribuídos e ter um mínimo de divergência aceitável, não sendo superior a 0,2 sendo na escala de 1 ao 5, logo em seguida com a sugestão do pesquisador Gardner (1986). Usou essa metodologia, porque quando a divergência é superior ao aceitável, tende-se estudar novamente as unidades padrões.

4.1.2 *Obtenção dos dados no campo*

Os observadores fixando os valores padrões de 1 a 5, foi realizado a determinação da área amostral. Onde cada observador trabalhou individualmente, atribuindo assim as notas de 1 ao 5 para cada uma das 42 unidades amostrais de biomassa da serapilheira.

4.1.3 *Realização da análise de regressão e estimativa da biomassa*

Nas 42 unidades amostrais padrões, foi determinada e estimada a quantidade de biomassa na serapilheira, sendo preciso aumentar os padrões (parâmetros) de no mínimo 15, para que assim obtenha uma boa correlação entre o parâmetro e a estimativa visual da biomassa.

Com os valores (notas) e parâmetros de biomassa nas 15 unidades, foi ajustado a equação de regressão, tendo a variável independente o valor da estimativa visual, ou seja, as notas e a disponibilidade de biomassa por cada observador e tendo como a variável dependente a quantidade de biomassa da serapilheira.

Logo em seguida, utilizando a adaptação do botanal por Gardner (1986) foi calculado

a equação de regressão necessária para as estimativas da produção de biomassa da serapilheira. Com isso, foi estimado o coeficiente de determinação (R^2) e as correlações de Pearson (R) para cada um dos avaliadores. Após a equação de regressão ajustada foi realizada a produção de biomassa nas 42 unidades, onde foi realizado as estimativas visuais pelos observadores, ou seja, onde eles atribuíram as notas de 1 a 5, determinando a quantidade de biomassa nas unidades amostrais.

4.1.4 Cálculos dos estimadores estatísticos

Nas unidades amostrais, onde foi realizada as estimativas das notas de 1 a 5, foi calculada a estatística descritiva: média aritmética, o desvio padrão, o coeficiente de variação, os pontos de mínimo e de máximo.

Utilizando o teste-T (teste de comparação de médias) para amostras da serapilheira a de 95% de probabilidade de confiabilidade, com a finalidade de certificar se há diferenças entre os valores utilizados para o parâmetro e os valores estimados pelo método botanal (equação de regressão), tendo assim, as seguintes hipóteses:

Hipótese de nulidade H_0 : Média do parâmetro não difere estatisticamente da média estimada pela equação.

Hipótese alternativa H_1 : Média do parâmetro difere estatisticamente da média estimada pela equação.

Utilizou-se também da teoria de amostragem, aplicando-se o processo de amostragem aleatório simples com uma probabilidade de 95% e um erro de amostragem máximo de 10%, obtendo-se assim uma estimativa para a quantidade de serapilheira para a floresta.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando as 92 unidades amostrais determinou a equação de regressão para as estimativas da quantidade de biomassa na serapilheira, onde 3 observadores deram notas visualmente para estimar a biomassa, a variável x foi substituída pela notas dos observadores resultando a biomassa da serapilheira na floresta em seguida avaliou-se as correlações de Pearson (R) dos três observadores e os coeficientes de determinação (R^2), (tabela 1).

Equação de regressão	R^2	R Obs. 1	R Obs. 2	R Obs. 3
Bio= 34,9072.X	0,86	0,68	0,70	0,74

Tabela 1: Equação de biomassa para serapilheira, com o coeficiente de determinação (R^2) e os coeficientes de correlação de Pearson (R Obs.) de cada avaliador.

Como pode ser observado na tabela 1, encontrou-se o coeficiente de determinação e a correlação dos três observadores, sendo a correlação dos avaliadores do primeiro, segundo e terceiro respectivamente: 68, 70 e 74 e o coeficiente de determinação 86. Também vale salientar que o intercepto (b_0) não foi significativo, pois na análise foi inferior a 0,05, dessa maneira o intercepto (b_0) não participa da equação.

O pesquisador Corales (2016) trabalhou com a vegetação herbácea com a FOM e, observa-se em seus estudos que o coeficiente de determinação é de 0,80, com correlação que variaram de 0,68 a 0,96. Com isso, o que pode ser observado na tabela 1, pode-se afirmar que os três avaliadores realizaram uma boa estimativa com base de seus coeficientes

Na tabela 2 encontram-se a serapilheira (parâmetro) do inventário realizado em campo, e a serapilheira estimada pelo método Botanal. Quando se compara a biomassa estimada pelo método Botanal com o parâmetro se verifica que ocorre uma superestimativa de 9,74 (g/375m²), ou seja 8,73% de diferença está que pode ser considerada pequena.

	Parâmetro	Estimativa
Média (g/0,375m ²)	85,18	94,92*
Desvio Padrão (g/0,375m ²)	37,53	39,72
Variância (g/0,375m ²) ²	1408,61	1577,74
Coefficiente de Variação (%)	44,06	41,85

*O valor tabelado de "t" que corresponde à $(n_1 - 1) + (n_2 - 1) = 126$ graus de liberdade é $t_{0,5} = 1,98$.

Tabela 2. Resultados das Estatísticas descritivas da serapilheira (parâmetro) e a estimada pelo método Botanal na Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Guarapuava – PR.

Para verificar se existe diferença estatística entre as quantidades de serapilheira entre o parâmetro e o estimado pelo método Botanal, utilizou-se o teste T, no qual o valor do $t_{\text{calculado}} = 1,59 < t_{0,5} = 3,3875$, a hipótese da nulidade é aceita, podendo-se concluir que as médias da serapilheira determinada no campo (parâmetro) e a serapilheira estimada pelo método Botanal não diferem significativamente.

Desse modo foi feito o inventário da amostragem utilizada no presente estudo, sendo que na tabela 3 são apresentados os resultados.

Amostragem	Valores	Unidades de medida
Média	94,92	g/0,375m ²
Variância	1577,74	(g/0,375m ²) ²
Desvio Padrão	39,72	g/0,375m ²
Coefficiente de Variação	41,85	%
Erro Padrão	4,05	g/0,375m ²
Erro Absoluto	8,06	g/0,375m ²
Erro Relativo	8,49	%
Mínimo	86,86	g/0,375m ²
Máximo	102,98	g/0,375m ²

Tabela 3: Resultados do inventário na serapilheira em Floresta Ombrófila Mista.

Quando da aplicação dos cálculos relativos a amostragem aleatória simples, conforme tabela 2, o erro absoluto encontrado no levantamento foi de $\pm 8,06$ (Kg/m²), tendo um erro de amostragem relativo foi de $\pm 8,49\%$, podendo afirmar o levantamento foi eficiente, visto que a proposta era um erro máximo de 10% em uma probabilidade de confiança de 95%.

6 | CONCLUSÕES

Pode-se concluir de uma maneira geral a proposta de utilizar o método Botanal para estimativas de serapilheira em Floresta Ombrófila Mista é viável, devido ser possível a realização de ajuste na equação de regressão, possibilitando a estimativa da serapilheira apenas utilizando as notas de cada um dos avaliadores, fato este que é comprovado quando da aplicação dos teste T. Porém deve ressaltar que novas investigações deverão ser realizadas, buscando um aprimoramento do método a diferentes ambientes florestais.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, P. **Mapeamento dos remanescentes vegetais arbóreos do Estado do Paraná e elaboração de um sistema de informações geográficas para fins de análise ambiental do estado.** 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BRAY, J.R.; GHORAN, E. Litter production in forests of the world. **Advances Ecology of Research**, v.2, p.101-157, 1964.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. **Fauna de Solo: Aspectos Gerais e Metodológicos. Seropédica**, EMBRAPA Agrobiologia, Documentos n. 112, 2000. 46p.

CORRALES, L. G. G. **Avaliação descritiva, produtiva, espacial e sazonal da vegetação herbácea sob floresta ombrófila mista em sistema faxinal**. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava-PR.

DE VRIES, D.M. **The Rank Method**. An estimation method for botanical grassland research using rank orders (in Dutch). Verslagen Landbouwkundige Onderzoekingen No. 39A: 1–24. The Hague, The Netherlands. 1933.

GARDNER, A. L. **Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção**. Brasília, IICA/EMBRAPA-CNPGL, 197 p. 1986.

GOLLEY, F. B. et al. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 1978. 256 p.

HARGREAVES, J. N. G.; KERR, J. D. **Botanal**: A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. II. Computational package. CSIRO. Division of tropical crops and pastures, 1978.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. rev. ampl. Rio de Janeiro - RJ: 2012. 217 p.

KOEHLER, W.C. **Variação estacional da deposição de serapilheira e de nutrientes em povoamentos de Pinus taeda na região de Ponta Grossa – PR**. 138p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

LORENTZ, L. H.; VOGEL, H. L. M.; BOLIGON, A. A.; PEREIRA, C. A. PEREIRA, M. A. Tamanho e forma da unidade amostral para quantificação da serapilheira em fragmento de Floresta Estacional Subtropical. **Revista Árvore**. Viçosa, v.39, n.3, p.513-521, 2015.

MASON, C. F. Decomposição. **Temas de Biologia**. v. 18. Tradução Octavio de Camargo. EPU: Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo. 63 p. 1980.

MORELLATO, L.P.C. Nutrient cycling in two south-east brazilian forests I- Litterfall and litter standing crop. **Journal Tropical Ecology**, v. 8, p.205-205, 1992.

MELLO, S. L. M. DE; GONÇALVES, J. L. M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**. Viçosa, v.32, n.1, p.101-111, 2008.

MEYER, W.H. **Composição botânica e análise da interferência de variáveis ambientais de uma comunidade herbácea em sistema silvipastoril natural**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava-PR.

RATUCHNE, L. C. **Equações alométricas para estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista**. 2010. 111p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava, PR.

RAVINDRANATH, N. H.; OSTWALD, M. **Carbon Inventory Methods**. Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects. Advances in Global Change Research. Springer Science + Business Media B.V., 2008. 304 p.

RODERJAN et al., As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n. 24, p. 75-92, 2002.

SANQUETTA, C. R. **Métodos de determinação de biomassa florestal**. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. As florestas e o carbono. Curitiba, p.119 -140, 2002.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. **Metodologias para determinação de biomassa florestal**. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. (Ed.); Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba: AM Impressos, 2004. p.77–93.

SANQUETTA, C. R et al. **Pagamento por serviços ambientais em Floresta Ombrófila Mista**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO, 9, 2011, Brasília. Anais... Brasília, 2011. p.1– 3.

SILVA, C. F et al. Fauna edáfica em áreas de agricultura tradicional no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP). **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 52, p. 107-115, 2009.

TOTHILL, Peter; MCLOUGHLIN, Gerard P.; HEADING, Robert C. Técnicas e erros nas medidas cintilográficas do esvaziamento gástrico. **J Nucl Med** v. 19, n. 3, p. 256-261, 1978.

VELOSO, H. P.; RANGEL F, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do Satélite Ikonos II**, 120 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

WATZLAWICK, L. F. **Método Botanal aplicado a quantificação de biomassa em Floresta Ombrófila Mista Aluvial**. 46 f. (Pós- Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

ANÁLISE E QUANTIFICAÇÃO DA NECROMASSA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Data de aceite: 04/01/2021

Luciano Farinha Watzlawick

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava – PR
<http://lattes.cnpq.br/4985215075940551>
<http://orcid.org/0000-0001-9944-7408>

Angélica Lorini

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava – PR
<http://lattes.cnpq.br/741015342488341>

Talyta Mytsuy Zanardini Galeski Sens

Universidade Federal do Paraná
Curitiba - PR
<http://orcid.org/0000-0002-0028-482X>

Jaqueline Aparecida Schran

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava – PR
<http://orcid.org/0000-0003-0971-0116>

RESUMO: Existem várias técnicas para quantificação de materiais provenientes das florestas como método direto (destrutivo) ou método indireto (não destrutivo). Essas técnicas podem determinar quantidade de biomassa e necromassa ou até mesmo densidade de plantas. O objetivo é propor um sistema de amostragem não destrutiva aplicada a inventários de necromassa em Floresta Ombrófila Mista. Para isso utilizou-se o método Botanal que consiste na atribuição de uma nota visual (1-5) da percentagem de espécies da amostra. Na realização das amostragens utilizou-se de

3 transectos subdivididos em 42 amostras com dimensões 1 m x 1 m, sendo às variáveis coletadas foram galhos > 5 cm e ramos finos < 5 cm. Utilizou-se da análise de regressão para estimativas de necromassa, correlação entre às notas e o peso (kg/m²) para cada observador nas unidades parâmetro. Para a avaliação e comparação das médias da necromassa (parâmetro) e a média da estimativa de necromassa via equação, utilizou-se da estatística descritiva e o teste-T de Student para dados de amostras independentes com número de observações diferentes, bem como também da teoria de amostragem para todo o levantamento, com erro máximo de amostragem de 20% e probabilidade de confiança de 95%. Pode-se concluir de uma maneira geral que a proposta de utilizar o método Botanal para estimativas de necromassa em Floresta Ombrófila Mista é viável, porém deve ressaltar que novas investigações deverão ser realizadas, buscando um aprimoramento do método a diferentes ambientes florestais.

PALAVRAS-CHAVE: Método Botanal, Madeira Morta, Floresta com araucária, método de amostragem.

ANALYSIS AND QUANTIFICATION OF NECROMASS IN MIXED OMBROPHILOUS FOREST

ABSTRACT: There are several techniques for quantifying materials from forests as a direct (or destructive) or indirect (destructive) method. These techniques can determine the amount of biomass and necromass or even plant density. The objective is to propose a non-destructive sampling system applied to necromass

inventories in mixed ombrophilous forest. For this, the Botanal method was used, which consists of assigning a visual score (1-5) of the percentage of species in the sample. In carrying out the sampling, 3 transects were used, divided into 42 samples with dimensions 1 m x 1 m, and the variables collected were twigs > 5 cm and thin branches < 5 cm. Regression analysis was used to estimate necromass, correlation between notes and weight (Kg/m²) for each observer in the parameter units. For the evaluation and comparison of the necromass averages (parameter) and the average necromass estimate via equation, descriptive statistics and Student's t-test were used for data from independent samples with different number of observations, as well as the sampling theory for the entire survey, with a maximum sampling error of 20% and a 95% confidence probability. It is possible to conclude in a general way the proposal to use the Botanal method to estimate necromass in mixed ombrophilous forest is feasible, however it must be emphasized that further investigations should be carried out, seeking to improve the method in different forest environments.

KEYWORDS: Botanal method, Dead wood, Araucaria forest, sampling method.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta seis tipos de biomas principais o amazônico que representa 49% do território, o bioma Mata atlântica que ocupa 13% e se localiza em regiões litorâneas, o Cerrado 24% que ocorre no Planalto Central Brasileiro, Caatinga 10% localizados em locais semi áridos, Pampa 2% encontrado principalmente na região sul do país e o Pantanal que também ocupa 2% do território brasileiro segundo o IBGE (2012).

Na região sul também há uma grande variedade de tipos de vegetação mas com a predominância da floresta com araucária ou a Floresta Ombrófila Mista, normalmente encontrada na região sul do Brasil principalmente nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná é constituída de espécies angiospermas mas também coníferas essa floresta faz parte da mata atlântica, o clima é quente e úmido.

A Floresta Ombrófila Mista, assim como todas as outras foram exaustivamente exploradas, substituídas por áreas de agricultura e áreas urbanas sem preocupação com sua preservação, em consequência, hoje apenas encontramos fragmentos pouco preservados, em locais privados ou em Unidades de Conservação. Por esse motivo é de suma importância pesquisas sobre como esses fragmentos se comportam pois ainda há poucas informações relacionados a ciclagem da matéria presente nesses fragmentos (DANNER et al., 2012).

A necromassa é toda a matéria morta presente no ecossistema, podendo ser dividida em árvores mortas em pé e material morto no solo, esta última ainda pode ser dividida em duas subcategorias: liteira fina - folhas, gravetos e galhos finos com diâmetro inferior a 2 cm e liteira grossa - galhos e troncos maiores ou iguais a 2 cm (peças intermediárias entre 2 cm e 10 cm e peças grossas maiores que 10 cm). A liteira grossa é a responsável por grandes estoques de biomassa em sistemas florestais (DEUS, 2015).

A necromassa é um componente essencial no estoque de carbono na floresta,

servindo também de habitat e de alimento para diversas formas de vida neste ecossistema. Apesar da sua importância ecológica, existem poucos estudos tratando do processo de amostragem para necromassa. (MARTINS et al., 2017)

Existem várias técnicas para quantificação de biomassa, necromassa e até densidade de plantas, esses podem ser método direto (destrutivo) ou método indireto (não destrutivo). (DEUS, 2015).

Um exemplo de técnica indireta é o Botanal que inicialmente foi elaborado para quantificação de biomassa em pastagens, Gardner (1986) que consiste em atribuir notas visuais da quantidade de biomassa, com no mínimo dois indivíduos treinados, posteriormente o material é coletado e quantificado. Pode-se salientar que este método nunca foi aplicado em quantificações de necromassa em ambientes florestais.

Para tanto, o presente estudo teve como: aplicar a metodologia BOTANAL na quantificação de necromassa em Floresta Ombrófila Mista; validar a metodologia BOTANAL na quantificação de necromassa em Floresta Ombrófila Mista; e ajustar cálculos e estimativas de necromassa em Floresta Ombrófila Mista.

2 | NECROMASSA FLORESTAL

A biomassa morta ou necromassa pode ser definida como a massa morta presente em ecossistemas naturais ou antropizados (BROWN, 1997; FAO, 2006), podendo ser encontrada na forma de árvores mortas caídas, galhos mortos, fragmentos de madeira, tocos e árvores mortas em pé (POLO et al., 2013; WOLDENDORP et al., 2004; WOLDENDORP et al., 2002)

Para Harmon e Sexton (1996), os resíduos lenhosos, incluem uma ampla variedade de tipos e tamanhos, dentre os tipos pode ser considerada conforme sua posição: árvores mortas em pé e material vegetal morto sobre o solo, estão inclusos os troncos caídos, partes de madeira, grandes galhos caídos e raízes grossas.

Na categoria tamanho dos resíduos lenhosos, há uma grande dificuldade em definir tamanhos padrões e comparar estudos realizados na área, devido a ampla variedade de limites de tamanhos escolhidos pelos autores. Geralmente a necromassa tem sido definida como resíduos finos ($\geq 2 \text{ cm} \leq 9,9 \text{ cm}$ de diâmetro) e resíduos grossos ($\geq 10 \text{ cm}$ de diâmetro) (HARMON et al., 1986). O *Intergovernmental Panel on Climate Change* IPCC (2006) sugere o uso de um diâmetro igual ou superior a 10 cm para considerar o material como madeira morta, sendo todo o material inferior a isso, considerado como serapilheira.

A madeira morta, ou necromassa, tem muitas funcionalidades, serve como habitat para muitos organismos invertebrados (especialmente os insetos), répteis e pequenos mamíferos; pode ser considerada como substrato importante para germinação e crescimento de espécies vegetais (HARMON et al., 1986); contribui com a estruturação do solo, aumentando a capacidade de retenção de água, com isso, a necromassa ajuda

a prevenir a erosão do solo, já que colabora com o desenvolvimento da cobertura vegetal superficial. Quando avaliada de forma qualitativa e quantitativamente, pode ser considerada um índice que reflete o histórico sucessional da comunidade (ENRONG et al., 2006), bem como também pode ser considerada fonte de energia e nutrientes a longo prazo, pois ela mobiliza esses nutrientes à decomposição (HARMON et al., 1986).

3 | MÉTODO BOTANAL

Desenvolvido na Austrália, como um programa computacional, o método Botanal teve como objetivo combinar visualmente as estimativas da produtividade de massa seca e da composição botânica em pastagens, onde se considera as espécies por sua frequência e pela porcentagem da cobertura do solo (HARGREAVES e KERR, 1978).

As espécies de plantas em pastagens heterogêneas como a contribuição de cada componente na biomassa total são avaliadas por pesquisadores por meio desse método (TOTHILL et al., 1978). Segundo o autor, De Vries (1933) desenvolveu inicialmente para o estudo botânico de pastagens e peso seco um método de classificação ou ranking das porcentagens relativas de importância em relação à quantidade de biomassa.

Meyer (2014), por meio de uma comunidade herbácea em um sistema silvipastoril natural, utilizou o método botanal, para inventariar a composição botânica e a análise da interferência de variáveis ambientais. Na sequência dos estudos, Corrales (2016), utilizou o método botanal para alcançar a avaliação produtiva, espacial, descritiva e sazonal da vegetação herbácea em Floresta Ombrófila Mista em um Sistema Faxinal.

Em Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Watzlawick (2019) utilizou o método botanal para determinar a quantidade de biomassa em Floresta Ombrófila Mista Aluvial e, por meio de seus resultados obtidos os coeficientes de correlação dos observadores para estimar a biomassa por notas e o coeficiente de determinação, são considerados muitos bons segundo o pesquisador.

4 | METODOLOGIA

A área do estudo está localizada no município de Guarapuava, Paraná, na Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) *Campus* Cedeteg. O estudo está inserido em um fragmento da Floresta Ombrófila Mista Aluvial (IBGE, 2012). O fragmento florestal do estudo é margeado, na porção oeste pelo Rio Cascavelzinho e ao norte pelo Arroio Carro Quebrado, entre as coordenadas geográficas 25° 23' 00" S e - 51° 30' 00" W e 25° 22' 47" S - 51° 29' 43" W.

O clima é do tipo Cfb com chuvas bem distribuídas ao longo dos anos sendo a precipitação pluvial anual média entre 1.600 e 2.000 mm com temperatura média dos três meses mais frios entre - 3 °C e 18 °C, caracterizado por verões amenos, com altitude

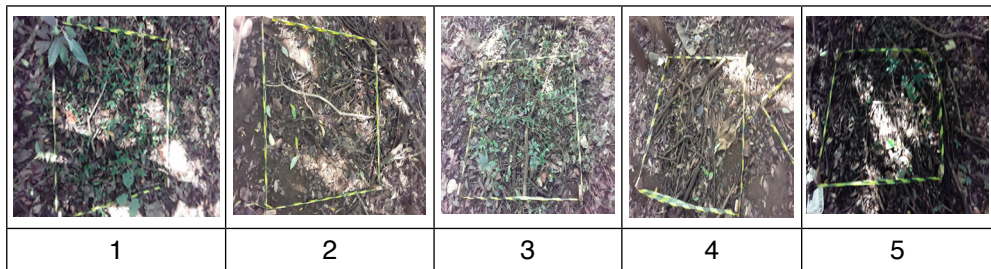


Figura 2: Unidades amostrais padrão para a realização das estimativas de necromassa em Floresta Ombrófila Mista Aluvial.

Com a finalidade de tirar a subjetividade das avaliações, foi necessário a utilização de três observadores, os quais tiveram um treinamento de calibração visual dos padrões para realizar a avaliação, atribuindo numa escala de um (1) a cinco (5) valores da necromassa em cada unidade avaliada, podendo dar notas em decimais entre 1 até 5 (1; 1,1; 1,2 ... 4,8; 4,9; 5) nesta escala de notas, tendo como referência os padrões escolhidos na fase anterior.

Foram escolhidas aleatoriamente unidades amostrais diferentes dos padrões com a finalidade do treinamento, sendo que nesta fase de treinamento os observadores comparavam os seus valores atribuídos até ter um mínimo de divergência aceitável não superior a 0,2 na escala de um a cinco, seguindo a sugestão de Gardner (1986). Quando a divergência fosse superior ao aceitável, procedeu-se a estudar as unidades padrões novamente fazer estimativas em outras unidades, repetindo-se o processo até que fosse aceitável.

Após os observadores terem fixado os valores representados pelos padrões de 1 a 5, foi realizada a amostragem na área, sendo que cada observador trabalhava isoladamente, inferindo uma nota (1 a 5) para cada unidade amostral em função da quantidade de necromassa.

Para tanto, 42 unidades amostrais foram amostradas, ou seja, cada um dos observadores individualmente estimou a produção de necromassa conforme o padrão previamente estabelecido. O material da necromassa foi coletado a campo e levados para laboratório para determinação do peso seco, as quais foram secas em estufa de circulação e renovação do ar a 65°C até apresentarem peso constante, sendo pesadas em balança analítica (0,01 g). Com os valores obtidos foram calculados a massa seca das amostras em kg/m².

Para determinar a quantidade de necromassa das unidades amostrais padrão (1 – 5) e realizar a análise de regressão foi necessário aumentar o número de unidades padrão, sendo desejável no mínimo 15, ou seja, três unidades para cada um dos padrões, em função de poder se obter uma boa correlação entre o parâmetro e a estimativa visual da disponibilidade de necromassa. Tendo os valores estimados de necromassa nas

15 unidades foi calculada a equação de regressão, tendo como variável dependente a quantidade de necromassa e variável independente o valor da estimativa visual (nota) da disponibilidade de necromassa por cada dos três observadores.

Seguindo a metodologia Botanal, adaptado por Gardner (1986) e utilizando a planilha eletrônica de Excel para o processamento dos dados, foi obtida a equação de regressão necessária para as estimativas da produção de necromassa. Foram estimados o coeficiente de determinação (R^2) e as correlações de Pearson (R) para cada um dos observadores. Com a equação de regressão foram estimadas a necromassa das 42 unidades em que foram somente realizadas as estimativas visuais, nas quais foram atribuídas as notas, obtendo-se assim a quantidade de necromassa por unidade amostral.

Para verificar se a quantidade de necromassa do parâmetro era diferente da necromassa estimada pelo método Botanal, utilizou-se o teste de comparação de médias o teste-T para amostras independentes a 95% de probabilidade de confiança, visando verificar se existe diferença entre os valores estimados utilizando o método BOTANAL e os valores utilizando parâmetro, tendo-se como hipóteses:

Hipótese de nulidade H_0 : não há diferenças entre as médias da biomassa da necromassa com o parâmetro e a biomassa utilizando o método Botanal.

Hipótese alternativa H_1 : existem diferenças entre as médias da biomassa da necromassa com o parâmetro e a biomassa utilizando o método Botanal.

Ao final, utilizou-se da teoria de amostragem, aplicando-se o processo de amostragem aleatório simples com uma probabilidade de 95% e um erro de amostragem máximo de 20%, obtendo-se assim uma estimativa para a quantidade de necromassa para a floresta.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguindo a metodologia Botanal, adaptado por Gardner (1986) e utilizando a planilha eletrônica de Excel confeccionada para o processamento dos dados do Botanal, obteve-se a equação de regressão necessária para as estimativas da quantidade necromassa na Floresta Ombrófila Mista Aluvial, bem como foram estimadas as correlações de Pearson (R) que obtiveram cada um dos observadores e o coeficientes de determinação (R^2) conforme pode-se visualizar na tabela 1.

Equação de regressão	R^2	R Obs. 1	R Obs. 2	R Obs. 3
Necro = - 0,1435461+0,23531766 x	0,51	0,71	0,73	0,72

Legenda: Necro = necromassa (Kg/m²); x = Nota visual (1 a 5); R^2 = coeficiente de determinação; R = coeficiente de correlação.

Tabela 1. Equação de regressão para estimativas da quantidade necromassa (Necro) utilizando o método Botanal na Floresta Ombrófila Mista Aluvial.

Conforme podemos observar na Tabela 1, o coeficiente de determinação, bem como os coeficientes de correlação dos observadores em relação a nota emitida e a quantidade de biomassa podem ser considerados bons, principalmente por tratar-se de um ambiente de floresta natural, a qual apresenta uma grande heterogeneidade em termos composição de espécies, idades, competição, taxas de crescimento, fatores estes que acarretam grande variação na quantidade de necromassa no ambiente, bem como por tratar-se de ambiente aluvial.

Torna-se difícil realizar a comparação destas estatísticas apresentadas na tabela 1, devido a não existência de trabalhos utilizando o método Botanal para a quantificação da necromassa, porém em estudos com vegetação herbácea os quais serão apresentados com finalidade de comparação. Corrales (2016) trabalhando com vegetação herbácea sob Floresta Ombrófila Mista em Sistema Faxinal, obteve um coeficiente de determinação de 0,80, com correlação que variaram de 0,68 a 0,96. Watzlawick (2019), ao quantificar a biomassa arbórea em Floresta Ombrófila Mista Aluvial encontrou um coeficiente de determinação de 0,88.

Na tabela 2 encontram-se a necromassa (parâmetro) do inventário realizado em campo, e a necromassa estimada pelo método Botanal (estimativa). Quando se compara a biomassa estimada pelo método Botanal com o parâmetro, verifica-se que ocorre uma superestimativa de 0,025 (kg/m²), ou seja 8,53% de diferença está que pode ser considerada pequena.

	Parâmetro	Estimativa
Média (Kg/m ²)	0,268	0,293*
Desvio Padrão (Kg/m ²)	0,275	0,291
Variância (Kg/m ²) ²	0,076	0,084
Coefficiente de Variação (%)	102,42	99,19

*O valor tabelado de "t" que corresponde à $(n_1 - 1) + (n_2 - 1) = 110$ graus de liberdade é $t_{0,5} = 3,3875$.

Tabela 2. Resultados das Estatísticas descritivas da necromassa (parâmetro) e a estimada pelo método Botanal na Floresta Ombrófila Mista Aluvial.

Para verificar se existe diferença estatística entre as quantidades de necromassa entre o parâmetro e o estimado pelo método Botanal, utilizou-se o teste T, no qual o valor do $t_{\text{calculado}} = 0,012 < t_{0,5} = 3,3875$, a hipótese da nulidade é aceita, podendo-se concluir que as médias da necromassa determinada no campo (parâmetro) e a necromassa estimada pelo método Botanal não diferem significativamente.

Quando da aplicação dos cálculos relativos a amostragem aleatória simples, o erro absoluto encontrado no levantamento foi de $\pm 0,047$ (Kg/m²), tendo um erro de amostragem

relativo foi de $\pm 16,31\%$, podendo afirmar o levantamento foi eficiente, visto que a proposta era um erro máximo de 20% em uma probabilidade de confiança de 95%.

6 | CONCLUSÃO

Pode-se concluir de uma maneira geral a proposta de utilizar o método Botanal para estimativas de necromassa em Floresta Ombrófila Mista é viável, devido ser possível a realização de ajuste na equação de regressão, possibilitando a estimativa da necromassa apenas utilizando as notas de cada um dos avaliadores, fato este que é comprovado quando da aplicação dos teste T. Porém deve ressaltar que novas investigações deverão ser realizadas, buscando um aprimoramento do método a diferentes ambientes florestais.

REFERÊNCIAS

BROWN, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer. Roma: FAO Forestry Paper, 134. 55p. 1997.

CORRALES, L. G. G. **Avaliação descritiva, produtiva, espacial e sazonal da vegetação herbácea sob floresta ombrófila mista em sistema faxinal.** 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava-PR.

DANNER, M. A.; ZANETTE, F.; RIBEIRO, J. Z. O cultivo da araucária para produção de pinhões como ferramenta para a conservação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 441, 2012.

DEUS, K.H.P. **Estoque de necromassa em floresta Ombrófila Mista usando diferentes métodos de amostragens.** 2015. dissertação (mestrado)- Universidade Estadual de Centro-Oeste, Iriti.

DE VRIES, D.M. **The Rank Method.** An estimation method for botanical grassland research using rank orders (in Dutch). Verslagen Landbouwkundige Onderzoekingen No. 39A: 1–24. The Hague, The Netherlands. 1933.

ENRONG, Y.; XIHUA, W.; JIANJUN, H. **Concept and Classification of Coarse Wood Debris in Forest Ecosystems.** Front. Biol. China 1:76–84. 2006.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Global forest resources assessment 2005. Roma: FAO, 2006. (FAO Forestry Paper, 147).

GARDNER, A. L. **Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção.** Brasília, IICA/EMBRAPA-CNPGL, 197 p. 1986.

HARGREAVES, J. N. G.; KERR, J. D. **Botanal:** A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. II. Computational package. CSIRO. Division of tropical crops and pastures, 1978.

HARMON, M. E.; SEXTON, J. **Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems.** Seattle, Abril, 1996.

HARMON, M. E.; FRANKLIN, J.F.; SWANSON, F.J.; SOLLINS, P.; GREGORY, S.V.; LATTIN, J.D.; ANDERSON, N.H.; CLINE, S.P.; AUMEN, N.G.; SEDELL, J.R.; LIENKAEMPER, G.W.; CROMACK, K.; CUMMINS, K.W. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. **Advances in Ecological Research**, v.15 p.133–302. 1986.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. rev. ampl. Rio de Janeiro - RJ: 2012. 217 p.

MARTINS, P. J.; MAZON, J. A.; MARTINKOSKI, K.; BENIN, C. C.; WATZLAWICK, L. F. Dinâmica da vegetação arbórea em Floresta Ombrófila Mista Montana antropizada. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

MEYER, W.H. **Composição botânica e análise da interferência de variáveis ambientais de uma comunidade herbácea em sistema silvipastoril natural**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava-PR.

POLO, J. A.; HALLGREN, S. W.; LESLIE, D. M. Effect of long-term understory prescribed burning on standing and down dead woody material in dry upland oak forests. **Forest Ecology and Management**, v.291, p.128–135. Jan. 2013.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica e correlações ambientais em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial em Guarapuava, PR**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Centro Oeste. 2012.

TOTHILL, P.; MCLOUGHLIN, G. P.; HEADING, R. C. Técnicas e erros nas medidas cintilográficas do esvaziamento gástrico. **J Nucl Med** v. 19, n. 3, p. 256-261, 1978.

WATZLAWICK, L. F. **Método Botanal aplicado a quantificação de biomassa em Floresta Ombrófila Mista Aluvial**. 46 f. (Pós- Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

WOLDENDORP, G.; SPENCER, R. D.; KEENAN, R. J. **An Analysis of Sampling Methods for Coarse Woody Debris in Australian Forest Ecosystems**. v.6, 84 p.Nov. 2002.

WOLDENDORP, G.; KEENAN, R. J.; BARRY, S.; SPENCER, R. D. Analysis of sampling methods for coarse woody debris. **Forest Ecology and Management**, v.198, p.133–148. Mar. 2004.

O DESMATAMENTO DA FLORESTA AMAZÔNICA E A FRAGMENTAÇÃO DE HABITATS NATURAIS: COMO A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL IMPULSIONA O SURGIMENTO DE ZONOSSES

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 03/11/2020

Beatriz John Kettermann

Universidade Regional do Noroeste do Estado
do Rio Grande do Sul - Unijuí
Panambi – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/5414634613860566>

Karina Wegermann

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1987640881320698>

RESUMO: Este artigo aborda os impactos trazidos pelo desmatamento da floresta amazônica na fragmentação de habitats naturais, considerando que as mudanças ambientais induzidas pelo homem modificam a estrutura populacional da vida selvagem, afetando a biodiversidade e influenciando na dinâmica das espécies, resultando em condições ambientais que favorecem determinados hospedeiros, vetores e/ou patógenos. Analisa como a alteração nos ecossistemas naturais reduz a capacidade do ambiente de controlar infecções e desestabiliza a interação patógeno-hospedeiro, ocasionando falha no controle da dispersão de organismos patogênicos. Argumenta que as perdas florestais levam a vida selvagem a se aproximar dos assentamentos humanos, gerando o surgimento e proliferação de doenças infecciosas que, por fim, representam riscos consideráveis para a saúde pública. Especificamente trata acerca do impacto que a exploração na região amazônica

causa na perda de biodiversidade, apontando como principais causadores da destruição de áreas florestais as práticas de expansão agrícola e ocupação humana. Por fim, levanta a discussão sobre quais seriam as soluções cabíveis para uma mudança socioambiental adequada, para que não se culmine numa grande onda de zoonoses.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiversidade; ecossistemas; epidemia; meio ambiente; política florestal.

DEFORESTATION OF THE AMAZON FOREST AND THE FRAGMENTATION OF NATURAL HABITATS: HOW ENVIRONMENTAL DEGRADATION DRIVES THE SURGE OF ZONOSSES

ABSTRACT: This article addresses the impacts of deforestation of the Amazon forest in the fragmentation of natural habitats, whereas human-induced environmental changes modify the population structure of wildlife, affecting biodiversity and influencing the dynamics of species, resulting in environmental conditions that favor certain hosts, vectors and/or pathogens. Analyzes how the change in natural ecosystems reduces the environment's ability to control infections and destabilizes the pathogen-host interaction, causing failure in the control of pathogenic organisms dispersion. Argues that forest losses lead the wildlife to approach human settlements, generating the emergence and proliferation of infectious diseases that, in turn, represent considerable risks to public health. Specifically it deals with the impact that the exploration in the Amazon region causes in

the biodiversity loss, pointing out how the main causes of the destruction of forest areas the practices of agricultural expansion and human occupation. Finally, raises the discussion about what would be the appropriate solutions for an adequate socio-environmental change, so that it doesn't culminate in a big wave of zoonoses.

KEYWORDS: Biodiversity; ecosystems; epidemic; environment; forest policy.

1 | INTRODUÇÃO

Apesar do aumento considerável da riqueza produzida na região amazônica nas últimas décadas, os processos de desenvolvimento empreendidos nesta região geraram transformações ambientais que reduzem a biodiversidade.

Os principais processos responsáveis pela diminuição da biodiversidade são o desaparecimento e a fragmentação dos habitats, que, na Amazônia, são causados, entre outros, pelo desmatamento.

Através do desmatamento, há a degradação de habitats da vida selvagem, extinguindo-se ecossistemas e forçando o deslocamento de espécies, em cuja população os vírus circulam, não raro colocando-as em contato com outros hospedeiros, como o homem.

Essa fragmentação/perda de habitats pode favorecer o surgimento e a reativação de epidemias de zoonoses: doenças capazes de ser transmitidas entre animais e seres humanos que representam inúmeras enfermidades transmissíveis. Cientistas sugerem que habitats degradados podem incitar e diversificar doenças, já que os patógenos se espalham facilmente para rebanhos e seres humanos.

Desta forma, colocando humanos e animais domésticos em contato direto com ambientes potencialmente infectados, nos tornamos parte do ecossistema e do ciclo selvático - ciclo de transmissão viral - que ocorre entre os animais nas florestas.

Logo, a perda contínua dos espaços naturais nos aproxima de animais e plantas que abrigam doenças que podem ser transmitidas para os seres humanos. Assim, um dos efeitos do desmatamento sobre a biodiversidade para o qual se deve atentar é relativo aos impactos sobre a saúde humana.

Esta pesquisa objetiva, portanto, analisar os impactos trazidos pelo desmatamento da floresta amazônica na fragmentação de habitats naturais. Na qual aponta as causas da degradação ambiental, seus possíveis efeitos e quais as soluções crê serem cabíveis para uma mudança adequada, para que não se culmine numa nova grande onda de zoonoses.

2 | METODOLOGIA

Quanto aos objetivos gerais, a pesquisa é do tipo exploratória. Utiliza em seu delineamento a coleta de dados em fontes bibliográficas disponíveis em meios físicos e na rede de computadores. Na sua realização, utiliza-se o método de abordagem hipotético-

dedutivo, observando-se os procedimentos de seleção de bibliografias afins à temática em meios físicos e na internet; leitura e fichamento do material selecionado; reflexão crítica sobre o material selecionado; e exposição dos resultados obtidos através de um texto escrito na forma de resumo expandido.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo do desmatamento na floresta Amazônica vem se expandindo desde 1991. Fearnside (2020) aponta que a principal causa do aumento desses índices de desmatamento é a agropecuária, com a criação de gado e o avanço nas plantações de soja, de grandes e médios fazendeiros. Essas atividades levam ao desenvolvimento de infraestrutura de transporte, muitas vezes com investimento do governo, que da mesma forma, acabam suprimindo as florestas e acelerando a migração para áreas remotas.

Ainda, Margulis (2003) foca na pecuária como a principal causa do desmatamento:

“O final do processo de ocupação, não importa quais sejam os agentes originais, é quase inevitavelmente a pecuária. Caso ela não fosse financeiramente viável, os processos de extração de madeira e de abertura de estradas não resultariam em conversão de florestas ou desmatamentos na escala em que ocorrem, porque os agentes iniciais sequer cobririam seus custos de ocupação, desmatamentos e preparo do solo.”

O desmatamento, além de causar a fragmentação de habitats, tem impacto na perda de oportunidades para o uso sustentável das florestas e o fornecimento de serviços ambientais (FAHRIG, 2003; FEARNSIDE, 2020)

A fragmentação de habitats pode ser definida como uma descontinuidade na distribuição de condições e recursos de uma área. É um processo que ocasiona a divisão de uma área contínua e resulta em fragmentos remanescentes na paisagem, alterando a composição de espécies vegetais e animais. (FRANKLIN et al., 2002)

As mudanças no uso da terra que resultam em conversão e fragmentação de habitats naturais para introdução de novos ambientes (áreas agrícolas e urbanas, principalmente) estão entre os principais fatores/vetores de perda de biodiversidade e de degradação ambiental no Brasil (BUSTAMANTE et. al., 2019, p. 96).

Considerando-se que a biodiversidade não consiste apenas do conjunto de organismos vivos presentes em uma dada área, mas também do conjunto de relações que se estabelecem entre esses organismos e os efeitos resultantes da sua interação com o meio físico, a avaliação do impacto do desmatamento e queimadas sobre a biodiversidade não é uma questão trivial (VIVELA et. al., 2019, p. 45).

Com a expansão agrícola e a ocupação humana, o desmatamento de áreas florestais vem crescendo cada vez mais. Em 2019, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais divulgou a taxa de desmatamento da Amazônia Legal, em 9.762 km², um aumento de 29,54% em relação à taxa do ano anterior (INPE, 2019).

Apesar dos ecossistemas possuírem uma capacidade de resiliência natural, uma adaptação dos sistemas biológicos pode não ser possível devido ao ritmo atual das mudanças ambientais (JONES et al., 2013). A degradação desses ambientes naturais pode ocasionar diversos impactos na saúde humana, visto que a dinâmica de ocupação e a exploração da região promovem alterações nas dinâmicas dos ecossistemas naturais, antropização da paisagem e urbanização, possibilitando a invasão do habitat natural desses animais, além dos riscos maiores de emergência de processos infecciosos (VIANA et. al., 2015).

A fragmentação de habitats da floresta é considerada um efeito do desmatamento, desse modo, as mudanças ambientais induzidas pelo homem modificam a estrutura populacional da vida selvagem, afetando a biodiversidade e influenciando na distribuição e dinâmica das espécies, resultando em condições ambientais que favorecem determinados hospedeiros, vetores e/ou patógenos (FAHRIG, 2003). Um exemplo disso é o aumento da incidência de vetores causadores da malária na África, causado pelo desmatamento e pelas mudanças no uso e cobertura do solo. (YASUOKA; LEVINS, 2007).

A historicidade das doenças consideradas endêmicas mantém estreita relação com as alterações demográficas, ecológicas, socioeconômicas e culturais ocorridas na região, o que determina uma contínua reorganização de seu espaço geográfico e altera os processos de reprodução de endemias (VIANA et. al., 2015). De acordo com Patz (2000), em virtude de fenômenos naturais e intervenção humana as alterações ambientais e distúrbios ecológicos exerceram e continuaram a exercer uma influência notável no surgimento e proliferação de doenças infecciosas.

A maioria das doenças infecciosas são zoonóticas, isso significa que são transmitidas de animais para pessoas. Essas doenças podem ser causadas por bactérias, vírus, fungos e/ou parasitas. Para muitas zoonoses, os rebanhos servem de ponte epidemiológica entre a vida selvagem e as doenças humanas:

“Os animais que alojam esses patógenos são conhecidos como reservatórios naturais e exercem papel importante no ciclo da doença, pois algumas enfermidades que hoje são transmitidas diretamente de pessoa para pessoa, tiveram origem em animais”. (PAVANELLI et al., 2019)

Em vista disso, é necessário entender os fatores que contribuem para a dispersão das doenças transmitidas por vetores que afetam os seres humanos. As transformações do meio ambiente – geralmente resultado das atividades humanas - podem ser considerados fatores determinantes no surgimento de zoonoses, dado que reduzem a capacidade do ambiente de controlar infecções e desestabilizam a interação patógeno-hospedeiro em ambientes limpos, aumentando a oportunidade de disseminação zoonótica. Daszak (2001) reforça esse argumento, afirmando que a mudança ambiental por ações antrópicas pode ser a causa mais significativa de doenças infecciosas emergentes em humanos.

A tendência é que estas mudanças de uso e cobertura levem ao desaparecimento

de espécies endêmicas e à homogeneização biótica, com consequente perda de interações ecológicas e funções ecossistêmicas, reduzindo o potencial destas áreas em prover serviços ecossistêmicos e propiciando a expansão de espécies que podem ser consideradas pragas ou vetores de doenças, através da falha na regulação e controle da dispersão de organismos patogênicos (BUSTAMANTE et. al., 2019, p. 96).

Nesse contexto, segundo Vora (2008), as doenças transmitidas por vetores representam riscos consideráveis para a saúde pública, considerando a sua dependência do ambiente global. Myers (2013) ressalta a existência de amplas evidências de que a carga de doenças associadas às mudanças de ecossistemas continue crescendo e afetando a saúde humana.

A consequência final de todas essas perdas em biodiversidade será inadiavelmente a redução da qualidade de vida das populações humanas (VIVELA et. al., 2019, p. 45). Para Marcelo Firpo de Souza Porto (2019, p.33):

“Os riscos à saúde e ao meio ambiente decorrentes do desenvolvimento econômico e tecnológico, estejam eles presentes nos ambientes onde as pessoas trabalham, moram ou circulam, podem ser pouco ou muito graves. Mas o maior perigo reside justamente quando as pessoas (...), comunidades e a sociedade como um todo expostas a ele não são capazes de enfrentá-lo e analisá-lo adequadamente, intervindo em suas origens mais profundas.”

De forma geral, o padrão encontrado é claro: quanto mais conservadas estão as paisagens, e quanto menor for a intensidade de uso e perturbação dessas áreas nativas, maior a biodiversidade e, conseqüentemente, a provisão de diferentes serviços ecossistêmicos que reduzem a probabilidade do surgimento de doenças zoonóticas e beneficiam diretamente o ser humano (BUSTAMANTE et. al., 2019, p. 135; JONES et al., 2008).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Grandes transformações espaciais e crises globais nos convidam a abandonar a concepção da relação entre saúde e meio ambiente de forma localizada e abraçar o conceito de ambos no contexto global que se inserem e refletir sobre os aspectos com os quais se relacionam. Pois, afinal de contas, os seres humanos e a natureza fazem parte de um sistema interconectado. A humanidade depende de uma ação conjunta agora para um futuro resiliente e sustentável para as próximas gerações.

Assim, para impedir o surgimento de zoonoses, é fundamental endereçar as múltiplas ameaças aos ecossistemas e à vida selvagem, entre elas, a redução e fragmentação de habitats. Tendo em vista que as doenças associadas aos morcegos, por exemplo, surgiram devido à perda de habitat por conta do desmatamento e da expansão agrícola. Outro exemplo é o surto de ebola, que na África Ocidental, foi resultado de perdas florestais que levaram a vida selvagem a se aproximar dos assentamentos humanos.

Nesse sentido, um dos principais desafios do Brasil para os próximos anos é o alinhamento de políticas de desenvolvimento – principalmente a política agrícola – com o uso e a conservação da biodiversidade. A integração entre as políticas ambientais e agrícolas é fundamental para o cumprimento das metas e dos acordos de conservação firmados internacionalmente.

A preservação das florestas requer manejo sustentável que envolve a implementação de um sistema ecologicamente correto. A colaboração com os principais atores públicos e privados, e a legislação apropriada para oferecer segurança fundiária e condições que permitam o manejo sustentável da área no longo prazo, uso sustentável de recursos não madeireiros, turismo e pagamento por serviços ambientais poderiam ser uma das propostas mais fortes para conter o desmatamento na região amazônica.

Contudo, por mais que tenhamos obtido avanços regulatórios e ambiciosos objetivos de restauração, dentre os principais desafios ainda está a implementação de um sistema de monitoramento validado para acompanhar os progressos desse esforço no Brasil. A intensificação na utilização de tecnologia de informação, georreferenciamento e VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) no monitoramento e inventário das áreas de exploração florestal, seriam opções plausíveis para o caso. Pois, além das restaurações de ecossistemas e da biodiversidade, são necessários investimentos contínuos, da mesma ordem daqueles aplicados pelos Estados Unidos para colocar o homem em Marte.

As estimativas de restauração de ecossistemas têm mostrado resultados pouco promissores, dada à escassez de dados, diante da extensão territorial e a complexidade dos ambientes amazônicos. Assim, se torna necessário uma governança adequada com mapeamento, controle e fiscalização sobre as terras na Amazônia. Pois, se a extensão espacial da restauração não tiver sido monitorada adequadamente até agora, seus impactos reais sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos não podem ser avaliados de forma confiável.

REFERÊNCIAS

BUSTAMANTE, M.M.C. et al. Capítulo 3: Tendências e impactos dos vetores de degradação e restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. In: JOLY C.A. et al. (eds.) 1° **Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. São Carlos: Editora Cubo, 2019. p.351.

DASZAK, P.; CUNNINGHAM, A. A.; HYATT, A. D. **Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife**. *Acta tropica*, [S.l.] v. 78, n. 2, p. 103–116, 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001706X00001790?via%3Dihub>>. Acesso em: 28 out. 2020.

FAHRIG, Lenore. **Effects of habitat fragmentation on biodiversity**. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2003. Disponível em: <<https://cutt.ly/poYf80m>>. Acesso em: 31 maio 2020.

FEARNSIDE, P.M. 2020. **Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e**

consequências. p. 7-19. In: Fearnside, P.M. (ed.) *Destruição e Conservação da Floresta Amazônica*, Vol. 1. Editora do INPA, Manaus, Amazonas. 368 p. (no prelo). Disponível em: <http://inct-servamb.inpa.gov.br/publ_restritas/2019/Destruicao-v1/Cap-1-Desmatamento_historia-prova.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2020.

FRANKLIN, A. B.; NOON, B. R.; GEORGE, T. L. **What is habitat fragmentation?** *Studies in Avian Biology*, n. 25, p. 20–29, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/235737471_What_is_habitat_fragmentation>. Acesso em: 29 out. 2020.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Projeto PRODES – Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 2004-2019.** 2019. Disponível em: <<https://cutt.ly/AoYgg95>>. Acesso em: 31 maio 2020.

JONES B.A., et al. **Zoonosis emergence linked to agricultural intensification and environmental change.** *Proc Natl Acad Sci USA*. vol. 110, p. 8399–8404, 2013. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/pnas/110/21/8399.full.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2020.

JONES K.E. et al. **Global trends in emerging infectious diseases.** *Nature*, vol. 451, p.990-993. 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/5564292_Global_Trends_in_Emerging_Infectious_Diseases>. Acesso em: 28 out. 2020.

MARGULIS, Sergio. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira.** 1 ed. Brasília: Banco Mundial, 2003.

MYERS S.S., et al. **Human health impacts of ecosystem alteration.** *Proc Natl Acad Sci USA* vol.110, p. 18753–18760, 2013. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/pnas/110/47/18753.full.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2020

PATZ, J.A. et al. **Effects of environmental change on emerging parasitic diseases.** *International Journal for Parasitology*. v.30, p. 1395-1405, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(00\)00141-7](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(00)00141-7)>. Acesso em: 30 maio 2020.

PAVANELLI, G.C et al. **Análise integrativa das principais zoonoses de ocorrência no Brasil.** *Revista Valore*, v.4, 2019. Disponível em: <<https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/332>>. Acesso em: 30 maio 2020.

PORTO, Marcelo Firpo de Souza. **Uma ecologia política dos riscos: princípios para integrarmos o local e o global na promoção da saúde e de justiça ambiental.** Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2012.

VIANA, R. L.; FREITAS, C. M.; GIATTI, L. L. **Saúde ambiental e desenvolvimento na Amazônia Legal: indicadores socioeconômicos, ambientais e sanitários, desafios e perspectivas.** *Saúde Soc.*[online]. São Paulo, v.25, n.1, p.233-246, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-12902016140843>>. Acesso em: 28 maio 2020.

VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.; FERNANDES, G. W. **Biomass e agricultura: oportunidades e desafios.** Rio de Janeiro: Vertente edições, 2019.

VORA, Neil. **Impact of Anthropogenic Environmental Alterations on Vector-Borne Diseases.** *Medscape J Med*. v.10. 2008; Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2605134/>>. Acesso em: 01 jun. 2020.

YASUOKA J., LEVINS R. **Impact of deforestation and agricultural development on anopheline ecology and malária epidemiology.** *Am J Trop Med Hyg*, vol. 76(3), p.450–460, 2007. Disponível em: http://www.ajtmh.org/content/journals/10.4269/ajtmh.2007.76.450/html_fulltext. Acesso em: 28 out. 2020.

CAPÍTULO 14

PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE ESPÉCIES COMERCIALIZADAS NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS – PA

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 25/11/2020

Anne Caroline Malta da Costa

Universidade do Estado do Pará
Paragominas – PA

<http://lattes.cnpq.br/8038023296473463>

Mateus Souza da Silva

Universidade do Estado do Pará
Paragominas – PA

<http://lattes.cnpq.br/0355360507141581>

Gesivaldo Ribeiro Silva

Universidade do Estado do Pará
Paragominas – PA

<http://lattes.cnpq.br/0867377824342539>

Genilson Maia Corrêa

Universidade do Estado do Pará
Paragominas – PA

<http://lattes.cnpq.br/4514247576234040>

João Rodrigo Coimbra Nobre

Universidade do Estado do Pará
Paragominas – PA

<http://lattes.cnpq.br/5919580023061751>

Julita Maria Heinen do Nascimento

Universidade do Estado do Pará
Paragominas – Pará

<http://lattes.cnpq.br/493049732007240>

Jones de Castro Soares

Universidade do Estado do Pará,
Paragominas – PA

<http://lattes.cnpq.br/4028339630220958>

Maria Eloisa da Silva Miranda

Universidade do Estado do Pará
Paragominas – Pará

<http://lattes.cnpq.br/7861462719513288>

Layane Jesus dos Santos

Universidade do Estado do Pará
Paragominas – Pará

<http://lattes.cnpq.br/5804529292056678>

Rick Vasconcelos Gama

Universidade do Estado do Pará
Paragominas – Pará

<http://lattes.cnpq.br/1504230727747225>

RESUMO: O objetivo com este estudo foi determinar propriedades físicas de *Anacardium* sp., *Parkia* sp. e *Pouteria* sp. Os discos de madeira das espécies foram retirados de toras comerciais em uma serraria do município de Paragominas. Para determinação da umidade, densidade básica e retratibilidade foram produzidos 69 corpos-de-prova com dimensões, cálculos e procedimentos acordados com a NBR 7190. Na análise dos resultados de umidade, *Parkia* sp. apresentou maior média, acima de 50 %. Quanto à densidade, a espécie com maior valor foi *Pouteria* sp. (0,75 g/cm³), tendo também maior variação dimensional (17,06 %). O coeficiente de anisotropia de *Parkia* sp. foi excelente (1,53) enquanto *Pouteria* sp. classificou-se como ruim (2,7) e *Anacardium* sp teve classificação normal (1,9). Portanto, as madeiras apresentam umidade acima da umidade de equilíbrio da região, sugerindo possíveis danos no produto final se secadas de forma inadequada. Já o coeficiente

anisotrópico e a densidade encaixam-se nos padrões das madeiras amazônicas comerciais.

PALAVRAS-CHAVE: Densidade, qualidade da madeira, espécies amazônicas.

WOOD PHYSICAL PROPERTIES OF SPECIES COMMERCIALIZED ON MUNICIPALITY OF PARAGOMINAS - PA

ABSTRACT: the aim of this study was determine the physical properties of *Anacardium* spp., *Parkia* spp. e *Pouteria* spp.. The wooden discs of species were removed from commercial parts in a municipality sawmill. To determinate of humidity, density and retractability, have been produced 69 proof bodies with dimensions according to NBR 7190. On analysis of results of humidity, the *Parkia* spp. showed highest average, above 50%. As for density, the specie with higher value was the *Pouteria* spp. ($0,75\text{g/cm}^3$), taking also greater dimensional variation (17,06%). The anisotropy coefficient of *Parkia* spp. was excellent (1,53), whereas for *Pouteria* spp. was classified as poor (2,7) and the *Anacardium* spp had a normal rating (1,9). Therefore, the woods show humidity above the equilibrium humidity of the region, suggesting possible damages on final products if inappropriately dried. The anisotropic coefficient and density fit the standards of commercial amazonic woods.

KEYWORDS: Density, Wood Quality, Amazonian species.

1 | INTRODUÇÃO

A madeira é um produto direto do lenho das árvores e arbustos lenhosos, considerada um material excepcional que acompanha e sustenta as civilizações desde os seus primórdios. (ROCHA et al., 2015). As suas intrínsecas propriedades a tornam versátil e em relação a outros materiais e apresenta uma série de vantagens, como beleza, alta resistência, baixo consumo energético e, dependendo da espécie, fácil trabalhabilidade (VIDAL et al., 2015).

No Brasil, a região amazônica é considerada uma área potencial de investimentos do setor florestal, pois apresenta boa demanda de espécies com grande variabilidade de propriedades e possibilidades para diversos usos. Contudo, segundo Macedo et al. (2012), mesmo considerando este aspecto favorável da região, a falta de conhecimento sobre as propriedades da maioria das espécies e seu desempenho perante algumas condições de uso é ainda um entrave para o mercado. Esta dificuldade, como afirma Lahr, (2010) também surge em decorrência da escassez de espécies tradicionais mediante a sua utilização em massa, evidenciando cada vez mais a necessidade de informações sobre novas madeiras com características industriais semelhantes à estas que sofrem pressão ambiental.

Dentre as espécies amazônicas, destacam-se, como via de substituição, a Faveira (*Parkia* sp.), espécie da família Fabaceae que possui em média 40m de altura e 100 cm de DAP, com troco reto e pouco inclinado, com fuste comercial com até 15m de comprimento (CARVALHO, 2008). Já a espécie popularmente conhecida como Abiu (*Pouteria* sp.) pertence à família sapotaceae e encontra-se como clímax no agrupamento ecológico e

pode atingir 35 m de altura e 90 cm de diâmetro, com ocorrência mais comum em toda a região norte (CRUZ, 2018). Por fim, o Cajuaçu (*Anacardium* sp.) que é uma árvore dominante em porte e possui frequência em toda a Amazônia, podendo chegar até 40 m e 100 cm de altura e DAP respectivamente (EMBRAPA, 2020). Portanto, infere-se que estas configurações exemplificadas devem ser comuns para que espécies novas sejam introduzidas no mercado.

Desta forma, o estudo em questão objetiva caracterizar as propriedades físicas da madeira destas três espécies comerciais no município de Paragominas – PA, tendo em vista que estas propriedades podem determinar melhores aplicações da madeira em seu uso como produto final.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Discos de madeira das espécies comercialmente conhecidas como Faveira (*Parkia* sp.), Abiu (*Pouteria* sp.) e Cajuaçu (*Anacardium* sp) com 7 cm de espessura foram retirados do terço inferior de toras no pátio de uma serraria do município de Paragominas – PA (2°59'51"S; 47°21'13"O), sendo um disco por tora. O posterior estudo foi realizado no Laboratório de Inovação, Ciência e Tecnologia da Madeira (LICTM) na Universidade do Estado do Pará (UEPA) campus IV.

Para determinação de umidade, densidade básica e retratibilidade, foram produzidos um total de 69 corpos de prova confeccionados em dimensões de 5x3x2 cm, conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997). Para determinação da umidade em base seca e retratibilidade, as amostras foram saturadas por tratamento em recipiente de vidro e bomba a vácuo por aproximadamente 72h. Após este período as amostras foram colocadas em estufa de circulação de ar a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24h.

Para a análise dos resultados foram calculados os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação utilizando o software Microsoft Excel® 2016.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na tabela 1 que as amostras de *Parkia* spp. apresentaram maior umidade média (>50%). Quanto à densidade, a espécie que obteve maior valor foi *Pouteria* sp. (0,75g/cm³), seguida por *Parkia* sp. (0,52g/cm³) e por *Anacardium* sp (0,43g/cm³).

Espécie		Umidade (%)	Densidade básica (g/cm ³)
<i>Anacardium</i> spp. (Cajuazeiro)	Média	43,0455	0,4330
	DP	3,8727	0,0361
	CV	0,0900	0,0833
<i>Parkia</i> spp. (Faveira)	Média	52,1695*	0,5185
	DP	4,7106	0,0196
	CV	0,0903	0,0378
<i>Pouteria</i> spp. (Abiu)	Média	41,2822	0,7449
	DP	2,0335	0,0235
	CV	0,0493	0,0316

DP: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação (%).

Tabela 1. Valores médios de umidade e densidade básica das espécies avaliadas

A umidade média das espécies difere da umidade de equilíbrio do local de estudo, que é cerca de 17% (Lopes et al., 2012). Como afirmam Galvão & Jankowski (1985), o teor de umidade da madeira interfere nos tratamentos, como curvamento, preservação, secagem, colagem, entre outros. Logo, para a plena utilização destas madeiras, indica-se a sua secagem até a umidade de equilíbrio da região, pois estas variações de umidade promovem defeitos na peça quando esta atinge um teor de umidade inferior ao ponto de saturação das fibras (28%).

Para densidade básica de *Parkia* sp., os resultados foram semelhantes aos observados por Miranda et al. (2012). Em ambos os estudos, a madeira classificou-se como leve. Porém, o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2019) apresenta densidade básica de 0,39 g/cm³. Para Panshin & Zeeuw (1980), esta propriedade é um reflexo das várias influências externas e internas que atuam na organização e dimensionamento das células do lenho. Portanto, esta divergência de valores de densidade, podem ser atribuídos aos diferentes ambientes de coleta das amostras. Os valores de densidade de *Pouteria* sp. e *Anacardium* sp condizem com o IPT, que listou 0,73 (classificada como madeira média) e 0,43 g/cm³ (classificada como madeira leve) para as respectivas espécies. Já Araújo (2007) observou densidades de 0,88g/cm³ para a espécie *Pouteria caimito* e 0,42g/cm³ para *Anacardium spruceanum*. Aqui, esta diferença de densidade atribui-se estritamente à diferença espécie, tendo em vista que além de anatomias diferentes, as condições edafoclimáticas, a intervenções silviculturais e de manejo contribuem para desigualdades tecnológicas.

Os dados dispostos na tabela 2 mostram que as maiores variações dimensionais ocorreram no plano tangencial. A espécie que mais sofreu retratibilidade volumétrica foi *Pouteria* spp. (21,96%), seguido por *Anacardium* spp. (10,4%) e *Parkia* spp (8,9%). O fator anisotrópico mais relevante foi o da *Parkia* spp. (1,53), sendo classificada como excelente.

A *Pouteria* spp. obteve fator anisotrópico de 2,7, classificada como ruim. Já a espécie *Anacardium* spp. teve fator anisotrópico de 1,9, classificando-se como normal.

Espécies		Retratibilidade (%)				
		Radial	Tangencial	Longitudinal	Volumétrica	Anisotropia
<i>Anacardium</i> spp. (Cajuaçu)	Média	3,7061	6,8107	0,2256	10,4598	1,9106
	DP	0,9757	1,048	0,3754	1,81271	0,4015
	CV	0,2633	0,1539	1,6638	0,1733	0,2101
<i>Parkia</i> spp. (Faveira)	Média	3,6468	5,2697	0,1613	8,86936	1,533
	DP	0,97	1,0729	0,5847	1,62024	0,4999
	CV	0,266	0,2036	3,6260	0,18268	0,3261
<i>Pouteria</i> spp. (Abiu)	Média	5,8937	17,063	0,1392	21,9659	2,7566
	DP	0,9381	2,592	0,2716	24,4093	3,6879
	CV	0,1592	1,591	1,9517	1,11124	1,3378

DP: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação (%).

Tabela 2. Retratibilidade e coeficiente de anisotropia das espécies avaliadas

Quanto à retratibilidade, Miranda et al (2012) listou valores de contração radial, tangencial e volumétrica para a espécie *Parkia gigantocarpa* de 3,6%, 7,6% e 11,2%, convergindo com os valores encontrados pelo IPT, de 3,2%, 7,7% e 11,6%, respectivamente. Ambos os estudos divergem cerca de 3% do estudo atual, atribuindo tal diferença aos componentes anatômicos intrínsecos a cada espécie. Para *Pouteria* sp., os valores de contrações radial, tangencial e volumétrica listados pelo IPT foram de 3,4%, 6,3% e 10,3% e 6,2%, 11,2% e 16,5% para *Anacardium* sp.

O fator anisotrópico mais alto foi atribuído à espécie *Pouteria* sp., sendo assim, classificada como ruim segundo o índice de qualidade exposto por Moreschi (2012), demonstrando ser inapropriada para usos que necessitem de menor taxa de contração.

A espécie *Parkia* spp. possuiu melhor desempenho em função do menor coeficiente de anisotropia, sobretudo para usos específicos, principalmente os usos que não permitem empenamentos, como móveis ou portas. Porém, esta variável pode sofrer alterações de acordo com a espécie ou sítio, como o exemplo citado por Miranda et al., (2012), em que ao estudar as propriedades físicas da espécie *Parkia gigantocarpa*, observou coeficiente de anisotropia de 2,1, o que não inviabilizou por completo o uso da espécie, mas torna a sua utilização amplamente dependente do processo de secagem, que quando conduzido de forma inadequada, faz com que a madeira sofra empenamentos durante o uso final. Já a espécie *Anacardium* spp. apresenta-se uma madeira de uso mais diversificado, que abrange desde a construção civil a instrumentos musicais.

4 | CONCLUSÃO

As madeiras apresentam umidades altas, acima da umidade de equilíbrio da região, sugerindo possíveis danos futuros na destinação final em casos de secagem inadequada. Quanto às densidades e contração volumétrica, as espécies *Parkia* sp. e *Anacardium* sp. classificaram-se como madeiras leves e com baixas contrações volumétricas e baixo coeficiente anisotrópico enquanto que a espécie *Pouteria* sp. apresentou média densidade com contração volumétrica mais elevada e conseqüentemente coeficiente anisotrópico mais desfavorável. De modo geral, as madeiras apresentam características favoráveis para a fabricação de produtos que necessitem maior estabilidade dimensional, como portas, janelas ou instrumentos musicais, com exceção da *Pouteria* sp., que é indicada para usos mais gerais como cercados, mourões e afins pela sua média densidade e baixa estabilidade dimensional.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - **ABNT. NBR-7190: Projeto de estruturas de madeira** – referências – elaboração. Rio de Janeiro; 1997.

BELTRAME R.; SOUZA, J. T.; MACHADO, W.G.; VIVIAN, M.A.; BULIGON, E.A.; PAULESKI, D.T.; **Propriedades físico-mecânicas da madeira de Araucaria angustifolia (bertol.) em três estratos fitossociológicos**. Ciência da Madeira, v. 1, n. 2, p. 54-69, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 3, 2008.

CRUZ, E. D. **Germinação de sementes de espécies amazônicas: abiu-rosadinho [*Pouteria anomala* (Pires) T.D. Penn]** Belém, PA, EMBRAPA Amazônia Oriental, Comunicado técnico. Dez. 2018

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKI, I. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985.

EMBRAPA. **Cajuazeiro – Características Gerais da espécie *Anacardium giganteum***. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Espécies arbóreas da Amazônia. Disponível em: < https://dendro.cnptia.embrapa.br/Agencia1/AG01/arvore/AG01_17_309200411811.html >. Acesso em: 10/11/2010.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Catálogo de Madeiras Brasileiras para a Construção Civil**. São Paulo: Publicação IPT 2019.

JOSINO, M. N. **Relação da resistência com a umidade e com a densidade da madeira de um clone de *Eucalyptus urophylla***. Brasília: Departamento de Engenharia Florestal e Tecnologia Florestal, Universidade de Brasília; 2014.

LAHR, F. A. R.; CRISTOFORO, A. L.; SILVA, C. E. G.; JUNIOR, J. R. A.; PINHEIRO, R. V. **Avaliação de propriedades físicas e mecânicas de madeiras de jatobá (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne) com diferentes teores de umidade e extraídas de regiões distintas**. Revista Árvore, v. 40, num.1, pag.147-154, 2016.

LOPES, F. G.; CASTRO, E.L.; SANTOS, S. I. **Estimates of equilibrium moisture of wood to the city of Pargominas (PA)**. Belém: IUFRO Wood Drying Conference 2012.

MACEDO, L.B.; ALMEIDA, D.H.; SCALIANTE, R. M.; VARANDA, L. D.; JUNIOR, C.C. **Caracterização de algumas propriedades físicas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb)**. 2º COEN – UFSI. 2012.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. 4ª ed. Brasília: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal; 2012.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4.ed. New York: Mc-Graw-Hill, 722 p., 1980.

ROCHA, H. L. S.; PAES, J. B.; MINÁ, J. S.; OLIVEIRA, E. **Caracterização físico mecânica da madeira de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) visando o seu emprego na indústria moveleira**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, num. 10, vol. 2, pag.1981-0997, 2015.

VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; JANKOWSKY, I.P. **Preservação de madeiras no Brasil: Histórico, cenário atual e tendências**. Ciência Florestal, num. 25, vol. 1, pag. 257-271, 2015.

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 04/12/2020

Zaira Morais dos Santos Hurtado de Mendoza

Universidade Federal de Mato Grosso
Cuiabá – MT

<http://lattes.cnpq.br/7829408545924908>
<http://orcid.org/0000-0002-0930-7928>

Pedro Hurtado de Mendoza Borges

Universidade Federal de Mato Grosso
Cuiabá- MT

<http://lattes.cnpq.br/0310556104378957>
<http://orcid.org/0000-0001-7603-8775>

Pedro Hurtado de Mendoza Morais

Universidade Federal de Mato Grosso
Cuiabá - MT

<http://lattes.cnpq.br/9517941254638374>
<http://orcid.org/0000-0003-2431-9262>

RESUMO: A teca (*Tectona grandis*) é uma espécie exótica, com aptidão de reflorestamento em grande parte do Brasil. Nacionalmente, Mato Grosso é o estado pioneiro na sua implantação, possuindo também os maiores maciços florestais, sendo a madeira utilizada prioritariamente para serraria. Contudo, na sua região de origem ela tem múltiplos usos, inclusive farmacológicos e medicinais, devido à presença de fitoquímicos importantes. Os extrativos são agrupamentos fitoquímicos que tem a função de proteção dentro das árvores, mas também são reconhecidos por propiciar cor, sabor e cheiro aos vegetais.

Dentre os múltiplos usos industriais desses compostos, os maiores destaques são para a área de farmacologia, alimentos, perfumaria e cosmetologia. Nesse contexto, o objetivo da pesquisa foi quantificar os teores de extrativos solúveis em água, no sentido axial do tronco de *Tectona grandis*, visando ampliar as indicações de uso da espécie. O material foi coletado na forma de discos estratificados no sentido base-topo, retirados de cinco árvores de plantios clonais. No total foram estudados vinte e cinco discos (cinco de cada árvore) e as análises laboratoriais foram efetuadas tendo como referência a norma ABTCP M4/68 (extrativos solúveis em água fria e quente), adotando-se para os ensaios cinco repetições. Após os resultados, concluiu-se que a posição em que o disco de madeira foi retirado ao longo do tronco, não influenciou na quantidade dos extrativos solubilizados, independentemente da temperatura da água. Sendo assim, a retirada dos compostos químicos poderá ser em qualquer local no eixo axial da árvore. Além disso, a água mostrou-se um solvente eficiente para as análises químicas efetuadas, visto que os resultados encontrados foram compatíveis com a literatura sobre o assunto.

PALAVRAS-CHAVE: Composição química; qualidade de madeira; uso.

SOLUBILITY OF TEAK WOOD IN WATER

ABSTRACT: The teak (*Tectona grandis*) is an exotic species, capable of reforestation in much of Brazil. Nationally, Mato Grosso is the pioneer state in its implementation, also having the largest forest massifs, with wood being used primarily for

sawmills. However, in its region of origin it has multiple uses, including pharmacological and medicinal, due to the presence of important phytochemicals. Extractives are phytochemical groupings that have the function of protecting inside trees, but are also recognized for providing color, flavor and smell to vegetables. Among the multiple industrial uses of these compounds, the biggest highlights are in the area of pharmacology, food, perfumery and cosmetology. In this context, the objective of the research was to quantify the levels of water-soluble extracts, in the axial direction of the trunk of *Tectona grandis*, aiming to expand the indications for the use of the species. The material was collected in the form of stratified discs in the base-top direction, taken from five trees of clonal plantations. In total, twenty-five discs (five from each tree) were studied and laboratory analyzes were carried out with reference to the ABTCP M4/68 standard (extracts soluble in cold and hot water), adopting five repetitions for the tests. After the results, it was concluded that the position in which the wooden disk was removed along the trunk, did not influence the amount of the solubilized extracts, regardless of the water temperature. Therefore, the removal of chemical compounds can be anywhere on the axial axis of the tree. In addition, water proved an efficient solvent for the chemical analyzes carried out, since the results found were compatible with the literature on the subject.

KEYWORDS: Chemical composition; wood quality; use.

1 | INTRODUÇÃO

A teca (*Tectona grandis* L.f) é uma espécie natural do continente asiático, implantada e cultivada com sucesso no estado de Mato Grosso, que nacionalmente responde pela maior produção. Essa madeira possui massa específica média de $0,65 \text{ g cm}^{-3}$ e tem grande aceitação no mercado de produtos madeireiros, principalmente, devido às suas características de trabalhabilidade e durabilidade (PELLISSARI et al, 2014). Entretanto, em sua região de origem além do uso da madeira, essa espécie é reconhecidamente uma árvore fornecedora de fitoquímicos diversos (LEONARDO et al. 2015).

Para atender ao mercado consumidor, a aptidão tecnológica das espécies geralmente é verificada através das suas características de qualidade, que são determinadas pela avaliação concomitante de suas propriedades químicas, físicas, mecânicas, anatômicas e energéticas.

A composição química da madeira se caracteriza pela presença de componentes primários e secundários. Os primários pertencem à parede celular dos vegetais, majoritariamente fazem parte desse grupo a celulose, polioses e lignina. Os secundários são os compostos que estão fora da parede celular, cujos grupos químicos mais representativos são os extrativos (compostos orgânicos) e minerais (compostos inorgânicos). A quantidade desses compostos varia entre e dentro das espécies, com o local onde a planta se desenvolveu e também com o método de extração química utilizada

Os extrativos tem função de proteção dentro das árvores, mas também conferem cor, sabor e cheiro aos vegetais. Estes compostos tem baixo peso molecular e podem ser retirados da madeira com solventes orgânicos neutros e até mesmo água (FENGEL e

WEGENER, 1989). Dentre seus múltiplos usos industriais, os maiores destaques são para a área de farmacologia, alimentos, perfumaria e cosmetologia.

Nidavani e Mahalakshmi (2014), em suas pesquisas relacionadas à química da madeira, concluíram que os compostos químicos encontrados na árvore de teca têm inúmeras atividades farmacológicas, mas poucos estudos têm sido realizados com o objetivo de fomentar sua exploração de forma comercial. Sendo assim, os trabalhos nessa área devem ser vistos como uma alternativa de aumentar o capital das empresas que trabalham com os reflorestamentos, pois irá agregar valor ao empreendimento.

Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi quantificar os teores de extrativos solúveis em água, no sentido axial do tronco de *Tectona grandis*, visando ampliar as indicações de uso da espécie.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

As amostras utilizadas foram na forma de discos, originários de cinco (5) árvores da espécie *T. grandis* com idade de 17 anos, proveniente de um reflorestamento clonal, localizado no noroeste do estado de Mato Grosso. Os discos foram retirados de modo estratificado ao longo do tronco (Tabela 1), tendo como referência a base (0%) e o ápice da árvore (100%), em relação à sua altura comercial (HC).

Estratificação do tronco no Sentido Axial (%)	Árvores e Alturas dos Discos (m)				
	1	2	3	4	5
0 (Base)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
25	2,23	2,40	2,31	2,13	1,99
50	4,45	4,79	4,63	4,25	3,98
75	6,68	7,19	6,94	6,38	5,96
100 (Ápice - HC)	8,90	9,58	9,25	8,50	7,95
Altura Total (HT)	11,30	12,30	12,10	11,50	10,60

Tabela 1. Posição dos discos e alturas correspondentes para cada árvore estudada.

Ao final foram coletados vinte e cinco discos (5 árvores x 5 discos por árvore), que após identificados seguiram para as análises laboratoriais, que foram efetuadas tendo como referência a norma ABTCP M4/68 (extrativos solúveis em água fria e quente), adotando-se para os ensaios cinco repetições.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), onde os tratamentos foram as árvores (5) e os blocos a posição em que os discos foram retirados no sentido

base-topo (5). Inicialmente realizou-se uma análise descritiva dos dados para constatar as principais características da sua distribuição. Em seguida, visando o atendimento da normalidade e homocedasticidade dos dados aplicou-se, respectivamente, os testes Shapiro-Wilk e Bartlett para 95% de probabilidade. Os tratamentos que atenderam essas premissas foram submetidos à análise de variância por meio do teste F. Como o valor de F para os tratamentos foi significativo ($p < 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas, de acordo com o teste Tukey para 95% de probabilidade, sendo todas as análises estatísticas realizadas com auxílio do programa R (R CORE TEAM, 2019).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais estatísticas descritivas e os resultados do Teste Tukey para os teores médios percentuais de extrativos solúveis em água fria e quente, são apresentados nas Tabelas 2 e 3 respectivamente.

Estatística Descritiva	Solubilidade dos Extrativos em Água (%)	
	Fria	Quente
Media	4,15	5,77
Mínimo	2,34	3,70
Máximo	6,15	7,12
Desvio padrão	0,72	0,74
Intervalo de Confiança (95%)	$\pm 0,13$	$\pm 0,13$
Coefficiente de Variação (%)	17,35	12,82

Tabela 2. Estatística descritiva para os extrativos solúveis em água.

Estratificação do Tronco no Sentido Axial (%)	Solubilidade dos Extrativos em Água (%)	
	Fria	Quente
0 (Base)	4,39 a	5,91 a
25	4,34 a	5,83 a
50	3,91 a	5,90 a
75	3,97 a	5,43 a
100 (Ápice)	4,22 a	5,47 a

Letras iguais na coluna não diferiram entre si para o Teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 3. Resultados do Teste Tukey ($p < 0,05$) para os teores de extrativos solúveis em água.

O teor médio de extrativos em água fria foi menor do que em água quente, contudo, ambos apresentaram uma grande amplitude de valores entre as médias mínimas e máximas,

fato esse, comprovado pelos coeficientes de variação (Tabela 2). Entretanto, de acordo com o teste Tukey ($p < 0,05$), tanto para a água fria como para a água quente, não houve diferença estatística entre as posições dos discos retiradas ao longo da altura comercial das árvores (Tabela 3). Ou seja, os extrativos se distribuíram de forma homogênea no sentido axial do tronco.

Os grupos de extrativos que solubilizam em água fria são os mesmos que se solubilizam em água quente, sendo formados principalmente de açúcares simples e algumas substâncias fenólicas (KLOCK et al., 2005).

Oliveira (2005) menciona que substâncias tais como gomas, taninos, açúcares e corantes, são extraídas pela água fria enquanto a água quente, além de extrair as substâncias anteriores, também, extrai os amidos. Entretanto, Sjöström (1993), ressalta que os compostos químicos solubilizados em água são basicamente os mesmos, porém, na extração com água quente, a temperatura acelera a reação, aumentando a quantidade de compostos extraídos em um menor espaço de tempo.

Os valores médios de extrativos solúveis em água fria desse trabalho foram similares ao valor relatado por Garcia e Marinonio (2016), ao estudarem o cerne da mesma espécie com 12 anos de idade (4,35%) e superiores aos valores de 3,83% encontrados por Moreira et al. (2016), para teca de 10 anos.

Ferreira et al. (2015), ao trabalharem com a mesma espécie aos 10 anos e com a mesma metodologia, encontraram valores de 3,45% para compostos solúveis em água fria e 5,21% para água quente. Esses resultados foram menores do que os valores médios dessa pesquisa.

Chagas et al. (2014), trabalhando com madeira de teca de diferentes idades, encontraram valores de teores de extrativos solúveis em solventes orgânicos, abaixo do relatado nessa pesquisa. Os autores também descreveram que em geral, os valores médios dos teores de extrativos da madeira de teca foram próximos entre si para as idades estudadas, não havendo grande variabilidade entre eles.

4 | CONCLUSÕES

Após os resultados, concluiu-se que a posição em que o disco de madeira foi retirado ao longo do tronco, não influenciou na quantidade de extrativos solubilizados, independentemente da temperatura da água. Sendo assim, a retirada dos compostos químicos poderá ser em qualquer local no eixo axial da árvore. Além disso, a água mostrou-se um solvente eficiente para as análises químicas efetuadas, visto que os resultados apresentados foram compatíveis com a literatura pertinente sobre o assunto. Ela é um solvente natural com baixo custo, de fácil acesso e manipulação, sendo assim, seu uso mostrou-se ambientalmente correto e economicamente viável para a pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP, **Normas Técnicas**, São Paulo, 115p. 2004.

CHAGAS, S. F.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L. Propriedades da madeira de teca de diferentes idades e oriundas de desbaste. *Ciência da Madeira*, v. 5, n.2, p.138-150, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v05n02a08>

FENGEL, D.; WEGENER, G. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. 2. ed., Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

FERREIRA, K. A. C.; MENDOZA, Z. M. S. H; RIBEIRO, E. D; BATISTA, B. M. F; SILVA, J. C Análise dos compostos acidentais na madeira de *Tectona grandis* L. f. **Biodiversidade**, v.14, n.1, p. 105-110, 2015. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/2255>

GARCIA, R. A.; MARINONIO, G. B. Variação da Cor da Madeira de Teca em Função da Densidade e do Teor de Extrativos. **Floresta e Ambiente**, v.23, n.1, p. 124-134, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.035313>

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**. FUPEF, Universidade Federal do Paraná, 112p., 3 ed., 2005.

LEONARDO, F. V. S; ROCHA, H. F.; MENDOZA, Z. M. S. H. Compostos químicos em teca. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 315-322, jul./set. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.816>

MOREIRA, T. F. **Caracterização fitoquímica e avaliação das atividades biológicas de *Rhamnus sphaerosperma* var. *pubescens* (Reissek) M.C. Johnst. (Rhamnaceae)**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

NIDAVANI, R. B.; MAHALAKSHMI, A. M. Teak (*Tectona Grandis* Linn.): renowned timber plant with potential medicinal values. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, **Academic Sciences**, Reveiw Article, India, v. 6, n.1, p. 48-54 , 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1440217>

OLIVEIRA, J. T. S.; SOUZA, L. C.; DELLA LUCIA, R. M.; SOUZA JUNIOR, W. P. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.819-826, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n5/a17v29n5.pdf>

PELISSARI, A. L.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLING, A.; EBLING, A. A. Cultivo da teca: Características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.1, n.1; p. 2014. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2014a/cultivo.pdf>

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. ISBN: 3900051-07-0, 2019. <http://www.R-project.org>

SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry - Fundamentals and Applications**. 1993. Editora Academic Press, 293 p. 2 ed. 1993.

COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA: UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO MANHUAÇU, MG

Data de aceite: 04/01/2021

Rodolfo Alves Barbosa

<https://orcid.org/0000-0001-6015-6558>

Aline Gonçalves Spletzer

<https://orcid.org/0000-0003-2949-0237>

Lucas Jesus da Silveira

<https://orcid.org/0000-0001-5224-1023>

Sergio Guedes Barbosa

https://www.researchgate.net/profile/Sergio_Guedes_Barbosa

Herly Carlos Teixeira Dias

<https://orcid.org/0000-0002-6893-0920>

RESUMO: A conversão da paisagem natural por usos alternativos do solo ocorreu de forma intensa no Brasil com a expansão das áreas agrícolas e crescimento da população (MORAES et al., 2017; SANTOS et al., 2019). Dessa forma, a pressão por recursos naturais aumentaram, causando conflitos de interesses (MORAIS et al., 2020). Em Minas Gerais diversos Comitês de Bacia iniciaram a cobrança pelo uso da água. Na bacia do Rio Doce, existem 10 Comitês de Bacias que realizam esta cobrança, dentre eles a Bacias Hidrográficas do Rio Manhuaçu iniciou em 2012 a cobrança pelo uso da água. Foi realizado um pacto entre os poderes públicos, os setores usuários e as organizações civis representadas no âmbito do comitê com o objetivo de melhorar a quantidade e qualidade de águas da bacia. São cobrados os usos de captação, consumo e

lançamento de efluentes de usuários sujeitos à Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos. No Estado os valores são arrecadados pelo IGAM e integralmente repassados ao Instituto Bioatlântica (Ibio), entidade equiparada a Agência de Água para a Bacia do Rio doce, da qual a Bacia do Rio Manhuaçu pertence. (IBIO, 2015; AQUINO et al., 2013). As medidas tomadas na Bacia do Rio Manhuaçu estão sendo aplicadas para internalizar o efeito das externalidades causadas pelo uso dos recursos hídricos. Um monitoramento mais efetivo das condições climáticas e do uso do solo pode gerar importantes informações que pode ajudar na gestão do Comitê de Bacias. Uma maior divulgação das atividades do comitê poderia aumentar a participação da sociedade nas decisões tomadas.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrologia florestal, Manejo de bacias hidrográficas, recursos hídricos.

CHARGING FOR WATER USE: A CASE STUDY IN THE MANHUAÇU RIVER BASIN, MG

ABSTRACT: The conversion of the natural landscape by alternative land uses occurred intensely in Brazil with the expansion of agricultural areas and population growth (MORAES et al., 2017; SANTOS et al., 2019). Thus, the pressure for natural resources increased, causing conflicts of interest (MORAIS et al., 2020). In Minas Gerais, several Basin Committees started charging for water use. In the Rio Doce basin, there are 10 Basin Committees that carry out this collection, among them the Rio Manhuaçu Hydrographic Basins started in 2012 charging for water use. A

pact was made between public authorities, user sectors and civil organizations represented within the scope of the committee with the aim of improving the quantity and quality of waters in the basin. Uses for collecting, consuming and discharging effluents from users subject to the Right to Use Water Resources Grant. In the State, the amounts are collected by IGAM and fully transferred to the Bioatlântica Institute (Ibio), an entity equivalent to the Water Agency for the Rio Doce Basin, of which the Rio Manhuaçu Basin belongs. (IBIO, 2015; AQUINO et al., 2013). The measures taken in the Manhuaçu River Basin are being applied to internalize the effect of externalities caused by the use of water resources. More effective monitoring of climatic conditions and land use can generate important information that can help in the management of the Basin Committee. Greater disclosure of the committee's activities could increase society's participation in decisions made.

KEYWORDS: Forest hydrology, Watershed management, water resources.

INTRODUÇÃO

A conversão da paisagem natural por usos alternativos do solo ocorreu de forma intensa no Brasil com a expansão das áreas agrícolas e crescimento da população (MORAES et al., 2017; SANTOS et al., 2019). Dessa forma, a pressão por recursos naturais aumentaram, causando conflitos de interesses (MORAIS et al., 2020).

A disponibilidade dos recursos hídricos tornou-se nas últimas décadas uma preocupação crescente. A demanda cada vez maior da qualidade e da quantidade de água disponível vem sendo alterada em função do aumento da poluição, crescimento desordenado de cidades, falta de saneamento básico, uso do solo, erosão do solo e alterações climáticas (SANTOS et al., 2010).

No Brasil, a gestão das águas teve com a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9433/1997, que tem como preceito a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão, considera os múltiplos usos da água, considera o valor econômico da água reconhecendo como um bem finito e a necessidade de uma gestão participativa e descentralizada do recurso (ANA, 2020).

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos é um dos instrumentos de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos e tem como seus objetivos: dar ao usuário uma indicação do real valor da água, incentivar o uso racional de água e obter recursos financeiros para recuperação das bacias hidrográficas do país.

O valor fixado é estabelecido a partir da participação dos usuários da água, da sociedade civil e do poder público no âmbito dos Comitês de Bacias Hidrográficas. Segundo a legislação brasileira cabe aos Comitês proporem ao respectivo Conselho de Recursos Hídricos os mecanismos e os valores de cobrança a serem estabelecidos na sua área de atuação.

No âmbito de corpos d'água de domínio da União, compete a Agência Nacional das Águas (ANA) arrecadar e distribuir esses recursos às respectivas Agências de Água. No

âmbito de corpos d'água de domínio dos Estados, a implantação é operacionalização da cobrança atende às diretrizes das Políticas Estaduais de Recursos Hídricos (ANA, 2014).

As Agências de Águas são unidades executivas descentralizadas de apoio ao comitê de bacias hidrográficas, destinadas a prestar suporte técnico, administrativo e econômico. Cabe ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos aplicarem os recursos arrecadados com a Cobrança nas ações previstas no Plano de Recursos Hídricos da bacia e conforme as diretrizes estabelecidas no plano de aplicação, ambos aprovados pelo Comitê de Bacias Hidrográficas.

Em Minas Gerais diversos Comitês de Bacia iniciaram a cobrança pelo uso da água. Na bacia do Rio Doce, existem 10 Comitês de Bacias que realizam esta cobrança, dentre eles a Bacias Hidrográficas do Rio Manhuaçu iniciou em 2012 a cobrança pelo uso da água. Foi realizado um pacto entre os poderes públicos, os setores usuários e as organizações civis representadas no âmbito do comitê com o objetivo de melhorar a quantidade e qualidade de águas da bacia. São cobrados os usos de captação, consumo e lançamento de efluentes de usuários sujeitos à Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos. No Estado os valores são arrecadados pelo IGAM e integralmente repassados ao Instituto Bioatlântica (Ibio), entidade equiparada a Agência de Água para a Bacia do Rio doce, da qual a Bacia do Rio Manhuaçu pertence. (IBIO, 2015; AQUINO et al., 2013).

HISTÓRICO DA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

No Brasil, devido à percepção de abundância dos recursos hídricos, não houve preocupação quanto ao uso e gerenciamento desses. A falta de investimentos no tratamento de esgoto doméstico e a práticas de desperdício podem ser atribuídas a falta de valor econômico a água.

As intensas secas ocorrentes no semi-árido levaram a criação do primeiro modelo de gerenciamento no Brasil, a Comissão de Açudes e Irrigação, de Estudos e Obras Contra os Efeitos das Secas e da Comissão de Perfuração de Poços, em 1905. Já em 1906 foi criada a Superintendência dos Estudos e Obras Contra os Efeitos da Seca, juntando as comissões anteriores. O modelo era do tipo burocrático, onde as entidades concentram a autoridade e poder, sem a participação da sociedade, tendo um funcionamento mediante negociações político-representativas e jurídicas em que o administrador tem a função de fazer cumprir os direitos (SANTOS, 2005).

A Inspetoria de Obras Contra os Efeitos de Seca foi criada em 1909, e logo depois foi criada a Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), mudando para Departamento Nacional de Obras Contra as Secas em 1945. Em 1920, foi criada a Comissão de Estudos de Forças Hidráulicas, vinculado ao Ministério da Agricultura, substituída em 1933 pela Diretoria das Águas.

No ano de 1934 foi decretado o Código das Águas, instrumento utilizado pelo Governo

Federal para atender temas relativos aos aproveitamentos hidrelétricos e à utilização múltipla dos recursos. O aumento na demanda de energia no país devido principalmente ao período de industrialização exigiu a criação de uma legislação que permitisse a instalação de usinas hidrelétricas no país. A criação do Conselho Nacional de Água e Energia veio logo após, em 1939 foi criado o Conselho de Águas e Energia Elétrica (CNAEE).

No ano de 1934 foi decretado o Código das Águas, instrumento utilizado pelo Governo Federal para atender temas relativos aos aproveitamentos hidrelétricos e à utilização múltipla dos recursos. O aumento na demanda de energia no país devido principalmente ao período de industrialização exigiu a criação de uma legislação que permitisse a instalação de usinas hidrelétricas no país. A criação do Conselho Nacional de Água e Energia veio logo após, em 1939 foi criado o Conselho de Águas e Energia Elétrica (CNAEE).

Em 1945, foi criada a Superintendência do Vale do São Francisco (SUVALE) onde houve mudança no modelo de gerenciamento econômico-financeiro, tendo como característica a forma de negociação político-representativa e a econômica, geralmente insensíveis aos problemas locais. No ano de 1948 a SUVALE foi transformada na Comissão Vale do São Francisco, e no ano de 1974 pela criação da Lei 6.088, na Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), que tinha como função promover o desenvolvimento integrado de áreas prioritárias e a implantação de distritos agroindustriais e agropecuários, podendo assim coordenar ou executar obras de infra-estruturas para fins de saneamento básico, irrigação e construções de canais, eletrificação e transportes. Este foi um importante avanço no gerenciamento de recursos hídricos em bacia hidrográfica, onde o solo e a água são considerados fatores de desenvolvimento (SANTOS, 2005).

O Código Florestal instituído pela Lei 4771/1965, qualifica como de preservação permanente as matas ciliares, correspondendo às florestas e demais formas de vegetação natural. Este foi considerado um importante instrumento adotado para a conservação, preservação e recuperação dos recursos hídricos atuando a essas matas as funções de filtros naturais, infiltração da água, e prevenindo a erosão do solo e assoreamentos dos corpos d'água.

A normatização do saneamento básico ocorreu em 1967 através da Lei 5138 que instituiu a Política Nacional de Saneamento. A normatização do sistema de esgoto e de drenagem de águas pluviais, controle das modificações artificiais das massas de água e o controle de erosão e inundações. Em 1979 foi instituída a Política Nacional de Irrigação tendo como objetivo controlar a utilização de água usada na irrigação, eliminar conflitos existentes entre produtores e estes com o setor elétrico.

Em 1976, foi realizado um acordo entre o Ministério de Minas e Energia (MME) e o Governo do Estado de São Paulo que teve como objetivo a obtenção de melhores condições sanitárias, adequação de obras de saneamento, abastecimento de água e tratamento de esgotos domésticos dos rios Tietê e Cubatão. Para isso foi criado um Comitê Especial para a realização de importantes decisões como: reforma da barragem de Guarapiranga, fixação

de regras de operação em períodos de variação da vazão para controlar enchentes e o abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo.

O modelo de gestão participativa foi formulado após bons resultados do acordo entre o MME e o governo do Estado de São Paulo foi criado o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas. O objetivo era classificar os cursos d'água de domínio da União e promover estudos e acompanhamento do uso racional e múltiplo de cada rio e reduzir as consequências adversas ao meio ambiente. Em diversas outras bacias com rio de domínio da União foram criados comitês executivos, vinculados ao CEEIBH. As criações dos comitês tiveram apenas caráter consultivo, faltando o respaldo legal; apesar das limitações, apresentaram importantes experiências, mostrando as características de seu funcionamento.

A Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei 6938/1981 teve como princípio a imposição ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e ou indenizar os danos causados, a ao usuário, de contribuição pela utilização dos recursos ambientais com fins econômicos, competindo ao CONAMA estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e manutenção com vistas o uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos. A gestão qualitativa das águas teve início em 1986, com a resolução do CONAMA nº20, dispendo sobre classificação e enquadramento destes.

A realização de diversas conferências, congressos e simpósios alertando sobre as consequências do mau uso da água instituídas no Brasil entre as décadas de 70 e 80, alertaram a sociedade quanto à importância do uso racional das águas. Apesar do Código das Águas tratarem do direito da água desde 1934, não foi suficiente para combater o desperdício, faltava meios para solucionar os conflitos de uso.

As diversas iniciativas alertando sobre as consequências do uso da água que levaram a inserção na Constituição Federal de 1988 de dispositivos sobre a água. Mas com a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) através da Lei 9433/1997. Essa lei regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal, que atribui à união a competência para instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH).

Inspirado no modelo Francês, a PNRH tem como um dos pilares a participação da sociedade. Os preceitos básicos da Lei 9433/1997 consistem na adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, considera os múltiplos usos da água, o reconhecimento da água como bem finito passível de valor econômico, a necessidade de gestão participativa e descentralizada deste recurso.

Em 2000, a Agência Nacional das Águas (ANA) foi criada com a competência para implantar a Política Nacional dos Recursos Hídricos e coordenar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. É de responsabilidade da ANA a implantação e aplicação da Lei 9433/1997, seguindo os instrumentos de ação, princípios e arranjo institucional previstos (comitê de bacias hidrográficas, Conselho Nacional de Recurso

Hídricos (CNRH), agência de águas e entidades federais, estaduais e municipais.

A regulamentação da Lei 10881/2004, que trata dos contratos e gestão da ANA com entidades que vão exercer a função de Agência das Águas, onde possibilita a descentralização da gestão dos recursos hídricos garantido que os valores arrecadados dos usuários das bacias não sofram contingenciamento do Governo Federal.

ESTRUTURAÇÃO DA COBRANÇA NO BRASIL

Com a criação da Lei 9433/97, o gerenciamento dos recursos hídricos apresentou novo formato, onde apresenta os princípios de sustentabilidade ao assegurar à geração presente e as futuras a disponibilidade hídrica necessária, promover o uso racional e integrado, e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos. A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos: considera a água como um bem público; recurso natural limitado, dotado de valor econômico; em situação de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e dessedentação de animais; a gestão deve proporcionar o uso múltiplo das águas; a bacia é a unidade territorial para a implantação da PNRH e da CNRH; a gestão deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e da comunidade.

Dessa forma ao definir a água como um bem público, afasta a existência de águas particulares, fazendo com que o uso desse bem seja de forma consciente com a limitação do recurso (CAMPOS, 2005). Quanto ao valor econômico atribuído a água é importante levar em consideração o preço da conservação, da recuperação e da melhor distribuição desse bem.

A cobrança pelo uso da água trata-se de um instrumento econômico que deriva da aplicação do princípio usuário-pagador e no do poluidor pagador, sendo aquele que utiliza de um recurso deve arcar com o seu custo; onde o Estado faz a cobrança do usuário de um recurso ambiental em contrapartida pelos benefícios trazidos a ele pela utilização, de forma a se compensar a coletividade (CARRERA-FERNANDEZ, GARRIDO, 2000). A Cobrança visa ao reconhecimento da água como um bem ecológico, social e econômico, dando ao usuário uma indicação de seu real valor. No entanto, não se trata de taxa ou imposto, mas sim de um preço público e visa incentivar os usuários a utilizarem a água de forma mais racional, garantindo, dessa forma, o seu uso múltiplo para as atuais e futuras gerações (GARCIA, 2012).

A cobrança pode ser apenas aos recursos hídricos sujeitos a outorga; derivação ou captação para uso final (abastecimento público) ou como insumo produtivo; extração de aquífero para uso final para uso final ou como insumo produtivo; lançamento de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não em corpos d'água; uso hidrelétrico; e qualquer uso que altere o regime, a quantidade e qualidade do recurso hídrico (BRASIL, 1997).

A operacionalização da cobrança de recursos hídricos sob domínio da União, ou seja, aqueles que atravessam mais de um estado são de competência exclusiva da ANA, podendo ser delegada a outras instituições. Também é responsável por elaborar estudos técnicos para subsidiar a fixação de valores a serem cobrados com base nos mecanismos e quantias sugeridas pelos Comitês de Bacia Hidrográfica.

Porém a atribuição de valores não foi uma tarefa fácil para os Comitês de Bacias. Pois a valoração dos recursos ambientais é um desafio para a ciência econômica, pois é preciso considerar a complexidade ecossistêmica e valores ecológicos sociais e econômicos. Assim surgem problemas metodológicos que devem considerar multicritérios para os diferentes tipos de valores. Após estabelecer os mecanismos de cobrança e os valores a serem cobrados, a efetiva aplicação ficará sob responsabilidade a Agência das Águas, que encaminhará os valores arrecadados da administração desses recursos.

As Agências de Água integram o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e sua criação deve ser solicitada pelo Comitê de Bacias Hidrográficas e autorizada pelo Conselho de Recursos Hídricos. Possuem a função de secretaria executiva do comitê, competindo as Agências de Água: manter balanço atualizado da disponibilidade de recursos hídricos, manter o cadastro de usuários de recursos hídricos, efetuar, mediante delegação do outorgante, a cobrança pelos recursos hídricos; analisar e emitir pareceres sob projetos e obras a serem financiados com recursos gerados pela cobrança pelos recursos hídricos; propor o enquadramento dos recursos hídricos (AQUINO et al., 2013).

O período em que as Agências de Água não estiverem constituídas, os Conselhos de Recursos Hídricos podem delegar, por prazo determinado, o exercício de funções de competência das Agências de Água para organizações sem fins lucrativos. A ANA está autorizada a firmar contratos de gestão, por entidades que receberam delegação do CNRH para exercer funções de competência da ANA, relativas a recursos hídricos de domínio da União. A figura de Agência de Água ainda não foi formalmente estabelecida no Brasil, no Brasil, as bacias que acontecem a cobrança pelo uso da água são: AGEVAP, Ibio, Fundação Agência das Bacias PCJ, ADESE, ABHA, ABG Peixe Vivo, Agência Itajaí, Consórcio Lagos/São João e COGERH (ANA, 2014).

A Bacia do Rio Paraíba do Sul, possui unidade com territórios dos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo. Possui contrato de gestão com a Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP). Um ano após o início da cobrança o comitê aprovou os mecanismos de e valores de cobrança para o setor de mineração nos leitos dos cursos d'água. Em 2005, foi aprovado o valor de uso das águas transpostas da Bacia Paraíba do Sul para a Bacia do Rio Guandu.

Os valores arrecadados foram investidos na elaboração de Planos Municipais de Gestão de Resíduos sólidos, envolvendo 90 municípios da bacia, lançamento do projeto de Pagamento por Serviços Ambientais PSA com foco em recursos hídricos para a restauração florestal de áreas degradadas e conservação florestal de áreas de florestas na bacia, com

o pagamento aos provedores de serviços ambientais, construção de Usina de Triagem e Compostagem, financiamento da estação de tratamento de efluentes em Juiz de Fora

A cobrança nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí ocorrem a usuários que possuem captação de água superior a 5m³/dia, onde os setores de saneamento e indústria foram os que mais utilizaram água. Os valores arrecadados pela ANA nas Bacias PCJ à Fundação Agência das Bacias Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí.

A aplicação dos recursos foram para o monitoramento hidrológico das Bacias PCJ na operação e manutenção da rede telemétrica, uso de radar meteorológico para geração de vazões e direcionamento de investimentos em macrodrenagem e estudos de trânsito da água, elaboração de Plano Diretor de combate às perdas em sistemas de abastecimento público com diagnóstico das perdas físicas, alternativas de solução, recomendações de ações não estruturais e projetos básicos.

A Bacia do Rio São Francisco, que abrange os estados de Goiás, Minas Gerais, Distrito Federal, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe possui uma áreas de 635.920 Km² é cobrado ao usuário sujeito a outorga de direito de uso dos recursos captação superior a 4,0l/s.

O setor agropecuário é o que possui maior número de usuários, com 1301, seguido do saneamento com 120 e indústria com 20, sendo estes responsáveis pela maior parte da arrecadação total. Os recursos arrecadados pela ANA na bacia são integralmente repassados à Associação Executiva de Apoio à Gestão de bacias Hidrográficas Peixe Vivo, AGB Peixe Vivo, que funciona como Agência de Água. Cabendo desembolsar os recursos nas ações previstas pelas diretrizes do comitê de bacias hidrográficas. Um número pequeno de usuários é responsável pela maior parte de arrecadação da cobrança. Ou seja, dos 1031 pagantes, 75 deles correspondem a 95% da receita da bacia.

Os comitês de bacia Alto Tietê começou em 2011 a cobrança pelo uso da água, a cobrança de 2500 usuários possui uma arrecadação de 15,7 milhões de reais e o valor arrecadado é usado para elaboração de plano diretor de macrodrenagem, construção de galpão para coleta seletiva, mapeamento do uso e ocupação do solo na bacia.

Em Minas Gerais o comitê de Bacia Hidrográfica Araguari foi criado para mediar conflitos pelo uso da água por agricultores, principalmente de cafeicultores. Com o dinheiro arrecadado é investido na identificação de áreas críticas através de imagens de satélite e visitas em campo, readequar a conservação de estradas rurais e fornecer mudas para o reflorestamento.

A Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí, Santa Catarina. A agência funciona com recursos privados, apoia o comitê, mas não está prevista na legislação caratinense de recursos hídricos.

A ideia de criação de um Consórcio intermunicipal na Região dos lagos, no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro foi para unir governo, empresas e entidades da sociedade

civil visando favorecer a gestão compartilhada do meio ambiente.

Em 2009, com a instalação do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu passaram a ter as suas atividades operacionais apoiadas pela ANA, a bacia possui área de 42900 km² distribuídos entre os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.

A COGERH, criada em 1993 é responsável pelo gerenciamento e disciplinamento de mais de 90% das águas acumuladas e distribuídas no Estado do Ceará, e uma das mais importantes infraestruturas hídrica construídas no semiárido brasileiro. A receita obtida pela cobrança sobre o uso das águas e dos serviços de adução de água bruta cobre toda a despesa operacional da companhia, inclusive a elaboração de estudos técnicos e planos destinados a gestão das bacias hidrográficas.

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce localizado entre os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo possui uma área de 86711 Km², com 230 municípios e 3,5 milhões de habitantes. Teve o início da cobrança pelo uso dos recursos hídricos em 2011, assim como o CBH Manhuaçu (Figura 1), onde são cobrados os usos pela captação, transposição e lançamento de efluente de usuários sujeitos a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos com captação de água superior a 1,0l/s em Minas Gerais e 1,5 l/s no trecho correspondente ao Estado do Espírito Santo.

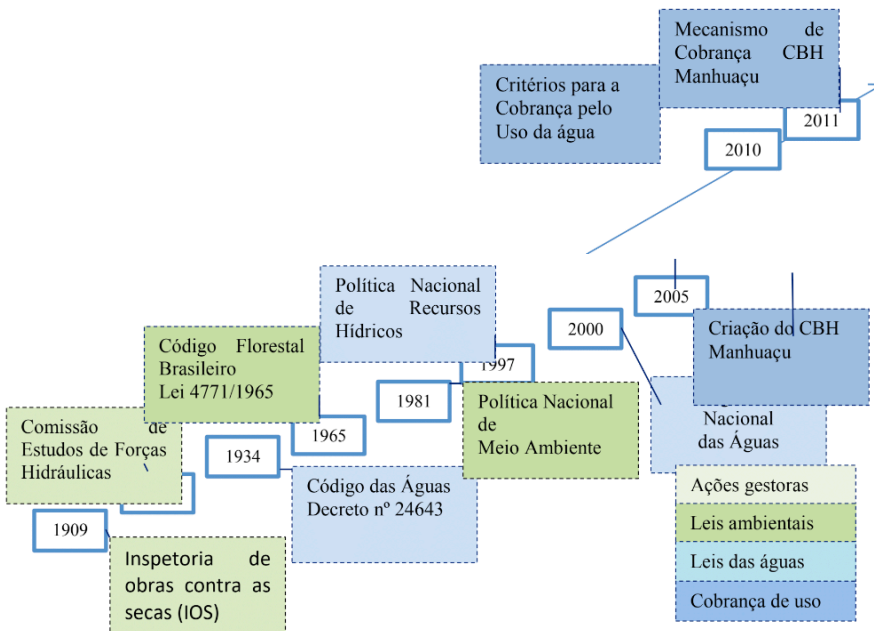


Figura 1: Fluxograma de mudança temporal na gestão dos recursos hídricos no Brasil e na bacia do Rio Manhuaçu

Bacia do Rio Manhuaçu

A Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu está inserida no estado de Minas Gerais e uma pequena parte no estado do Espírito Santo, abrangendo os municípios de Lúna e Ibatiba. A área de drenagem na bacia é de 8.805,33 km² (, porém a área considerada para gestão é de 9.189 quilômetros quadrados. Integrando a Macrobacia do Rio Doce, o Rio Manhuaçu tem extensão de 288 km, sendo um dos principais afluentes. Possui uma população estimada de 556.845 habitantes para os 29 municípios (IBGE, 2016).

Após o rompimento das barragens de sedimentos de mineração em Mariana, houve uma perda considerável da biodiversidade e da qualidade da água em uma grande extensão do Rio Doce afetando a vida de milhares de pessoas que necessitam das águas do Rio. A Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu não foi diretamente afetada por este impacto ambiental, sendo assim, fundamental a destinação adequada dos valores arrecadados pela bacia para reduzir os impactos ocorridos na própria bacia e assim contribuir para a recuperação das águas do Rio Doce.

Integrando a Macrobacia do Rio Doce, o Rio Manhuaçu possui grande importância, sendo necessário criar um comitê que atendesse a bacia, assim foi criado através do Decreto nº 43959/2005, o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu.

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais na área de atuação do CBH Águas do Rio Manhuaçu foi implantada considerando os parâmetros: volume de água anual de efluente lançado no corpo hídrico; a carga orgânica lançada no corpo hídrico; a energia anual de origem hidráulica efetivamente verificada, em MWh; e o volume anual de água transposto por outra bacia.

Os volumes captados, transpostos e lançados serão aqueles que constarem de outorga de direito de uso de recursos hídricos emitida, para cada usuário de recursos hídricos, ou na inexistência de outorga, das informações declaradas pelos usuários no processo de regularização de usos na área de atuação do CBH Águas do Rio Manhuaçu.

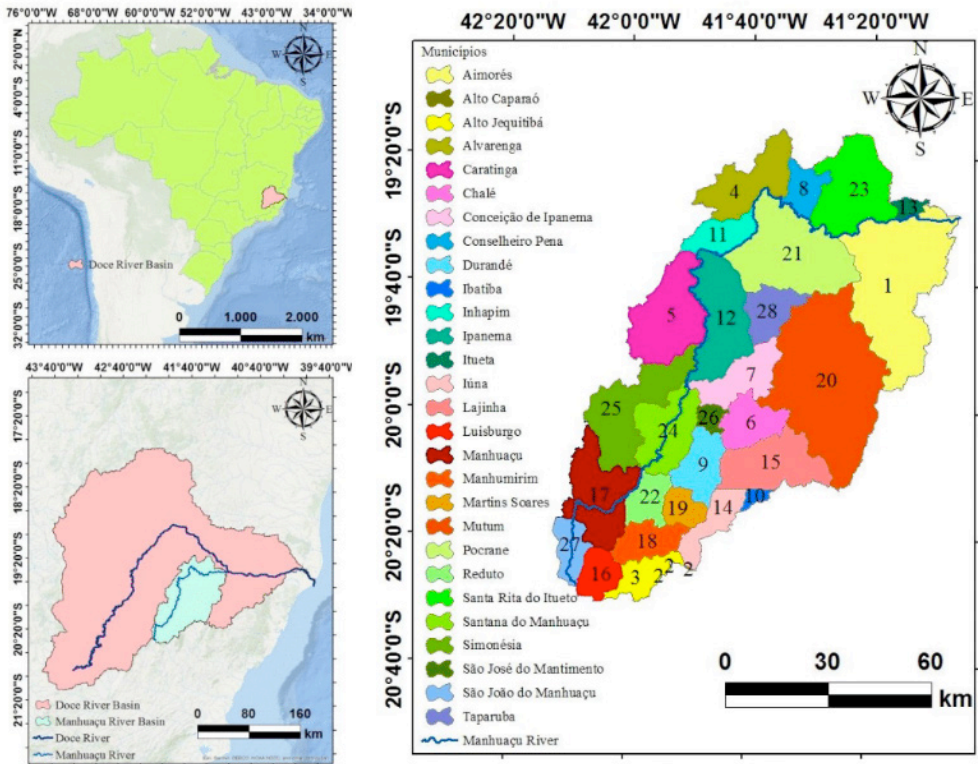


Figura 2: Localização dos municípios na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, Minas Gerais.

O volume de $DBO_{5,20}$ (Demanda Bioquímica de Oxigênio, após 5 dias a 20°C) para cálculo do total anual de carga orgânica (CO_{DBO}) lançada no corpo hídrico será aquele que constar da informação declarada pelos usuários no processo de regularização de usos na área de atuação do CBH Águas do Rio Manhuaçu-MG, ou do respectivo processo de licenciamento ambiental, na ausência da primeira.

A energia efetivamente verificada será obtida junto à ANEEL, ou na falta, pelo usuário gerado, ou pelos dados de potência do projeto. A cobrança pelos usuários de recursos hídricos é realizada de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Valor}_{\text{total}} = (\text{Valor}_{\text{cap}} + \text{Valor}_{\text{lanc}} + \text{Valor}_{\text{transp}} + \text{Valor}_{\text{PCH}}) * K_{\text{gestão}}$$

em que:

$\text{Valor}_{\text{total}}$ = Valor anual total de cobrança, em R\$/ano;

$\text{Valor}_{\text{cap}}$ = Valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano;

$\text{Valor}_{\text{lanc}}$ = Valor anual de cobrança pelo lançamento de carga orgânica, em R\$/ano;

$\text{Valor}_{\text{PCH}}$ = Valor anual de cobrança pela geração de energia elétrica pelo meio de PCHs, em R\$/ano

$K_{\text{gestão}}$ = Coeficiente que leva em conta o efetivo retorno à área de atuação do CBH

Águas do Rio Manhuaçu-MG dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

O valor $K_{gestão}$ será definido igual a 1.

O valor $K_{gestão}$ será igual a zero se na Lei de Diretrizes Orçamentárias do Estado de Minas Gerais, para o ano subsequente não estiverem incluídas as despesas relativas à aplicação das receitas de cobrança pelo uso de recursos hídricos; e houver descumprimento pelo IGAM, do Contrato de Gestão celebrado entre o IGAM e a entidade equiparada às funções de Agência de Bacia.

A cobrança pela captação de água é feita de acordo com a equação:

$$\text{Valor}_{cap} = Q_{cap} * PPU_{cap} * K_{cap}$$

Em que:

Valor_{cap} = valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano;

Q_{cap} = volume anual de água captado, em m³/ano;

PPU_{cap} = Preço Público Unitário para captação, em R\$/m³;

K_{cap} = coeficiente que considera objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água

O K_{cap} é calculado por: $K_{cap} = K_{cap\ classe} * K_t$

Em que:

$K_{cap\ classe}$ = coeficiente que leva em conta a classe de enquadramento do corpo d'água no que se faz a captação, sendo igual a 1 enquanto o enquadramento não estiver aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Após aprovado pelo conselho receberá os seguintes valores para os tipos de enquadramento: enquadramento especial=1,15; enquadramento 1 = 1,1; enquadramento 2=1,0; enquadramento 3=0,9 e enquadramento 4=0,8.

K_t = coeficiente que leva em conta a natureza do uso e as boas práticas de uso e conservação da água. O valor será igual a 1, exceto para os usos agropecuários para os quais o valor será 0,05.

O usuário que comprovar por monitoramento atestado pelo órgão outorgante que a condição de qualidade onde ocorre a captação for inferior a correspondente classe de enquadramento poderá solicitar revisão do cálculo de cobrança para considerar o valor do $K_{cap\ classe}$ correspondentes à condição de qualidade no trecho captado.

A cobrança pela captação de água superficial ou subterrânea no caso em que o usuário possuir medição de vazão feira de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Valor}_{cap} = (K_{out} * Q_{out} + K_{med} * Q_{med}) * PPU_{cap} * K_{cap}$$

Em que:

Valor_{rcap} = valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano;

K_{out} = peso atribuído ao volume anual de captação outorgado;

K_{med} = peso atribuído ao volume anual de captação medido;

Q_{out} = volume anual de água outorgado, em m³/ano;

Q_{med} = volume anual de água medido, em m³/ano;

PPU_{cap} = Preço Público Unitário para captação, em R\$/m³;

K_{cap} = coeficiente que considera objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água.

Os valores de K_{out} e K_{med} serão definidos conforme segue:

Quando (Q_{med}/Q_{out}) for maior ou igual a 0,7 será adotado $K_{out} = 0,2$ e $K_{med} = 0,8$; ou seja:

$$\text{Valor}_{cap} = (0,2 \times Q_{out} + 0,8 \times Q_{med}) \times PPU_{cap} \times K_{cap}$$

Quando (Q_{med}/Q_{out}) for menor que 0,7 será acrescida à equação definida a parcela de volume a ser cobrado correspondente à diferença entre $0,7 \times Q_{out}$ e Q_{med} com K_{med} extra = 1; ou seja:

$$\text{Valor}_{cap} = [0,2 \times Q_{out} + 0,8 \times Q_{med} + 1,0 \times (0,7 \times Q_{out} - Q_{med})] \times PPU_{cap} \times K_{cap}$$

Quando Q_{med}/Q_{out} for maior que 1 (um), será adotado $K_{out} = 0$ e $K_{med} = 1$.

O usuário informará anualmente ao CNARH a vazão medida na forma a ser estabelecida pelo órgão gestor.

Ao usuário que não informar a vazão medida no CNARH, adotar-se-á equação estabelecida.

A cobrança pelo lançamento de carga orgânica será feita de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Valor}_{Lan\c{c}} = \text{CODBO} \times \text{PPULan\c{c}}$$

em que:

$\text{Valor}_{Lan\c{c}}$ = Valor anual de cobrança pelo lançamento de carga orgânica, em R\$/ano;

CODBO = carga anual de DBO_{5,20}, em kg/ano;

$\text{PPULan\c{c}}$ = Preço Público Unitário pelo lançamento de carga orgânica, em R\$/kg.

O valor da CODBO será calculado conforme segue:

$$\text{CODBO} = \text{CDBO} \times \text{Qlan\c{c}}$$

em que:

CDBO = concentração média de DBO_{5,20} anual lançada, em kg/m³;

$\text{Qlan\c{c}}$ = Volume anual lançado, em m³/ano.

Nos casos em que o usuário comprovar por medições, atestadas pelo órgão outorgante, em articulação com o órgão ambiental competente, que a concentração de carga orgânica presente no lançamento de seus efluentes for menor que a concentração de carga orgânica presente na água captada de um mesmo corpo de água, superando-se as metas de enquadramento no trecho de lançamento, o cálculo dos valores referentes ao pagamento pelo lançamento de carga orgânica poderá ser revisto, buscando-se uma compensação ao usuário.

A cobrança pelo uso de recursos hídricos referente aos volumes de água transpostos será feita de acordo com a equação abaixo:

$$\text{Valortransp} = \text{Qtransp} \times \text{PPUtransp} \times \text{Kclasse}$$

Em que:

Valortransp = valor anual de cobrança pela transposição de água, em R\$/ano;

Qtransp = volume anual de água transposto na Bacia Hidrográfica do Rio Doce para outras bacias, em m³/ano;

PPUtransp = Preço Público Unitário para a transposição de bacia, em R\$/m³;

Kclasse = coeficiente que leva em conta a classe de enquadramento do corpo d'água no qual se faz a transposição, conforme definido no art. 3º para o uso de captação.

Para efeitos desta deliberação, considera-se como volume de água transposto para outra bacia, a parcela de água existente em um corpo hídrico que é derivada para utilização lançamento em ponto localizado fora da bacia hidrográfica do Rio Doce.

No caso em que o usuário possuir medição de vazão de acordo com procedimentos aceitos pelos órgãos gestores, a cobrança referente aos volumes de água transpostos será calculada conforme mecanismo definido para o uso de captação, porém aplicando-se o PPUtransp ao invés do PPUcap.

A cobrança pelo uso de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica por meio de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs será feita de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Valor}_{\text{PCH}} = \text{EH} \times \text{TAR} \times \text{K}$$

Em que:

Valor_{PCH} = valor anual de cobrança pela geração de energia elétrica por meio de PCHs, em R\$/ano;

EH = energia anual de origem hidráulica efetivamente verificada, em MWh;

TAR = Tarifa Atualizada de Referência - TAR, relativa à compensação financeira pela utilização dos recursos hídricos, fixada, anualmente, por Resolução Homologatória da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, em R\$/MWh;

K = igual a 0,75% (setenta e cinco centésimos por cento).

A implementação efetiva da cobrança de geração de energia elétrica dependerá de ato normativo da autoridade federal competente relativa às questões advindas da cobrança pelo uso de recursos hídricos para geração hidrelétrica por meio de PCHs.

Os valores estabelecidos para preços públicos unitários de cobrança pelos recursos hídricos de domínio estadual na Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu foram estabelecidos pelo comitê.

Os valores dos Preços Públicos Unitários de cobrança no exercício serão alterados conforme a progressividade estabelecida somente se houver desembolso dos recursos arrecadados com a cobrança compatível com a correspondente meta definida para o ano anterior no contrato de gestão a ser celebrado entre a entidade equiparada à agência de bacia e o IGAM (Tabela 1).

Tipo de uso	PPU	Unidade	Valor			
			2011-2012	2013	2014	2015
Captação de água superficial	PPUcap	R\$/m ³	0,018	0,021	0,024	0,030
Captação de água subterrânea	PPUcap	R\$/m ³	0,02	0,023	0,026	0,033
Lançamento de carga orgânica	PPUlanç	R\$/kg	0,1	0,12	0,150	0,160
Transposição de água	PPU trasp	R\$/m ³	0,022	0,027	0,031	0,040

Tabela 1: Valor estabelecido na Bacia do Rio Manhuaçu para os diferentes usos dos recursos hídricos

Com os valores arrecadados Na Bacia do Rio Manhuaçu, devem ser alocados para as prioridades da bacia, e o que conta no plano plurianual. Do início das atividades até 2015 foram destinados 2 milhões para a Bacia Hidrográfica, e para os anos seguintes até 2020 está previsto o gasto de 4,88 milhões de reais na bacia (Tabela 2).

Metas, programas e ações priorizados	Valores (Mil R\$)			
	2012	2013	2014	2015
Programa universalização do saneamento	-	1	500	1500
Fortalecimento dos Comitês	-	-	50	50
Programa de comunicação social	-	3	-	3
Total	-	4	550	1550

Metas, programas e ações priorizados	Valores (Mil R\$)				
	2016	2017	2018	2019	2020
Apoio na elaboração do Plano Municipal de Saneamento básico	200	-	-	-	-
Elaboração de projetos de otimização de sistema de abastecimento de água	800	-	-	-	-
Programas de controle de atividades geradoras de sedimentos	300	450	450	450	450
Programa recomposição de APPs e Nascentes	-	290	290	290	290
Cadastramento dos usuários de recursos hídricos da bacia	120	-	-	-	-
Fortalecimento dos comitês	100	100	100	100	200
Total	1520	840	840	840	840

Tabela 2- Plano plurianual de atividades na Bacia do Rio Manhuaçu e os valores destinados

Houve um aumento na arrecadação ao longo do tempo, devido a entrada de novos

usuários e alteração na tabela de preço (Figura 3).

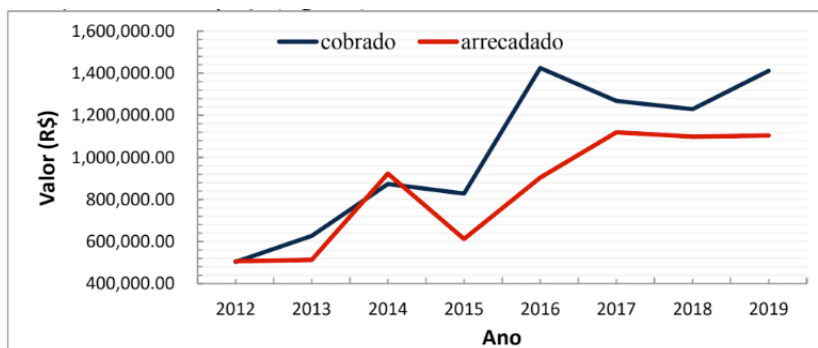


Figura 3: Alteração no valor arrecadado e o valor cobrado pela outorga de uso dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu

O comitê possui um grande número de conselheiros, representantes do poder público estadual, poder público municipal, usuários e sociedade civil que podem votar e opinar nas decisões propostas pelo comitê.

A bacia possui 63 usuários que possuem outorga pelo uso d'água. Dentre eles os que mais arrecadaram dinheiro para o comitê foi o setor de mineração e para usos diversos, como pedreiras e pequena central hidrelétrica, SAAE e COPASA. O valor arrecadado para 2019 foi de 1.104.040,00, sendo o saneamento responsável por 97% do valor total arrecadado (Figura 4).

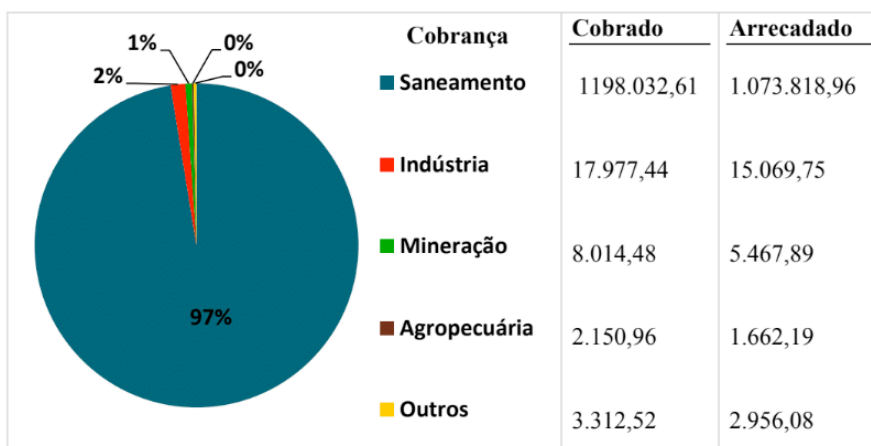


Figura 4: porcentagem da cobrança dos recursos hídricos de diferentes setores de consumo na Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu.

Atividades que o Comitê de Bacias hidrográficas realizou recentemente:

- Programa de universalização do saneamento

Elaboração de Planos Municipais de Saneamento para os municípios da bacia hidrográfica e a elaboração de Projetos para Otimização de Sistemas de Abastecimento de Água.

- Fortalecimento dos Comitês

Custeio de viagens de campo e para congressos visando a troca de experiência com outros gestores de água.



Figura 5: Atividades desenvolvidas pelo Comitê de Bacias do Rio Manhuaçu

Os programas para favorecimento do saneamento rural e para a restauração de áreas degradadas não foram implementadas como previsto no plano plurianual devido à redução significativa de pessoal na área técnica do IBIO.

Existe a necessidade de uma entidade delegatária eficiente e estruturada. A unificação de contratos de gestão celebrados pela ANA e pelo IGAM também ajudaria a reduzir a burocracia e aumentaria a eficiência das entidade delegatária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As medidas tomadas na Bacia do Rio Manhuaçu estão sendo aplicadas para internalizar o efeito das externalidades causadas pelo uso dos recursos hídricos.

Um monitoramento mais efetivo das condições climáticas e do uso de solo pode gerar importantes informações que pode ajudar na gestão do Comitê de Bacias.

Uma maior divulgação das atividades do comitê poderia aumentar a participação da sociedade nas decisões tomadas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). Agência de Água- o que é, o que faz e como funciona. Caderno de Capacitação em Recursos Hídricos, v.4, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). Cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, 80p. 2019.

AQUINO, F. L.; AMORIM, B.; ALVES, R. F. A.; PEREIRA, C.; SILVA, O. F. Acompanhamento e avaliação dos contratos de gestão celebrado entre a Agência Nacional das Águas e as entidades delegatárias de funções de Agência de Água. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2013.

CAMPOS, J. D. **Desafios do gerenciamento dos recursos hídricos nas transferências naturais e artificiais envolvendo mudança de domínio hídrico**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

DELIBERAÇÃO NORMATIVA N°01. Dispõe sobre mecanismos e valores de cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu.

FERNANDEZ-CARRERA, J. Água em bacias Hidrográficas: Uma Análise de Estudos no Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, v.31, p.604-628, 2000.

GARCIA, J. R. **Valoração, cobrança pelo uso da água e a gestão das bacias hidrográficas do Alto-Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira: Uma abordagem econômico-ecológica**. Tese de Doutorado em desenvolvimento Econômico. Unicamp, 2012.

IBIO – Instituto BioAtlântica. Disponível em <http://www.ibioagbdoce.org.br/>. Acesso em 3 de Maio de 2019.

IBIO, Instituto BioAtlântica. Relatório anual de acompanhamento das ações executadas com os recursos da cobrança pelo uso de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu. 46p. 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>> Acesso em 2 Maio de 2016.

MORAES., M. C. P.; MELLO, K.; TOPPA, R. H. Protected areas and agricultural expansion: Biodiversity conservation versus economic growth in the Southeast of Brazil. **Journal of Environmental Management**, v.188, n.1, p.73-84, 2017.

MORAIS, E. A.; CARVALHO, J. S. F.; ALMEIDA, P. L. R. Conflicts of access and use of water in the Paraíba river basin after operation of the São Francisco river integration project. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.1, p.5098-5108, 2020.

NOVAIS, L. F.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; QUEIROZ, D. O.; RODRIGUEZ, R. Gestão de Recursos hídricos: uma nova metodologia para estimativas de vazões mínimas. **Engenharia na Agricultura**, v.17, n.1, p62-74, 2009.

ROSA, B. P.; RIBEIRO, J. C. J. A cobrança pelo uso da água como mecanismo de sustentabilidade. **Revista Mestrado em Direito**, v.9, n.2, 2014.

SANTOS, M. O. R. M. O impacto da cobrança pelo uso da água no comportamento do usuário. Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.826-834, 2010.

SANTOS, T. C. **Impacto das mudanças de uso da terra e manejo nos estoques de carbono do solo em diferentes biomas brasileiros**. 69f. Mestrado em Agronomia, 2019.

APPLICATION OF R LANGUAGE IN THE ANALYSIS OF FOREST FRAGMENTATION USING SPATIAL DATA

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 08/12/2020

Juliana Marchesan

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – RS
<https://orcid.org/0000-0002-2167-5862>

Rudiney Soares Pereira

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – RS
<https://orcid.org/0000-0002-9846-4879>

Elisiane Alba

Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Unidade de Serra Talhada
Serra Talhada – PE
<https://orcid.org/0000-0001-6210-4559>

Letícia Daiane Pedrali

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – RS
<https://orcid.org/0000-0002-5406-1525>

Luciane Marchesan

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – RS
<https://orcid.org/0000-0001-5655-5599>

Mateus Sabadi Schuh

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – RS
<https://orcid.org/0000-0003-4996-0902>

Roberta Aparecida Fantinel

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – RS
<https://orcid.org/0000-0002-1827-7943>

ABSTRACT: The ecology of the landscape evaluates the spatial structure of the landscape helping to maintain biodiversity, since it is possible to define techniques for the recovery and conservation of forest fragments. The analysis of landscape structure through landscape metrics allows to know the function of fragments and their possible responses to changes caused by vegetation suppression. Remote sensing techniques have been used in landscape ecology studies, since they have the capacity to characterize spatially and temporally the configuration and composition of land use and land cover types. In this context, the objective of this study was to develop an R language package for the calculation of landscape ecology metrics to analyze forest fragmentation by means of remote sensors images. In addition, analyzing forest fragmentation in the hydrographic microbasin of Arroio Grande located in the central region of the Rio Grande do Sul state, in the Atlantic Forest biome. The package, called LandscapeMetrics, being easy to use, allowing the calculation of several landscape ecology metrics, making it possible to analyze landscape composition spatially, according to users' needs. For the case study, the supervised classification was performed using the MLE (Maximum Likelihood) algorithm using Landsat 5 and 8 images. The results allowed us to infer that there was an increase in the area covered with native forest, going from 2,676.15 ha in 2010 to 3,505.86 ha in 2019, with a decrease in the number of fragments. Thus, it was concluded that the package addresses the need for computational routines that aim at the calculation of metrics using open source,

collaborating with the development of methods to obtain these variables using R, since it has shown promise in the area of remote sensing by performing the manipulation of spatial data.

KEYWORDS: Landscape ecology, Atlantic Forest, Remote Sensing, Territorial Management.

RESUMO: A ecologia da paisagem avalia a estrutura espacial da paisagem auxiliando na manutenção da biodiversidade, uma vez que é possível definir técnicas de recuperação e conservação de fragmentos florestais. A análise da estrutura da paisagem por meio de métricas permite conhecer a função dos fragmentos e suas possíveis respostas às mudanças causadas pela supressão da vegetação. Técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas em estudos de ecologia da paisagem, uma vez que têm a capacidade de caracterizar espacial e temporalmente a configuração e composição dos tipos de uso e cobertura da terra. Nesse contexto, o objetivo do estudo foi desenvolver um pacote em linguagem R para o cálculo de métricas de ecologia da paisagem para analisar a fragmentação florestal por meio de imagens de sensores remotos. Além disso, analisar a fragmentação florestal na microbacia hidrográfica do Arroio Grande localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, no bioma Mata Atlântica. O pacote, denominado *LandscapeMetrics*, é de fácil utilização, permitindo o cálculo de diversas métricas da ecologia da paisagem, possibilitando a análise espacial da composição da paisagem, de acordo com as necessidades dos usuários. Para o estudo de caso realizou-se a classificação supervisionada por meio do algoritmo *MaxVer* (Máxima Verossimilhança) a partir de imagens Landsat 5 e 8. Os resultados permitiram inferir que houve aumento da área coberta com floresta nativa passando de 2.676,15 ha em 2010 para 3.505,86 ha em 2019 havendo a diminuição do número de fragmentos. Desse modo, concluiu-se que o pacote vem a suprir a necessidade de rotinas computacionais que visem o cálculo de métricas de ecologia utilizando código aberto, colaborando com o desenvolvimento de métodos de obtenção destas variáveis utilizando o R, uma vez que se mostrou promissor na área do sensoriamento remoto realizando a manipulação de dados espaciais.

PALAVRAS-CHAVE: Ecologia da paisagem, Mata Atlântica, Sensoriamento Remoto, Gestão Territorial.

1 | INTRODUCTION

Landscape ecology has a great relevance for understanding the patterns and dynamics of biological diversity, providing conceptual and analytical bases for the study and management of biodiversity at various scales (HONRADO et al., 2012). Thus, it is understood as the study of the structure, in other words, the spatial relation between ecosystems, of the function, which refers to the interaction between the spatial elements, and the changes of heterogeneous areas, corresponding to the changes in the function and ecological mosaic structure (FORMAN and GODRON, 1986).

In this way, the ecology of the landscape allows the description, prediction and understanding of the landscape changes, thus, nowadays assuming a prominent place in the context of the applied sciences to planning, ordering, nature conservation and territorial management (HONRADO et al., 2012). In landscape ecology, the main object to be measured is the landscape structure, which provides characteristics of the constituent elements of

the landscape, and is commonly expressed through landscape metrics (SKOKANOVÁ and EREMIÁŠOVÁ, 2013).

The landscape ecology metrics consist of quantitative measures of landscape composition, which assess spatial structure and composition based on fragmentation analysis (SIQUEIRA et al., 2013). The use of metrics is of great importance, since they foster biodiversity maintenance and its analysis contributes to the definition of management techniques aiming at recovering or conserving forest remnants (JUVANHOL et al., 2011).

Mariota et al. (2015) reports that to monitor the landscape dynamics reliably and economically is a challenge, in a way to implement effective conservation strategies. Thus, remote sensing techniques have been used in landscape ecology studies (JUNG, 2016), since they have the capacity to characterize spatially and temporally the configuration and composition of land use and land cover types.

In order to assist on landscape studies, several softwares provide methods enabling landscape structure analyzes based on satellite sensor images and remote sensing techniques, since the properties of landscape analysis through mapping the use and coverage of the land is more accurate (ZARAGOZÍ et al., 2012). However, the authors emphasize that among the most important requirements of a software is to be open source, since they promote better interaction between other existing projects or future ones. Besides, it improves ecological research where there are financial restrictions (STEINIGER and HAY, 2009).

The R language has several advantages that make it a promising tool in the area of remote sensing and geoprocessing, since it is free, flexible in the type of data that can be analyzed, is compatible with all platforms and allows other users to change the programmed functions (MUENCHEN, 2011). Thus, the use of R solves problems of unavailability of specific packages for certain purposes through the collaboration of users, allowing them to create packages and make them available to the community, which makes it a complete and extremely powerful programming language (CASAJUS, 2013).

In this way, due to the diverse advantages that R language provides to users, it quickly became a universal language for data processing (MUENCHEN, 2011). Thus, by allowing the implementation of new packages and consequently covering different areas of knowledge, the R language becomes promising on analysis and manipulation of digital images from remote sensors. However, nowadays, R packages for the calculation of landscape ecology metrics are incipient needing implementation. Thus, the *LandscapeMetrics* package was developed to meet this need, which allow us to calculate certain landscape metrics in order to analyze forest fragmentation using a raster file as input parameter.

The needing for forest fragmentation analysis tools are due to the impacts that it causes on the environment. According to Matos et al. (2017) the process of fragmentation causes changes in forest structure and biodiversity. The main consequences of fragmentation include habitat loss, edge effects, species isolation, biodiversity decline, invasion of exotic

species, decreased pollination, and consequently disappearance of species (CALEGARI et al., 2010). Therefore, the present research aimed to ally the need for free tools on studies of landscape ecology and the incipience of packages written in R language for the calculation of landscape metrics, contributing to the R community through the incorporation of a specific package for spatial data analysis. Against this background, the objective of this study was to develop an R language package for the calculation of landscape ecology metrics to analyze forest fragmentation by means of remote sensors images. In addition, analyze forest fragmentation in the hydrographic microbasin of Arroio Grande located in the central region of the Rio Grande do Sul state, in the Atlantic Forest biome.

2 | MATERIAL AND METHODS

2.1 The *LandscapeMetrics* package

The *LandscapeMetrics* version 0.1.0 package was developed in R language in order to calculate certain landscape ecology metrics, assisting in research on forest fragmentation analysis. The first step consisted in choosing the metrics to be used, in order to avoid the use of redundant metrics, which encompassed different groups: metric area and density, edge, shape, core area and proximity, making it possible to use for different analyzes that users wish to perform. They were based on the methodology of McGarigal and Marks (1995). For the creation of the functions the development environment integrated was deployed with the language R version 3.4.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017). In order to verify if the result of each function was consistent with reality, it was used a known area allowing the calculation to be performed manually for later comparison to the results attained by the R functions.

The functions were developed so that they only need the raster file (containing the thematic classes to be used to calculate the metrics) as the input parameter, except for the edge density that still requires the total area study area in hectares. In Table 1 it is exposed the functions necessary to obtain each metric and also its input parameter. The functions correspond to the acronyms of each metric defined by McGarigal and Marks (1995).

Group	Function	Metric	Input	Output unity
Area and density	<i>CA</i>	Class Area	Raster	ha
	<i>NP</i>	Number of Patches	Raster	-
	<i>MPS</i>	Mean Patch Size	Raster	ha
	<i>MedPS</i>	Median Patch Size	Raster	ha
	<i>PSSD</i>	Patch Size Standard Deviation	Raster	ha
	<i>PSCov</i>	Patch Size Coefficient of Variation	Raster	%
Edge	<i>TE</i>	Total Edge	Raster	m
	<i>ED</i>	Edge Density	Raster and Area ⁽¹⁾	m/ha
Shape	<i>LSI</i>	Landscape Shape Index	Raster	-
	<i>MSI</i>	Mean Shape Index	Raster	-
	<i>AWMSI</i>	Area-Weighted Mean Shape Index	Raster	-
	<i>MPFD</i>	Mean Patch Fractal Dimension	Raster	-
	<i>AWMPFD</i>	Area-Weighted Mean Patch Fractal Dimension	Raster	-
	<i>MPAR</i>	Mean Perimeter-Area Ratio	Raster	m/ha
Core Area	<i>TCA</i>	Total Core Area ⁽²⁾	Raster	ha
	<i>NCA</i>	Number of Core Areas ⁽²⁾	Raster	-
	<i>MCA</i>	Mean Core Area ⁽²⁾	Raster	ha
	<i>TCAI</i>	Total Core Area Index ⁽²⁾	Raster	%
	<i>CASD</i>	Core Area Standard Deviation ⁽²⁾	Raster	ha
	<i>CACV</i>	Core Area Coefficient of Variation ⁽²⁾	Raster	%
Proxi -mity	<i>MNN</i>	Mean Nearest-Neighbor Distance	Raster	m

⁽¹⁾ Total area of study in hectares.

⁽²⁾ To obtain the metrics of central area you must enter the acronym for the desired metrics and still use the border value as follows: TCA_20, NCA_20, MCA_20, TCAI_20, CASD_20, CACV_20. The same should be used for the edges of 40, 60, 100, 140 and 200 m.

Table 1 - Landscape ecology metrics available in the *LandscapeMetrics* package and the respective function and input parameters to be used in the R

2.2 Example application

The purpose of the package is to calculate landscape ecology metrics from images by different sensor systems it is possible for the user to calculate the metrics according to their needs. The application example consisted of illustrating the ability of the *LandscapeMetrics* package to obtain landscape metrics in areas of Atlantic Forest biome allowing to analyze changes over a period.

2.2.1 Analysis of forest fragmentation in areas of Atlantic Forest biome

The example of application of the package was used the hydrographic microbasin of Arroio Grande located in the central region of the Rio Grande do Sul state, Brazil. The area is located in the Deciduous Seasonal Forest, Atlantic Forest biome, and is characterized by intense agricultural activity with high rates of deforestation, being highly fragmented (ROOS and FIGUEIRÓ, 2012). In addition, the remnants of Atlantic Forest are located in areas of extremely high priority for biodiversity conservation, as defined by the Ministry of the Environment (MMA, 2002). In this way the results may help in the territorial planning of the area and demonstrate the ability of the *LandscapeMetrics* package to calculate landscape ecology metrics from orbital images.

For the temporal analysis of the fragmentation of Atlantic Forest remnants, one TM (Thematic Mapper – Landsat 5) sensor image used, dated 02/18/2010, and one OLI (Operational Land Imager – Landsat 8) sensor image, dated 01/26/2019, both with spatial resolution of 30 m and available free of charge by the USGS (United States Geological Survey). Native forest areas were supervised classification using the “pixel-to-pixel” by means of the Maximum Likelihood (MLE) algorithm. After the mapping of the forest fragments, the raster file was imported into the R software to obtain the landscape ecology metrics.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Installation the *LandscapeMetrics*

The package is available in the GitHub repository (<github.com/LandscapeMetrics>) and you can download and install it from the source site, you need the devtools package and use the following commands:

```
> library("devtools")
> devtools::install_github("LandscapeMetrics/LandscapeMetrics")
```

3.2 Examples of using the package

The functions were developed so that they only need the raster file (containing the thematic classes to be used to calculate the metrics) as the input parameter, except for the edge density that still requires the total area study area in hectares. Thus, the functions implemented in R language have been developed to make the package easy to use. At first it is necessary to import the image containing the thematic class where it leads to the results desired and must be proceeded as follows:

```
> library(raster)
> raster <- raster("Fragments.tif")
```

Where “Fragments.tif” corresponds to the image nomenclature in format “.tif”, it contains fragments of native forest. In this way, with the loaded image it is possible to obtain the landscape metrics. Thus, typing the acronym corresponds to the metric that is desired and adding as input parameter the matrix file is possible to obtain the result of it. As an example, to calculate the number of patches (NP) the following command must be used:

```
> NP(raster)
[1] 132
```

Where the resulting value shows us the total number of patches in the study area. To obtain the mean patch size (MPS), proceed as follows:

```
> MPS(raster)
[1] 20.27
```

Where the value obtained returns the average size of the fragments in hectares contained in the area. In the same way, we must proceed to obtain the result for the mean shape index (MSI):

```
> MSI(raster)
[1] 1.54
```

Another example exposed is to obtain the number of central areas when 20 meters of edge is subtracted. To do so, it must be performed the command “NCA_20”, as explained below:

```
> NCA_20(raster)
[1] 139
```

Thus, for the central area metrics, the corresponding acronyms of each metric should be used, as well as the number for the edge to be used (20, 40, 60, 100, 140 and 200 m) as previously described. Another example exposed is to obtain the mean nearest-neighbor distance (MNN), which should be performed as follows:

```
> MNN(raster)
[1] 150.98
```

The MNN result is given in meters. The calculation of the edge density (ED) differs from the other metrics because it needs to inform the area of the study landscape in

hectares, as the example shows:

```
> ED(raster,41460.27)
[1] 39.47
```

Thus, it is noted that after typing the acronym for metric, it has to be written the name of the main file, in other words, the total area of study, since this metric represents the amount of edge in function of the landscape area being analyzed. The others metrics that were not described should follow according to Table 1.

3.3 Analysis of forest fragmentation in areas of Atlantic Forest biome

With the supervised classification of images, TM/Landsat 5 and OLI/Landsat 8, we obtained the mapping of forest fragments in the study area (Figure 1). The results of the metrics of landscape ecology are shown in Tables 2 and 3.

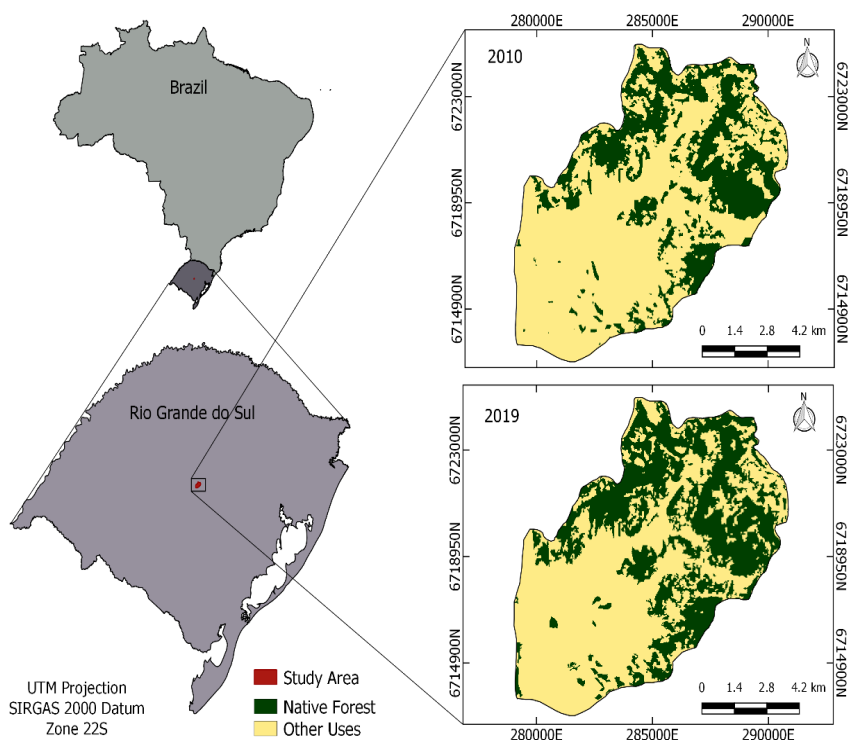


Figure 1 - Mapping of forest fragments in the hydrographic microbasin of Arroio Grande, for the years 2010 and 2019, located in the Rio Grande do Sul State, Brazil

According to the results obtained, it was noticed that there was an increase in the areas covered by forest remnants of the Atlantic Forest which were 2,676.15 ha in 2010 and 3,505.86 ha in 2019. Being that many of the fragments were united due to the expansion of the forest area so the number of fragments (NP) decreased to 74 in 2019, while in 2010 they numbered 132.

In the year 2019 the central area of the fragments increased in relation to the year 2010 fact related to the expansion of forest areas in that year. However, it was possible to notice that most of the fragments are of small sizes, since as the border distance was increased, there was a decrease in the area (TCA) and of the number of forest fragments (NCA). Ribeiro et al. (2009) when analyzing the Atlantic Forest as a whole observed that almost half of this one is under effect of edge inferior to 100 m.

Metrics	2010	2019
CA (ha)	2,676.15	3,505.86
NP	132	74
MPS (ha)	20.27	47.38
MedPS (ha)	1.21	2.20
PSSD (ha)	151.50	284.40
PSCov (%)	747.26	600.30
LSI	16.89	18.51
MSI	1.54	1.84
AWMSI	6.97	10.22
MPAR (m.ha⁻¹)	576.91	536.36
TE (m)	349,740.00	438,720.00
ED (m.ha⁻¹)	39.47	49.51
MNN (m)	150.98	136.83

Table 2 - Values of area and density, shape, border and proximity metrics obtained for the forest fragments in the hydrographic microbasin of Arroio Grande, Rio Grande do Sul State, Brazil

Distance of Edge (m)	2010					
	TCA (ha)	NCA	MCA (ha)	TCAI (%)	CASD (ha)	CACV (%)
20	1,757.25	139	12.64	65.66	77.50	613.05
40	1,738.71	138	12.60	64.97	77.08	611.80
60	1,163.34	86	13.53	43.47	64.23	474.84
100	812.61	40	20.31	30.36	73.08	359.73
140	393.30	22	17.88	14.70	39.35	220.14
200	193.41	14	13.81	7.23	34.50	249.74

	2019					
20	2,419.47	140	17.28	69.01	144.88	838.32
40	2,327.49	127	18.33	66.39	145.56	794.24
60	1,565.28	101	15.50	44.65	73.99	477.42
100	1,083.51	55	19.70	30.90	61.21	310.73
140	521.37	28	18.62	14.87	39.74	213.43
200	222.57	22	10.12	6.35	15.57	153.91

Table 3 - Central area metric values obtained for the forest fragments in the hydrographic microbasin of Arroio Grande, Rio Grande do Sul State, Brazil

Analyzing the central area between the years of study it was noticed that with the increase of the edge distance there was an increase in the number of fragments. Calegari et al. (2010) when analyzing time series in areas of the Atlantic Forest biome applying 35 m edge observed the same. This fact is related to the greater irregularity in the shape of the fragments in 2019 indicated by the MSI metric that increased from 2010 (1.54) to 2019 (1.84).

Finally, it should be noted that the *LandscapeMetrics* package can be used to calculate forest fragment metrics as well as other land use and land cover classes as required by the user. However, these created metrics are used in several forest surveys (CALEGARI et al.; 2010; JUVANHOL et al., 2011; PIROVANI et al., 2014). Aiming to analyze forest fragmentation, the metrics available in the package encompass different groups that make it possible to explore the degree of fragmentation of a given region allowing the study of conservation strategies in order to minimize the consequences of the degradation of native areas.

In this way, the package can help in the territorial management, allowing evaluating the appropriate use of certain areas in order to avoid suppression of forest fragments, aiming to preserve native forest areas. Since, through the mapping of land use and land cover, it is possible to seek ecological knowledge about the forest fragments, allowing a correct environmental management, assisting in the forest management, being possible to diagnose the existing problems and possible changes necessary (CALEGARI et al., 2010).

4 | FUTURE DEVELOPMENTS AND CONCLUSIONS

The *LandscapeMetrics* package, developed in R language, is easy to use, allowing you to calculate several landscape ecology metrics. With this package, is possible to analyze the composition of the landscape spatially, according to the needs of the users. The package was developed with the intention of simplifying the metrics since you only need the raster file

containing the forest fragments. Thus, the package addresses the need for computational routines that aim at the calculation of metrics using open source, collaborating with the development of methods to obtain these variables using R.

As further work, new landscape ecology metrics will be implemented in the *LandscapeMetrics* package in order to reach a larger audience with different needs, since in the current version there are few implemented functions when compared to the totality existing in the literature. In addition, the functions that calculate the central area metrics will be adjusted allowing the user to define the distance they want instead of having specific borders as happen in this present version. So that will allow greater flexibility in the use of these metrics.

The *LandscapeMetrics* package can be used to calculate forest fragment metrics as well as other land use and land cover classes as required by the user. Aiming to analyze forest fragmentation, the metrics available in the package make it possible to explore the degree of fragmentation of a given region allowing the study of conservation strategies in order to minimize the consequences of the degradation of native areas. In the study area it was noticed that there was an increase in the areas covered by forest remnants of the Atlantic Forest, with the decrease in the number of fragments.

In this way, the package can help in the territorial management, allowing evaluating the appropriate use of certain areas in order to avoid suppression of forest fragments, aiming to preserve native forest areas. Although the focus of the manuscript was using images TM/Landsat 5 and OLI/Landsat 8, the package is designed to use any satellite image, thus it is expected that the same will be used for the most diverse studies of landscape ecology.

ACKNOWLEDGMENT

This study was financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

REFERENCES

- CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M.; SILVA, E.; BUSATO, L. C. Dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 871-880, 2010.
- CASAJUS, N. **Analyses spatiales sous R**. Canadá: Université du Québec à Rimouski, Département de Biologie, Chimie et Géographie. Available in: https://qcb.ca/wiki/_media/gisonr.pdf. Accessed in: 20 nov. 2019.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York, NY: John Willy e Sons, 1986. 620p.
- HONRADO, J.; GONÇALVES, J.; LOMBA, A.; VICENTE, J. Ecologia da paisagem e biodiversidade: da investigação à gestão e à conservação. **Revista Ecologia**, v. 5, p. 36-51, 2012.

- JUNG, M. LecoS - A python plugin for automated landscape ecology analysis. **Ecological Informatics**, v. 31, p. 18-21, 2016.
- JUVANHOL, R. S.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R.; PIROVANI, D. B.; LOUZADA, F. L. R. O.; DIAS, H. M.; TEBALDI, A. L. C. Análise espacial de fragmentos florestais: caso dos parques estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 14, n. 4, p. 353-364, 2011.
- MARIOTA, P.; CAFARELLI, B.; DIDHAM, R. K.; LOVERGINE, F. P.; LUCAS, R. M.; NEGENDRA, H.; ROCCHINI, D.; TARANTINO, C. Challenges and opportunities in harnessing satellite remote-sensing for biodiversity monitoring. **Ecological Informatics**, v. 30, p. 207-214, 2015.
- MATOS, F. A. R.; MAGNAGO, L. F. S.; GASTAUER, M.; CARREIRAS, J. M. B.; SIMONELLI, M.; MEIRA-NETO, J. A. A.; EDWARDS, D. P. Effects of landscape configuration and composition on phylogenetic diversity of trees in a highly fragmented tropical forest. **Journal of Ecological**, v. 105, p. 265-276, 2017.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **Fragstats**: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: USDA Forest Service. 1995. Available in: <https://fs.usda.gov/treesearch/pubs/3064>. Accessed in: 05 ago. 2019.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Biodiversidade brasileira**: Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404 p.
- MUENCHEN, R. A. **R for SAS and SPSS Users** New York, NY: Springer, 2011. 714 p.
- PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. R.; CECÍLIO, R. A.; GLERIANI, J. M.; MARTINS, S. V. Análise especial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 271-281, 2014.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2017. Available in: <https://r-project.org>. Accessed in: 15 jan. 2017.
- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed: Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.
- ROOS, A.; FIGUEIRÓ, A. S. Interpretando a transformação da paisagem no município de Agudo (RS) a partir da história ambiental. **Revista Geonordeste**, v. 3, n. 4, p. 1032-1044, 2012.
- SIQUEIRA, M. N.; CASTRO, S. S.; FARIA, K. M. S. Geografia e ecologia da paisagem: pontos para discussão. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 3, p. 557-566, 2013.
- STEINIGER, S.; HAY, G. J. Free and open source geographic information tools for landscape ecology. **Ecological Informatics**, v. 4, p. 183-195, 2009.
- SKOKANOVÁ, H.; EREMIÁŠOVÁ, R. Landscape functionality in protected and unprotected areas: Case studies from the Czech Republic. **Ecological Informatics**, v. 14, p. 71-74, 2013.
- ZARAGOZÍ, B.; BELDA, A.; LINARES, J.; MARTÍNEZ-PÉREZ, J. E.; NAVARRO, J. T.; ESPARZA, J. A free and open source programming library for landscape metrics calculations. **Environmental Modelling & Software**, v. 31, p. 131-141, 2012.

SOBRE A ORGANIZADORA

CRISTINA ALEDI FELSEMBURGH - Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2003), obteve seu mestrado em Ciências de Florestas Tropicais pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (2006) e Doutorado em Ecologia Aplicada pela Universidade de São Paulo (2009). Pós-Doutorado na Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Divisão de Funcionamento de Ecossistemas Tropicais (2016). Atualmente a autora tem se dedicado a projetos voltados à área de Ecologia Aplicada. Contato: crisalefel@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

Amostragem 84, 120, 122, 123, 124, 127, 128, 129, 132, 134, 136, 137, 138, 139

Araucária 120, 132, 133, 140

B

Bactéria 51, 54, 59

Biodiversidade 76, 104, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 161, 171, 182, 191, 192

Biomassa 8, 9, 12, 13, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 138, 139, 141

Biometria 20, 25

Bosque natural 106

C

Caatinga 2, 6, 9, 24, 25, 75, 76, 77, 78, 89, 90, 91, 92, 93, 133

Clone 8, 9, 12, 13, 154

Crescimento 1, 3, 4, 6, 9, 11, 13, 15, 26, 46, 52, 54, 55, 56, 57, 104, 105, 134, 139, 162, 163

D

Densidade 1, 4, 7, 9, 26, 31, 34, 41, 42, 43, 45, 46, 76, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 88, 89, 90, 91, 132, 134, 149, 150, 151, 152, 154, 161

E

Ecologia da paisagem 182, 191, 192

Ecossistema 130, 133, 134, 143

Espaçamento 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 31

Estrutura horizontal 76, 79, 82

Estrutura vertical 80, 85

F

Fisiologia 14, 20, 21

Fitossociologia 76, 92

Floresta 1, 6, 7, 9, 13, 24, 76, 89, 91, 92, 93, 104, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 148, 161, 182, 192

Floresta amazônica 142, 143, 148

Floresta ombrófila mista 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133,

134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141

G

Geadas 31, 64

Genética 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 40, 41, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 62, 64

Germinação 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 23, 24, 25, 89, 90, 134, 154

Gestão territorial 182

H

Hidrologia florestal 162

M

Madeira 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 21, 34, 46, 52, 55, 78, 89, 132, 134, 144, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 160, 161

Manejo de bacias hidrográficas 162

Mata atlântica 93, 121, 133, 182

Meio ambiente 6, 12, 13, 75, 76, 92, 93, 142, 145, 146, 166, 170, 192

Melhoramento genético 6, 27, 28, 47, 64

Método botanal 120, 122, 123, 124, 125, 127, 131, 132, 135, 141

Mortalidade 28

Mudas 20, 21, 51, 52, 53, 57, 169

P

Plantio 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 53

Plântulas 16, 18, 23

Polimorfismo 64

Política florestal 142

Proteção florestal 52

R

Recursos hídricos 6, 12, 92, 93, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179

Regeneração 21, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93

S

Sementes 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 30, 89, 90, 154

Sensoriamento remoto 75, 182

Serapilheira 6, 120, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 134

Silvicultura 6

T

Tecnologia da madeira 151

Conceitos e Conhecimentos de Métodos e Técnicas de Pesquisa Científica em Engenharia Florestal

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 


www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021

Conceitos e Conhecimentos de Métodos e Técnicas de Pesquisa Científica em Engenharia Florestal

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021