

ISSN Online 2178-5031

Revista do

INSTITUTO FLORESTAL

v.33 n. 2 dez. 2021

Revista do Instituto Florestal

v. 33 n. 2 p. 112 - 218 dez. 2021

GOVERNADOR DO ESTADO

João Doria

SECRETÁRIO DE INFRAESTRUTURA E DO MEIO AMBIENTE

Marcos Penido

SUBSECRETÁRIO DO MEIO AMBIENTE

Eduardo Trani

COORDENADOR DO INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS

Marcelo Gomes Sodré



ISSN Online 2178-5031

Revista do

INSTITUTO FLORESTAL

v. 33 n. 2 p. 112 - 218 dez. 2021

REVISTA DO INSTITUTO FLORESTAL

São Paulo, Instituto Florestal.

1989, 1(1-2)	2000, 12(1-2)	2011, 23(1-2)
1990, 2(1-2)	2001, 13(1-2)	2012, 24(1-2)
1991, 3(1-2)	2002, 14(1-2)	2013, 25(1-2)
1992, 4	2003, 15(1-2)	2014, 26(1-2)
1993, 5(1-2)	2004, 16(1-2)	2015, 27(1-2)
1994, 6	2005, 17(1-2)	2016, 28(1-2)
1995, 7(1-2)	2006, 18	2017, 29(1-2)
1996, 8(1-2)	2007, 19(1-2)	2018, 30(1-2)
1997, 9(1-2)	2008, 20(1-2)	2019, 31(1-2)
1998, 10(1-2)	2009, 21(1-2)	2020, 32(1-2)
1999, 11(1-2)	2010, 22(1-2)	2021, 33(1)

São Paulo, Instituto de Pesquisas Ambientais.

2021, 33(2)

A Revista do Instituto Florestal é filiada à Associação Brasileira de Editores Científicos – ABEC.

Fontes de indexação

- Academic Journal Database
- International System of Agricultural Science and Technology – AGRIS
- Directory of Open Access Journal – DOAJ
- Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de America Latina, el Caribe, España y Portugal – Latindex
- Open Access Library – OALib
- Directory of Open Access Scholarly Resources – ROAD
- Sumários de Revistas Brasileiras

Instituto de Pesquisas Ambientais

Rua do Horto, 931

Cep: 02377-000 – São Paulo – SP

Telefone/ Fax: (11) 2231-8555 – ramal: 2105

<http://www.iflorestal.sp.gov.br>

Email: comissaoeditorial@if.sp.gov.br

CORPO EDITORIAL/EDITORIAL BOARD

Frederico Alexandre Roccia Dal Pozzo Arzolla – **EDITOR-CHEFE/EDITOR-IN-CHIEF**

Eduardo Luiz Longui – **EDITOR-ASSISTENTE/ASSISTANT EDITOR**

Maurício Ranzini – **EDITOR-ASSISTENTE/ASSISTANT EDITOR**

EDITORES/EDITORS

Adriano Wagner Ballarin
FCA – UNESP – Botucatu

Gláucia Cortez Ramos de Paula
Instituto de Pesquisas Ambientais

Antonio Ludovico Beraldo
FEAGRI – UNICAMP

Humberto Gallo Júnior
Instituto de Pesquisas Ambientais

Carla Daniela Câmara
UTFPR – Medianeira

Paulo Eduardo Telles dos Santos
Embrapa Florestas

Claudio de Moura
Instituto de Pesquisas Ambientais

Daniela Fessel Bertani
Instituto de Pesquisas Ambientais

Roseli Buzanelli Torres
Instituto Agrônômico de Campinas (aposentada)

CONSELHO EDITORIAL/EDITORIAL COUNCIL

Alain Philippe Chautems – *Conservatoire et Jardin Botanique de la ville de Genève, Suíça*

Eduardo Salinas Chávez – *Universidad de la Habana, Cuba*

Fátima Conceição Márquez Piña-Rodrigues – *UFSCAR – Sorocaba*

George John Shepherd – *IB-UNICAMP*

Maria Margarida da Rocha Fiuza de Melo – *Instituto de Botânica*

Miguel Trefaut Urbano Rodrigues – *IB-USP*

Robin Chazdon – *The University of Connecticut, EUA*

Sueli Angelo Furlan – *FFLCH-USP*

EDITORIAÇÃO GRÁFICA DOS ARTIGOS

ARTICLES GRAPHIC EDITING

Claudio de Moura
Eduardo Luiz Longui
Frederico A.R.D.P. Arzolla
Maurício Ranzini

EDITORIAÇÃO GRÁFICA CAPA E PÁGINAS INICIAIS

COVER AND FIRST PAGES GRAPHIC EDITING

Luisa Sadeck dos Santos

DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

SCIENTIFIC DIVULGATION

Paulo Andreeto de Muzio

CRIAÇÃO DA CAPA

COVER ART

Leni Meire Pereira Ribeiro Lima
Regiane Stella Guzzon

BANCO DE DADOS

DATABASE

Edilson Silva

SECRETARIA

SECRETARIAT

Regina Maria Lopes

ANALISTAS/REFEREES

Alexsander Zamorano Antunes
Instituto de Pesquisas Ambientais

Matheus Peres Chagas
Universidade Federal de Goiás

Antonio Nascim Kalil Filho
Embrapa Florestas

Ricardo Gomes César
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Cassiana Alves Ferreira
Universidade Federal de Lavras

Ricardo Marques Barreiros
*Universidade Estadual Paulista Julio de
Mesquita Filho*

Israel Luiz de Lima
Instituto de Pesquisas Ambientais

José Mauro Santana da Silva
Universidade Federal de São Carlos

Sidinei Rodrigues dos Santos
Universidade Federal do Pampa

Marcio Port Carvalho
Instituto de Pesquisas Ambientais

Silvana Nisgoski
Universidade Federal do Paraná

Maria Teresa Zugliani Toniato
Instituto de Pesquisas Ambientais

Valderes Aparecida de Sousa
Embrapa Florestas

SUMÁRIO/CONTENTS

ARTIGOS CIENTÍFICOS/SCIENTIFIC ARTICLES

As anatomical features of the xylem could influence wound healing process? Como as características anatômicas do xilema podem influenciar no processo de cura de ferimentos em árvores? Diego ROMEIRO; Camila Moura SANTOS; Luís Alberto BUCCI; Eduardo Luiz LONGUI	119 - 138
Wood evaluation of <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell. and <i>Eucalyptus tereticornis</i> Smith as potential for pulp and paper production. Avaliação da madeira de <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell. e <i>Eucalyptus tereticornis</i> Smith como potencial para produção de polpa e papel. Erick Phelipe AMORIM; João Roberto MENCHELLI; Caio Henrique SANTOS; Miguel Luiz Menezes FREITAS; Teresa Cristina Tarle PISSARRA; Simone da Graça Pinto VARANDAS; Maria Emília Calvão Moreira da SILVA; Marcelo ZANATA; Eduardo Luiz LONGUI	139 - 149
Variações longitudinais nas propriedades físicas da madeira de <i>Mimosa tenuiflora</i> . Longitudinal variation in the physical properties of <i>Mimosa tenuiflora</i> wood. Sara Sebastiana NOGUEIRA; Vinicius Gomes de CASTRO.....	150 - 155
Linter reciclado de algodão: alternativa sustentável para a produção de celulose e papel. Linter recycled cotton: sustainable alternative for the Pulp and paper production. Fabricio Junki Blanco KUMABE; Cláudio Angeli SANSÍGOLO; Isabel HOMCZINSKI.....	156 - 163
Uso de lodo de esgoto compostado e diferentes lâminas de água para a produção de mudas de <i>Erythrina speciosa</i> Andrews. Use of composed sewage sludge and different water slides for the production of <i>Erythrina speciosa</i> Andrews seedling. Izabella OLHER; Marcos Vinicius Bohrer Monteiro SIQUEIRA; Thomaz Figueiredo LOBO.....	164 - 171
Evaluation of <i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. All. progenies for different planting systems aiming at genetic conservation. Avaliação de progênes de <i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. All. em diferentes sistemas de plantio para fins de conservação genéticas. Francieli Alves Caldeira SAUL; Silvelise PUPIN; Luciane Missae SATO; Daniele Fernanda ZULIAN; Lara Comar RIVA; José CAMBUIM; Miguel Luiz Menezes FREITAS; Mario Luiz Teixeira de MORAES.....	172 - 181
Phytossociological assessment of a natural regeneration site in the southeast Atlantic Forest Biome. Avaliação fitossociológica de uma área de regeneração natural no sudeste do Bioma Mata Atlântica. Luís Gustavo de Paula SILVA; Klécia Gili MASSI; Marivaldo Garcia MARTINS; Tharcísio Pelosato NOGUEIRA; Jaurés Barbosa GUISSARD; Rodrigo Leite Marco SANTOS; Jordano Roma BUZATI; Rodrigo DAMETTO; João Marcos PAIVA; Ádila Hanna Justiniana RODRIGUES; Natan Rodrigues Ferreira de MELO E SILVA; Marco Aurélio Silva LEITE; Marcos Pellegrini COUTINHO; Dalmo Arantes de BARROS; Soraya Alvarenga BOTELHO.....	182 - 191
Terrestrial vertebrate fauna of Assis' State Forest: a Cerrado remnant in the state of São Paulo; Brazil. Vertebrados Terrestres da Floresta Estadual de Assis; um remanescente de Cerrado do Estado de São Paulo; Brasil. Paula Ribeiro PRIST; Douglas William CIRINO; Artur LUPINETTI; Ana Yoko Ykeuti MEIGA; Vinicius ALBERICI; Adriana CALABONI; Fabio MAFFEI; Marcelo MAGIOLI; Cesar MEDOLAGO; Thais PAGOTTO; Osnir GACON; Fernanda Delborgo ABRA; Katia Maria Paschoaletto Micchi de Barros FERRAZ.....	192-218

AS ANATOMICAL FEATURES OF THE XYLEM COULD INFLUENCE WOUND HEALING PROCESS IN TREES?¹

COMO AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DO XILEMA PODEM INFLUENCIAR NO PROCESSO DE CURA DE FERIMENTOS EM ÁRVORES?¹

Diego ROMEIRO ²; Camila Moura SANTOS ³; Luís Alberto BUCCI ³; Eduardo Luiz LONGUI ^{3,4}

ABSTRACT - Since trees are continually at risk of damage from animals and adverse environmental conditions, their survival depends on wound healing capacity. Common physiological responses to injury are cell proliferation, regeneration of the vascular tissue and the formation of compounds to protect cells near the wound. The wood anatomy is important for understanding the mechanisms of wound healing, and hence tree survival. We studied twelve tropical tree species to understand how some wood characteristics contribute to the wound healing process. We made the quantitative analysis of wood characteristics and evaluated the rate of wound healing two years after the collection of samples. Species with a large amount of axial parenchyma, presented the highest wound healing rate, proving that axial parenchyma cell supply material for greater cell proliferation, acting to close the wound much faster. Species that have axial parenchyma and produce a network between vessels and rays through living tissue, recover and provide passage of hormones that stimulate cell division of tissue near the wound, promoting growth of callus tissue all around the wound area, accelerating wound closure. On the other hand, the absence of axial parenchyma hinders such recovery by disabling affected regions; both above and below the injury, from producing sufficient wound healing tissue. The presence of longer fibers is an indicative of a larger amount of gibberellin that is involved in cell division during wound healing; therefore, species with longer fibers had faster wound healing.

Keywords: Axial parenchyma; Fibers, Translocation; Tropical trees; Wood anatomy.

RESUMO - As árvores estão continuamente em risco de danos por animais e condições ambientais adversas, sua sobrevivência depende da capacidade de cicatrização de feridas. Respostas fisiológicas comuns à lesão são a proliferação celular, regeneração do tecido vascular e formação de compostos para proteger as células próximas à ferida. Conhecer a anatomia da madeira é essencial para compreender os mecanismos de cicatrização de feridas e sobrevivência da árvore. Estudamos 12 espécies tropicais para entender como algumas características da madeira contribuem para o processo de cicatrização de feridas. Fizemos a análise quantitativa das características da madeira e avaliamos a taxa de cicatrização das feridas dois anos após a coleta das amostras. Espécies com grande quantidade de parênquima axial, apresentaram maior taxa de cicatrização da ferida, comprovando que células do parênquima axial fornecem material para maior proliferação celular, agindo mais rápido no fechamento da ferida. Espécies com parênquima axial arranjado de forma a produzir uma rede entre vasos e raios através do tecido vivo, se recuperam e fornecem a passagem de hormônios que estimulam a divisão celular do tecido próximo à ferida, promovendo o crescimento de tecido em toda a área da ferida, acelerando seu fechamento. A ausência de parênquima axial dificulta essa recuperação por incapacitar as regiões afetadas; acima e abaixo da lesão, de produzir tecido suficiente para cicatrização de feridas. A presença de fibras mais longas é indicativo de maior teor de giberelina, envolvida na divisão celular durante a cicatrização; portanto, espécies com fibras mais longas tiveram cicatrização mais rápida das feridas.

Palavras-chave: Parênquima axial; Fibras; Translocação; Árvores tropicais; Anatomia da madeira.

¹ Recebido para análise em 19.02.2021. Aceito para publicação em 09.06.2021.

² Instituto de Pesquisas Ambientais, Av. Miguel Estéfano 3687, 04301-902, Água Funda, São Paulo, SP, Brazil,

³ Instituto de Pesquisas Ambientais, Rua do Horto 931, -02377-000, Horto Florestal, São Paulo, SP, Brazil.

⁴ Autor para correspondência: Eduardo Luiz Longui – edulongiui@gmail.com

1 INTRODUCTION

Plants routinely exposed to adverse environmental factors can be easily wounded. Thus, mechanical processes that destroy cells and tissues may expose inner parts of the plant (Imaseki, 1985). Physiological responses to such injuries vary, however, the fundamental result is the regeneration of the affected tissue. Thus, the production of compounds to protect cells near the wound, cell proliferation, and regeneration of vascular tissues are common responses (Imaseki, 1985) closely related to wood anatomy (Aloni, 2007, 2010).

Stem anatomy has been largely studied for functional traits related to mechanical support, as well as storage and hydraulic conductivity linked to life history traits. Many studies have reported that drought-induced forest decline is a result of failure in water transport system in a large number of woody species (Choat et al., 2012). To recover hydraulic function interrupted by cavitation, the parenchyma cells play an important role by secreting solutes into the vessels that establish an osmotic gradient and thereby promote their recovery (Tyree et al., 1999; Zwieniecki and Holbrook, 2009; Brodersen et al., 2010). Parenchyma cells are also involved in the storage of water, sugar and mineral nutrients, regulation of transpiration (Borchert and Pockman, 2005) and others processes such as leaf-flushing (Chapotin et al., 2006). These features help woody species to avoid drought stress. Parenchymatous tissue promotes decay resistance by producing extractives (Schwarze, 2007) and avoiding the spread of pathogens once it is involved in formation of tyloses inside the vessels (Yadeta and Thomma, 2013).

These features are linked to tree's life history and are predictors of tree longevity. In forest ecology, the main causes of death in trees are exogenous disturbances and senescence (Toledo et al., 2013), associated with weather stress (Ostry et al., 2011). Many such exogenous disturbances result in wounds and large or deep wounds cause direct damage by inhibiting or altering the xylem and phloem transport (Neely, 1988), besides it also facilitates the invasion of opportunistic or pathogenic organisms (Neely, 1988; Ostry et al., 2011). Therefore, the objective of this study is to understand how remaining anatomical characteristics of xylem could influence the wound healing process, to reduce the healing time or distribution of callus production.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Sample selection

Five trees with more than 10 cm in trunk diameter were chosen for each of the twelve species studied. Samples from each tree were collected at breast height (DBH, 1.3 m from the ground) with a non-destructive technique using a bow saw, hammer and chisel. Samples were collected for analysis producing a wound with approximately 4 cm high, 12 cm wide and 1.5 cm deep. Samples of *Alchornea glandulosa* Poepp. & Endl., *Paubrasilia echinata* Lam., *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze, *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze, *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna, *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms, *Guazuma ulmifolia* Lam., *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos., *Inga sessilis* (Vell.) Mart., *Maclura tinctoria* (L.) D.Don ex Steud., and *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. were collected in the arboretum located at the Alberto Löfgren State Park, São Paulo, SP, Brazil (23°27'S – 46°38'W, elevation 814m, Figure 1). The number registration in the Forestry Institute Xylarium (SPSFw) and number of the individual in the arboretum were shown in Table 1, and forestry characteristics were measured and shown in Table 2.

Table 1. Species studied with the respective registration number in the Forestry Institute Xylarium (SPSFw) and number of the individual in the arboretum.

Tabela 1. Espécies estudadas com o respectivo número de registro na Xiloteca do Instituto Florestal (SPSFw) e número do indivíduo no plantio.

Species/Family	Nº of SPSFw	Nº arboretum
<i>Alchornea glandulosa</i>	5079	255
Poepp. & Endl.	5080	256
(Euphorbiaceae)	5081	304
	5082	361
	5083	402
<i>Paubrasilia echinata</i> Lam.	5084	194
(Fabaceae- Caesalpinoideae)	5085	217
	5086	297
	5087	368
	5088	455
<i>Cariniana legalis</i> (Mart.)	5089	21
Kuntze (Lecythidaceae)	5090	50
	5091	137
	5092	224
	5093	344
<i>Cariniana estrellensis</i>	5094	175
(Raddi) Kuntze	5095	240
(Lecythidaceae)	5096	269
	5097	436
	5098	449

to be continued
continua

continuation - Table 1
 continuação - Tabela 1

<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna (Malvaceae)	5099	190
	5100	268
	5101	299
	5102	326
	5103	407
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms (Phytolaccaceae)	5104	107
	5105	198
	5106	265
	5107	315
	5108	442
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. (Malvaceae)	5109	68
	5110	98
	5111	99
	5112	130
	5113	182
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos. (Bignoniaceae)	5114	225
	5115	253
	5116	305
	5117	325
	5118	390
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos. (Bignoniaceae)	5119	16
	5120	23
	5121	154
	5122	262
	5123	434
<i>Inga sessilis</i> (Vell.) Mart. (Fabaceae-Mimosoideae)	5124	232
	5125	334
	5126	371
	5127	374
	5128	408
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud. (Moraceae)	5129	6
	5130	40
	5131	71
	5132	151
	5133	293
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. (Fabaceae-Caesalpinoideae)	5134	128
	5135	252
	5136	369
	5137	379
	5138	450

2.2 Anatomical analyses

In order to obtain quantitative data of the woods, cross sections of each sample were made using a sliding microtome. Transverse, tangential and radial longitudinal sections of 15-20µm thickness were stained with 1% aqueous solution of safranin; sections were mounted in glycerin (50 %) and imaged using a digital camera coupled to an Olympus CX31 microscope. Vessel and fiber characteristics were determined after maceration for 8h at 55 to 60 °C following Kraus and Arduin (1997) and staining with ethanolic solution of safranin (1%).

Anatomical measurements followed the IAWA Committee (1989) recommendations. Vessel

diameter, vessel frequency, vessel element length, diameter of intervessel pits and vessel ray pits were measured. We also measured height, width and ray frequency and length, diameter and wall thickness of fibers. Axial parenchyma proportion was determined by subtracting the total area of axial parenchyma from the entire imaged cross-sectional area.



Figure 1. a. Collection area located at Alberto Löfgren State Park - PEAL. b. General view of “Arboretum 500 Years” commemorating the 500th anniversary of the discovery of Brazil.

Figura 1. a. Área de coleta localizada no Parque Estadual Alberto Löfgren - PEAL. b. Vista geral do “Arboreto 500 anos” em comemoração aos 500 anos do descobrimento do Brasil.

2.3 Wood density

Wood density was determined on samples from diameter at breast height by the ratio between the oven-dry mass and the green volume of samples (Glass and Zelinka, 2010).

2.4 Wound healing

Wound healing progress was monitored for two years and imaged for measurements at the end of this period. The images were measured on Image Pro Plus 6.0 and wound healing area proportion was determined by subtracting the total area without healing tissue from the entire wounded area.

Table 2. Mean forestry characteristics of studied species.

Tabela 2. Características florestais médias das espécies estudadas.

Species	Height (m)	DBH (cm)
<i>Alchornea glandulosa</i>	11.5 (2.9)	34.7 (5.1)
<i>Paubrasilia echinata</i>	11.7 (2.7)	12.7 (2.3)
<i>Cariniana estrellensis</i>	16.7 (3.8)	26.7 (6.5)
<i>Cariniana legalis</i>	15.0 (3.3)	21.6 (2.1)
<i>Ceiba speciosa</i>	13.0 (4.0)	30.1 (5.7)
<i>Gallesia integrifolia</i>	16.2 (5.5)	28.8 (11.4)
<i>Guazuma ulmifolia</i>	17.2 (2.4)	33.4 (4.2)
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	9.5 (2.2)	14.7 (8.6)
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	12.5 (1.4)	17.4 (4.2)
<i>Inga sessilis</i>	14.5 (4.1)	41.1 (6.3)
<i>Maclura tinctoria</i>	16.5 (0.5)	27.3 (5.4)
<i>Peltophorum dubium</i>	17.6 (3.7)	25.8 (8.1)

Standard deviations shown in parentheses. DBH = diameter at breast height (1.3 m from the ground).

Desvios padrão mostrados entre parênteses. DBH = diâmetro à altura do peito (1,3 m do solo).

2.5 Statistical analyses

Pearson correlation was used to show relationships between anatomical characteristics, wood density and wound healing proportion. Results with $p < 0.05$ were considered significant. We use a bidirectional stepwise elimination procedure to determine a final regression model for wound healing and wood characteristics. All variables were standardized before analysis. Statistical analyses were also performed using R 3.1.3 (R Core Team, 2015), package *vegan* (Oksanen et al., 2015), package *Rcmdr* (Fox, 2005) and package *scatterplot3d* (Ligges and Mächler, 2003).

Table 3. Qualitative description of studied species.

Tabela 3. Descrição qualitativa das espécies estudadas.

Species	Qualitative anatomical characteristics
<i>Alchornea glandulosa</i>	Axial parenchyma diffuse-in-aggregates; uniseriate rays; circular, alternate intervessel pits; low distinct growth rings.
<i>Paubrasilia echinata</i>	Axial parenchyma confluent in short sections; multiseriate, storied rays; polygonal, alternate, vested intervessel pit; growth rings boundaries distinct by axial parenchyma line.

to be continued
continua

continuation - Table 3

continuação - Tabela 3

<i>Cariniana estrellensis</i>	Axial parenchyma reticulate, multiseriate rays; alternate circular and / or polygonal intervessel pits; distinct growth rings and bounded by a fibrous zone.
<i>Cariniana legalis</i>	Axial parenchyma reticulate multiseriate rays; alternate polygonal intervessel pits; distinct growth rings and bounded by a fibrous zone.
<i>Ceiba speciosa</i>	Axial parenchyma diffuse-in-aggregates; multiseriate rays; circular, alternate intervessel pits; distinct growth rings and bounded by a fibrous zone.
<i>Gallesia integrifolia</i>	Axial parenchyma diffuse; phloem even alternated by conjunctive parenchyma tissue; multiseriate rays; circular, alternate intervessel pits; structurally, the vascular cylinder is composed by successive rings of secondary xylem and phloem.
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Axial parenchyma diffuse and / or diffuse in aggregates; multiseriate rays; circular, alternate intervessel pits; low distinct growth rings, bounded by a fibrous zone.
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	Axial parenchyma aliform confluent in long strands; ray width 1 to 2 cells, storied rays; circular, alternate intervessel pits; distinct growth rings delimited by parenchyma line and fibrous zone.
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Axial parenchyma aliform confluent; multiseriate, storied rays; circular, alternate and or opposite intervessel pits; distinct growth rings and bounded by a thin line of parenchyma and fibrous zone.
<i>Inga sessilis</i>	Axial parenchyma aliform confluent; ray width 1 to 2 cells; circular, alternate, vestured intervessel pits; distinct growth rings and bounded by a fibrous zone.
<i>Maclura tinctoria</i>	Axial parenchyma aliform with confluent linear extension; multiseriate rays; circular, alternate intervessel pits; distinct growth rings and bounded by a fibrous zone.
<i>Peltophorum dubium</i>	Axial parenchymal lozenge-aliform; ray width 1 to 2 cells; circular, alternate intervessel pits; distinct growth rings and bounded by a parenchyma line.

Use the information in this table to better understand the figures 4-10

Use as informações dessa tabela para melhor entendimento das figuras 4-10

Table 4. Quantitative anatomical features, mean values and (standard deviations).

Tabela 4. Características anatômicas quantitativas, valores médios e (desvios padrão).

Species	PP	VEL	FL	FWT	VD	VF	RH	RW	RF	IP	VRP
<i>Ag</i>	1.59 (0.3)	722.4 (154.0)	1351.0 (183.6)	5.6 (1.0)	214.2 (17.9)	4.6 (0.7)	1059.4 (105.9)	24.2 (1.5)	16.4 (0.9)	13.2 (2.2)	12.9 (1.1)
<i>Pe</i>	3.26 (1.1)	296.7 (46.5)	1068.5 (131.5)	6.2 (0.6)	90.0 (3.3)	19.2 (4.3)	242.5 (25.9)	26.0 (1.8)	9.5 (0.5)	4.5 (0.4)	3.5 (0.4)

to be continued
continua

continuation - Table 4
continuação - Tabela 4

<i>Ce</i>	7.65 (3.5)	454.1 (89.5)	1627.0 (209.6)	5.4 (0.6)	141.3 (9.0)	10.2 (3.2)	481.5 (32.0)	54.0 (4.9)	8.1 (0.6)	8.1 (0.5)	7.5 (0.5)
<i>Cl</i>	10.15 (2.5)	418.8 (119.8)	1627.2 (207.3)	4.7 (0.2)	90.2 (8.8)	10.7 (1.4)	351.3 (51.4)	38.0 (7.4)	8.1 (0.6)	8.0 (0.4)	6.4 (0.6)
<i>Cs</i>	18.70 (3.2)	390.6 (66.3)	2048.9 (276.0)	6.1 (0.9)	218.2 (18.3)	3.4 (0.8)	922.6 (72.1)	109.1 (34.5)	3.6 (0.4)	14.7 (2.0)	15.2 (0.8)
<i>Gi</i>	9.21 (2.8)	227.9 (52.1)	986.1 (155.7)	4.5 (0.8)	78.6 (22.0)	16.8 (2.1)	699.5 (91.4)	89.2 (91.4)	3.6 (0.3)	10.2 (1.3)	8.0 (1.2)
<i>Gu</i>	3.36 (1.5)	357.2 (50.0)	1440.3 (229.1)	5.6 (0.3)	115.4 (12.9)	12.9 (5.0)	566.9 (59.4)	74.9 (4.6)	6.4 (0.3)	5.1 (0.6)	4.3 (0.3)
<i>Hc</i>	10.62 (1.7)	243.5 (41.0)	1217.5 (143.7)	7.1 (1.4)	83.7 (2.8)	20.7 (3.1)	147.4 (11.0)	42.8 (1.5)	9.3 (0.4)	9.6 (2.5)	5.3 (0.5)
<i>Hh</i>	5.84 (3.4)	219.5 (25.5)	969.4 (161.5)	5.4 (0.5)	66.1 (5.6)	33.7 (5.4)	151.8 (20.0)	35.9 (5.2)	7.6 (0.6)	9.3 (1.4)	5.9 (0.9)
<i>Is</i>	6.78 (3.1)	409.2 (99.8)	1268.8 (184.4)	4.7 (0.5)	184.2 (23.9)	6.3 (2.1)	253.1 (25.5)	32.6 (4.8)	6.8 (0.5)	7.1 (0.6)	6.1 (0.9)
<i>Mt</i>	3.47 (1.5)	278.6 (61.2)	1057.9 (146.8)	4.3 (0.4)	148.4 (16.0)	6.9 (1.5)	272.5 (45.1)	35.5 (4.3)	6.4 (0.5)	7.0 (0.4)	8.0 (0.2)
<i>Pd</i>	5.70 (0.5)	410.0 (116.7)	1297.8 (213.2)	5.3 (0.7)	153.0 (12.5)	4.6 (0.7)	229.5 (26.2)	33.8 (4.9)	9.4 (0.8)	6.5 (0.4)	6.2 (0.7)

PP = parenchyma proportion (% per square millimeter) VEL = vessel element length (μm), FL = fiber length (μm), FWT = fiber wall thickness (μm), VD = vessel diameter (μm), VF = vessel frequency (vessels per square millimeter), RH = ray height (μm), RW = ray width (μm), RF = ray frequency (rays per millimeter), IP = intervessel pit (μm), VRP = vessel-ray pit (μm). *Ag* = *Alchornea glandulosa*, *Pe* = *Paubrasilia echinate*, *Ce* = *Cariniana estrellensis*, *Cl* = *Cariniana legalis*, *Ce* = *Ceiba speciosa*, *Gi* = *Gallesia integrifolia*, *Gu* = *Guazuma ulmifolia*, *Hc* = *Handroanthus chrysotrichus*, *Hh* = *Handroanthus heptaphyllus*, *Is* = *Inga sessilis*, *Mt* = *Maclura tinctoria* e *Pd* = *Peltophorum dubium*.

PP = proporção de parênquima (% por milímetro quadrado) VEL = comprimento do elemento de vaso (μm), FL = comprimento da fibra (μm), FWT = espessura da parede da fibra (μm), VD = diâmetro de vaso (μm), VF = frequência de vaso (vasos por milímetro quadrado), RH = altura do raio (μm), RW = largura do raio (μm), RF = frequência do raio (raios por milímetro), IP = pontuação intervacular (μm), VRP = pontuação raiovascular (μm). *Ag* = *Alchornea glandulosa*, *Pe* = *Paubrasilia echinate*, *Ce* = *Cariniana estrellensis*, *Cl* = *Cariniana legalis*, *Ce* = *Ceiba speciosa*, *Gi* = *Gallesia integrifolia*, *Gu* = *Guazuma ulmifolia*, *Hc* = *Handroanthus chrysotrichus*, *Hh* = *Handroanthus heptaphyllus*, *Is* = *Inga sessilis*, *Mt* = *Maclura tinctoria* e *Pd* = *Peltophorum dubium*.

Generally, species with high wood density showed slower wound healing rate, however, some species differ this result as observed in *Inga sessilis* (Figure 2). Species with a large amount of axial parenchyma showed a higher wound healing rate, this result was found in *Cariniana legalis*, *Ceiba speciosa* and *Handroanthus chrysotrichus* (Table 4). On the other hand, *Gallesia integrifolia* and

Guazuma ulmifolia also presented a high wound healing rate (Figure 2), but it was promoted by radial parenchyma cells (Table 4), resulting in a positive correlation between ray height, ray width, and wound healing (Table 5). These ratios confirm the importance of axial and radial parenchyma cells on the wound healing process. A negative correlation between ray frequency and wound healing rate was

found, it could be observed principally in *Alchornea glandulosa*, that has more than 10 rays per millimeter (Table 4). A positive relationship was established between fiber length and wound healing (Table 5), as observed in *Ceiba speciosa*, *Cariniana estrellensis* and *C. legalis* (Table 4). After correlation analysis, the tridirectional stepwise showed that parenchyma proportion and fiber length were the main predictors to determine the regression model for wound healing (Figure 3). Using partitioning variation was possible decompose the variation of wound healing model and determine the interaction between predictors.

Two patterns of wound healing were observed: one with formation of callus tissue all around the wound area (Figure 4, a and c) and another only on the sides of the wound (Figure 4, e). Using wood anatomy as a basis for comparison, it was observed that wound healing produces callus tissue around the entire wound when axial parenchyma cells provide a network between vessels and rays (Figure 4 b and d). This was observed most precisely in reticulate parenchyma in *Cariniana estrellensis* and *C. legalis* (Figure 5 a and d), confluent parenchyma in *Handroanthus chrysotrichus* (Figure 8, d) and *Inga sessilis* (Figure 9, d) or in specifically species that the network was produced with vasicentric parenchyma, large vessels and rays as observed in *Ceiba speciosa* (Figure 7, a). In contrast, when callus tissue was formed on the sides of wound, as in *Gallesia integrifolia* (Figure 7, d) and *Guazuma ulmifolia* (Figure 9, a), these network between vessels and rays are scarce, once apotracheal parenchyma founded in these two species is not associated with vessels and do not produce connection between vessel and rays.

Likewise, the increased width of vessel pits, as in *Ceiba speciosa*, benefits translocation between cells, thus intensifying cell proliferation which, in turn, results in a positive correlation between wound healing and both intervessel pits and ray vessel pits.

Wood anatomical characteristics are illustrated in figures 5 - 10 and wound healing in figure 11.

4 DISCUSSION

Species with high wood density have a higher construction cost and lower growth rate (Larjavaara and Muller-Landau, 2010). Thus, it is expected that species with high wood density have low rate of wound healing, while species with low wood density have high rate. However, this pattern was not found in all the studied species, as evidenced in *Inga sessilis* and *Peltophorum dubium*. This result shows that wood density is not the sole determinant of wound healing rate. Therefore, we focused on

parenchyma cells because they play an important role in wound healing and regeneration (Evert, 2006).

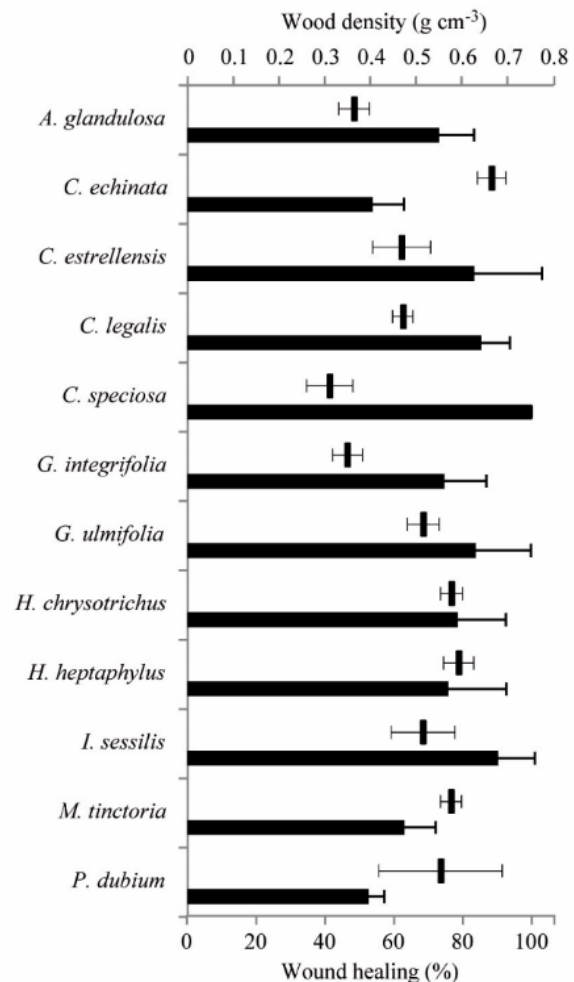


Figure 2. Average of the wound healing and wood density with their respective standard deviations of the studied species.

Figura 2. Média da cicatrização e densidade da madeira com seus respectivos desvios padrão das espécies estudadas.

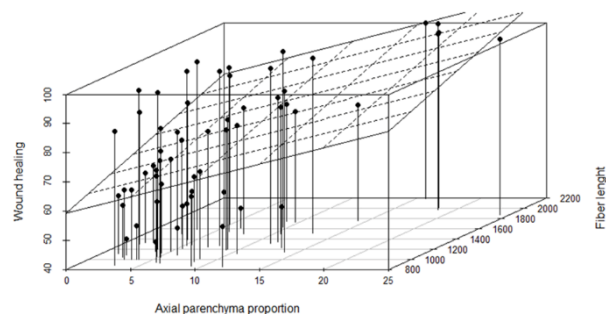


Figure 3. Correlations among wound healing, parenchyma proportion and fiber length.

Figura 3. Correlações entre a cicatrização de feridas, proporção de parênquima e comprimento das fibras.

Table 5. Correlation coefficients between anatomy characteristics with wound healing proportion.

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre as características anatômicas com a proporção de cicatrização da ferida.

Anatomy characteristics	Pearson correlation	P
Wood density	- 0.40	0.001
Axial parenchyma proportion	0.48	0.0001
Ray height	0.31	0.01
Ray width	0.42	0.0009
Ray frequency	- 0.30	0.01
Fiber length	0.47	0.0001
Fiber wall thickness	0.01	0.92
Intervessel pit diameter	0.41	0.001
Vessel-ray pit diameter	0.30	0.01
Vessel diameter	0.20	0.12
Vessel density	- 0.12	0.34
Vessel element length	0.11	0.37

The aggregation of axial parenchyma cells represents progressively more efficiency in mobilizing and storing photosynthates and translocating other compounds (Carlquist, 1975). Soluble carbohydrates, such as sucrose and glucose, induce gene expression and seem to interact with hormonal responses (Uggla et al., 2001), benefiting wound healing.

Ceiba speciosa with a large amount of axial parenchyma, presented the highest wound healing proportion, proving that axial parenchyma cells supply material for greater cell proliferation, acting to close the wound much faster.

However, Uggla et al. (2001) reported that the presence of carbohydrates is not the sole contributor to this process, but rather the capacity of tissues to use them. The efficiency of photosynthate translocation between axial and radial parenchyma systems depends on their massive contact with xylem vessels and cambial tissue (Carlquist, 1975, 2001). We noted that *Cariniana* species, *Ceiba speciosa*, *Handroanthus* species and *Inga sessilis* presented more that characteristics. Therefore, it can concluded that parenchyma also plays an important role in wound healing, its cellular transdifferentiation capacity promotes transformation of a parenchyma cell into a conduit

which maintain auxin signaling and vascular continuity (Fukuda, 1996; Aloni, 2013).

The amount of axial parenchyma also protects against wood decay through the process of compartmentalization, i.e., the ability to avoid the input of opportunistic pathogens (Arbellay et al., 2012; Morris et al., 2016) that could decrease cellular activity and, correspondingly, decrease the healing process. Hence, trees with good compartmentalization capacity present a faster wound healing rate (Haavik and Stephen, 2011). A large amount of parenchyma benefits tree species by the greater occurrence of parenchyma cells associated with vessels, allowing their obstruction in order to protect healthy tissue. This protection can occur by the formation of tyloses or some compounds (Schmitt and Liese, 1990, 1994) and by suberization in xylem tissues (Imaseki, 1985).

Even though cambial tissue post-injury may have been lost, it is parenchyma tissue that will start the healing process (Neely, 1988). In particular, callus will be formed by parenchyma cells originated from parenchyma tissue remnants or non-differentiated cells. This is the first tissue formed after injury (Stobbe, 2002; Pang et al., 2008). It is parenchyma tissue that has the capacity to regenerate, while other kinds of cells, such as vessels and fibers, have already differentiated and possess secondary walls (Fukuda, 1996). Fisher and Ewers (1989) found a significant relationship between parenchyma tissue and wound healing, i.e., a new xylem parenchyma that stimulates the formation of callus that quickly rejoins the exposed surface.

In this work, species with a high amount of axial parenchyma had faster production of callus tissue around the wound. The callus contains chemical compounds that act as barriers to prevent desiccation and protect tissue from pathogens (Haavik and Stephen, 2011). Arbellay et al. (2012) also affirm that the production of parenchyma around the wound, as a consequence of cambial injury, protects the living tissue.

It is not only axial parenchyma that has been shown to contribute to wound healing. In *Gallesia integrifolia* and *Guazuma ulmifolia*, the radial parenchyma also contributes to regeneration of cells; however, the height and width of the rays seems to be more relevant than ray frequency, as confirmed with *Alchornea glandulosa* which has uniseriate rays with high frequency, but with a low wound healing rate, as in *G. integrifolia* and *G. ulmifolia*. The composition of the rays is also important in xylem-phloem translocation. When the rays are composed by procumbent cells, translocation is more efficient (Carlquist, 1975), in turn improving wound healing.

The distribution of parenchyma tissue can be related to the pattern of wood healing. Specifically, the species that have axial parenchyma and produce a network between the vessels and rays through living tissue recover and provide passage of hormones that stimulate cell division of tissue near the wound. This, in turn, promotes the growth of callus tissue all around the wound area, accelerating wound closure. This phenomenon could be seen in *C. estrellensis*, *C. legalis*, *H. crysotrichus* and *I. sessilis*. On the other hand, the absence of axial parenchyma hinders such recovery by disabling affected regions, both above and below the injury, from producing sufficient wound healing tissue. In *G. integrifolia* and *G. ulmifolia*, callus tissue was formed only at the sides of the wound. In this case, the absence of the network between vessels and ray cells allows air to enter the xylem vessels through the wound, causing embolism by the Soil-Plant-Atmosphere Continuum (SPAC) pathway (McCulloh et al., 2004). Cavitation occurs more intensively above the wound, blocking hormone influx and redirecting these hormones to the wound sides. Below the wound, cytokinins will induce the regeneration of vessels and sieve tubes, as well as promote the production of callus from parenchyma cells around the wound (Aloni et al., 1990; Baum et al., 1991).

The production of parenchyma cells is related to hormonal activity. In particular, it is well known that gibberellin acts in synergism with auxin (Israelsson et al., 2005; Aloni, 2013). Gibberellin promotes cambial cell division (Dayan et al. 2012), while auxin promotes cell differentiation. However, in the absence of auxin, gibberellin will promote only cellular division (Wareing, 1958). Gibberellin has an important role in the induction of the wound healing process (Borchert et al., 1974). According to the intensity of the injury, it will transform mature tissue into juvenile tissue again (Taiz and Zeiger, 2006) and promote cellular division. In large concentrations, gibberellin will greatly enhance tissue growth (Bradley and Crane, 1957).

Apart from parenchyma, other anatomical characteristics related to wound healing rate are the intervessel pits and vessel ray pits. Pit size probably helps in the distribution of hormones to tissues around the wound, profiting by the increase in the process of cell division, as noted in *Ceiba speciosa*.

Fiber length which is controlled by gibberellin (Dayan et al., 2012) was also found to be related to wound healing rate as observed in *Ceiba speciosa*, *Cariniana estrellensis* and *C. legalis*, confirming the action of gibberellin on induction of wound healing. This relationship can also be observed in the interaction between proportion of parenchyma and fiber length founded in partial variation analyses. The presence of longer fibers is indicative of a larger amount of gibberellin (Dayan et al., 2012; Aloni,

2013). Aloni (2007) reported that increasing concentration of gibberellin produces fibers of greater length. Eriksson et al. (2000) even affirmed the existence of a specific gene that regulates the production of gibberellin so that the overexpression of this key regulatory gene results in improving the growth rate and biomass production with more numerous and longer xylem fibers. Therefore, by analyzing the phenotype related to fiber length, we can infer the genetic information of each species in relation to the amount of gibberellin produced in tissues. Asahina et al. (2002) showed that gibberellin production is involved in cell division during wound healing in the cortex of cucumber and tomato cut hypocotyls. Gibberellin is also utilized for wound healing in animals because it stimulates the activity and proliferation of fibroblasts, thus increasing collagen synthesis (Sharif Moghaddasi and Kumar, 2011). This proves that cellular mechanisms that allow regeneration of tissues after damage might be shared by animals and plants (Reid and Ross, 2011).

5 CONCLUSIONS

Species longevity is related to their recovery ability against many kinds of injuries. This study showed the importance of axial and radial xylem parenchyma in wound healing, which is totally related to wound healing rate of species. The type and abundance of parenchyma tissue contribute to success in the wound healing process because it is responsible for supplying the production of new cells, maintaining vascular flow through transdifferentiation, and protecting against invasion of pathogenic organisms often responsible for wood decay. We can infer based on analyzing the phenotype related to fiber length that gibberellin has an important role in wound healing since it is a major signal responsible for stimulation of parenchyma proliferation after injury.

Based on the findings of this work we can conclude that the wood anatomy of tree functions as a fingerprint of metabolism and physiology, which can help a lot in understanding different mechanisms in tree life as in this case wound healing.

6 ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financed, in part, by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brazil (CAPES) – Finance-Code 001. The authors thank Sônia Regina Campião for laboratory support. Researcher Edenise Segala Alves (Instituto de Botânica) for manuscript contribution. Camila Moura Santos was supported by a research scholarship (145840/2012-3) from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

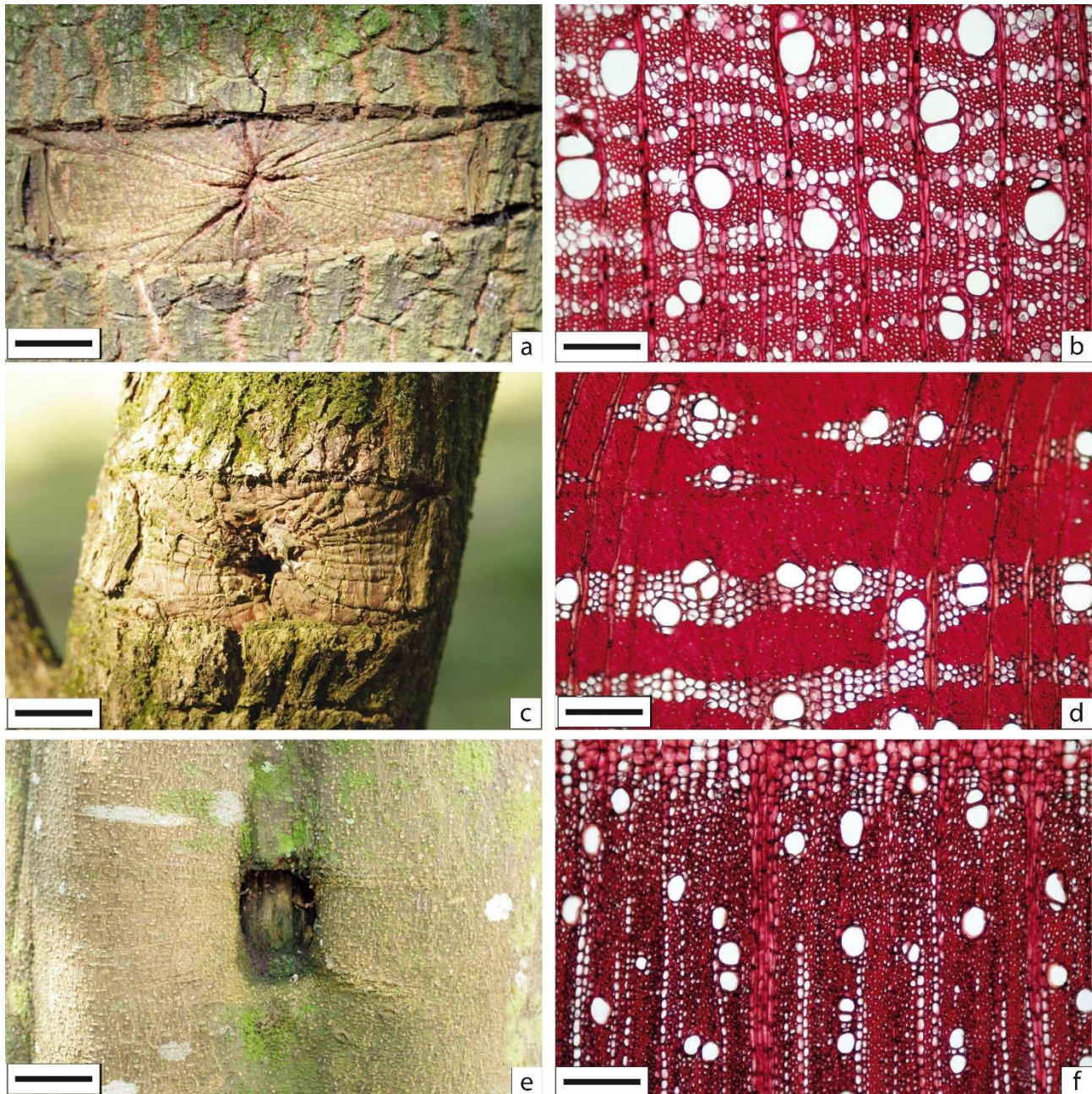


Figure 4. *Cariniana legalis* a, b; *Handroanthus chrysotrichus* c, d; *Gallesia integrifolia* e, f. Trunk healing after sample removal (left, scale bar = 2 cm). b. Transversal section (right, scale bar = 200 μm).

Figura 4. *Cariniana legalis* a, b; *Handroanthus chrysotrichus* c, d; *Gallesia integrifolia* e, f. Cicatrização do tronco após a remoção da amostra (esquerda, barra de escala = 2 cm). b. Seção transversal (direita, barra de escala = 200 μm).

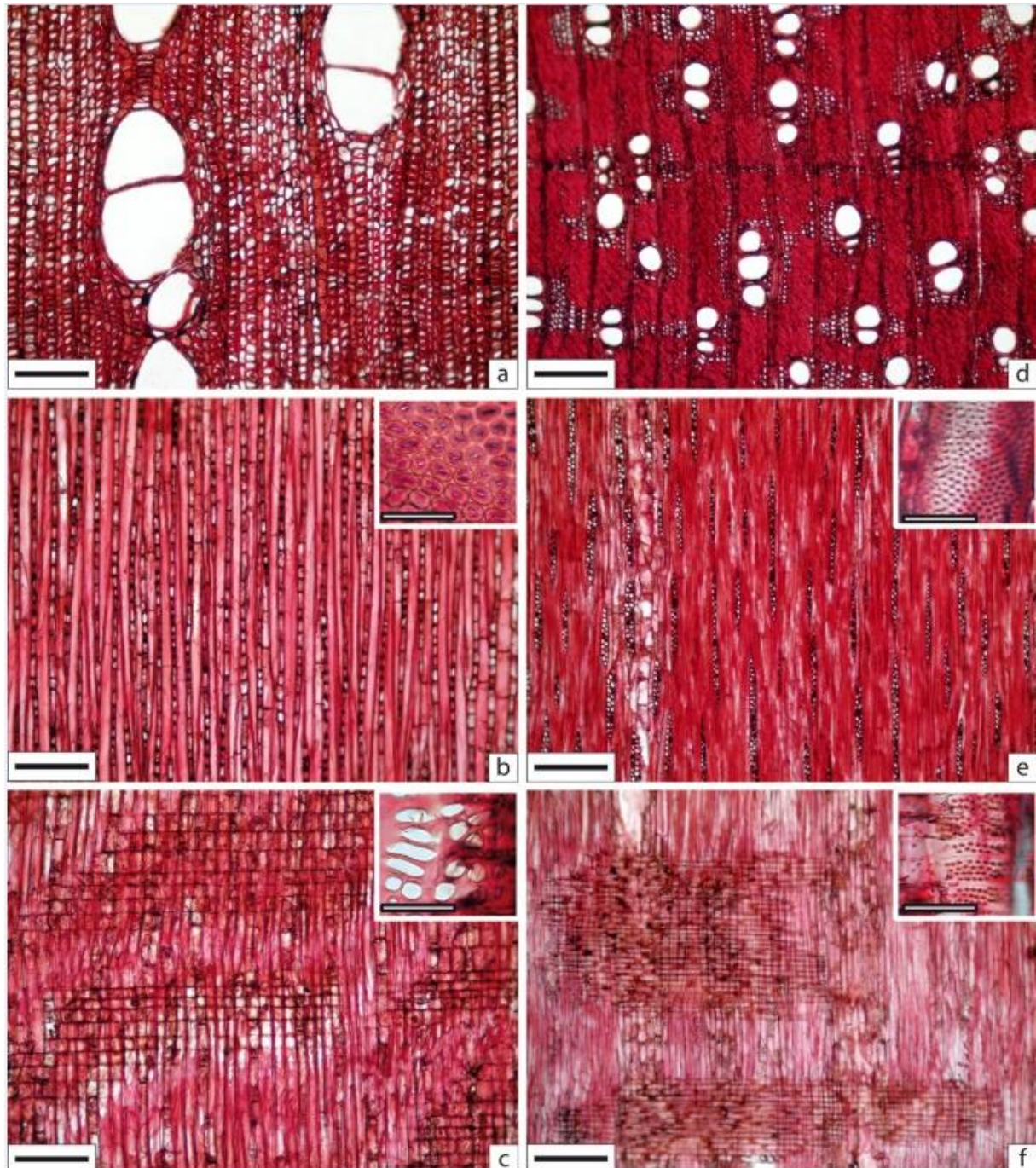


Figure 5. Wood sections of *Alchornea glandulosa* (a, b, c), *Paubrasilia echinata* (d, e, f), transversal sections (a, d) tangential sections with detail of the intervessel pits (b, e), radial sections with detail of vessel-ray pits (c, f) Bar = 200 µm, detail bar = 50 µm.

Figura 5. Seções do lenho de *Alchornea glandulosa* (a, b, c), *Paubrasilia echinata* (d, e, f), seções transversais (a, d) seções tangenciais com detalhe das pontuações intervasculares (b,e), seções radiais com detalhe das pontuações raiovasculares (c, f) Barra = 200 µm, barra detalhe = 50 µm.

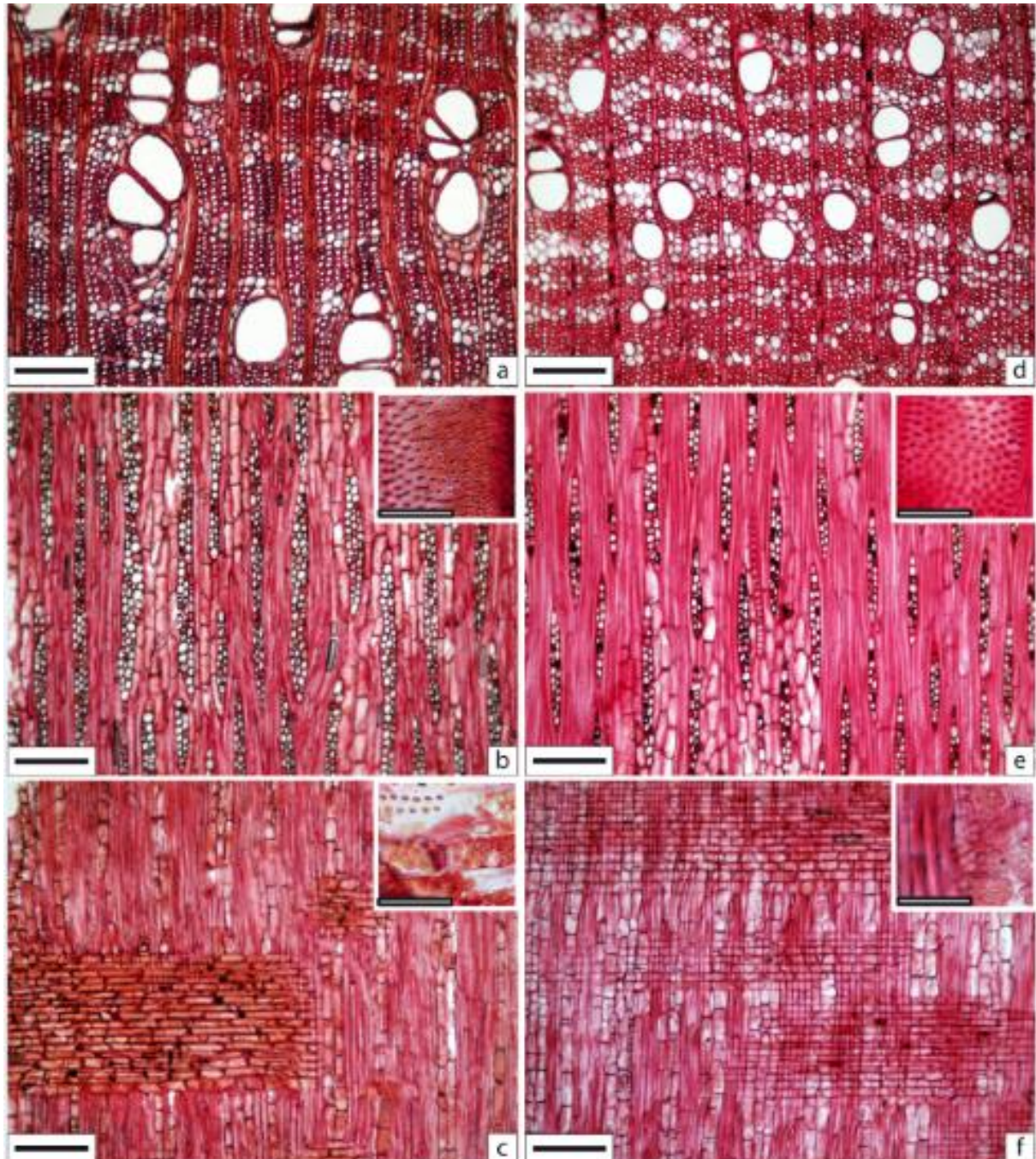


Figure 6. Wood sections of *Cariniana estrellensis* (a, b, c), *Cariniana legalis* (d, e, f), transversal sections (a, d) tangential sections with detail of the intervessel pits (b, e), radial sections with detail of the vessel-ray pits (c, f) Bar = 200 μ m, detail bar = 50 μ m.

Figura 6. Seções do lenho de *Cariniana estrellensis* (a, b, c), *Cariniana legalis* (d, e, f), seções transversais (a, d) seções tangenciais com detalhe das pontuações intervasculares (b, e), seções radiais com detalhe das pontuações raiovasculares (c, f) Barra = 200 μ m, barra detalhe = 50 μ m.

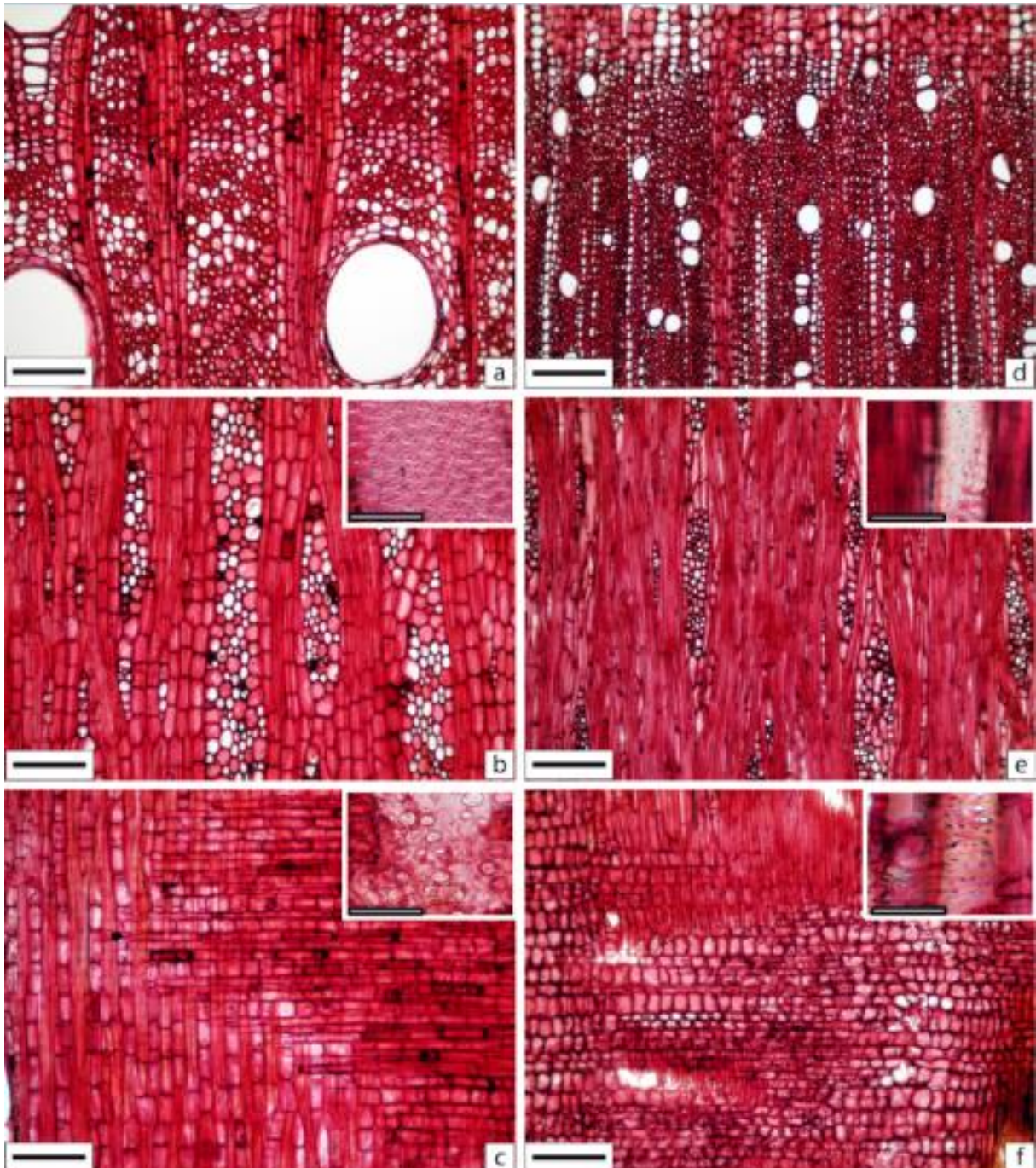


Figure 7. Wood sections of *Ceiba speciosa* (a, b, c), *Galesia integrifolia* (d, e, f), transverse sections (a, d) tangential sections with detail of the intervessel pits (b, e), radial sections with detail of the vessel-ray pits (c, f) Bar = 200 µm, detail bar = 50 µm.

Figura 7. Seções do lenho de *Ceiba speciosa* (a, b, c), *Galesia integrifolia* (d, e, f), seções transversais (a, d) seções tangenciais com detalhe das pontuações intervasculares (b, e), seções radiais com detalhe das pontuações raiovasculares (c, f) Barra = 200 µm, barra detalhe = 50 µm.



Figure 8. Wood sections of *Handroanthus heptaphyllus* (a, b, c), *Handroanthus chrysotrichus* (d, e, f), transversal sections (a, d) tangential sections with detail of the intervessel pits (b, e), radial sections with detail of the vessel-ray pits (c, f) Bar = 200 µm, detail bar = 50 µm.

Figura 8. Seções do lenho de *Handroanthus heptaphyllus* (a, b, c), *Handroanthus chrysotrichus* (d, e, f), seções transversais (a, d) seções tangenciais com detalhe das pontoações intervasculares (b, e), seções radiais com detalhe das pontoações raiovasculares (c, f) Barra = 200 µm, barra detalhe = 50 µm.

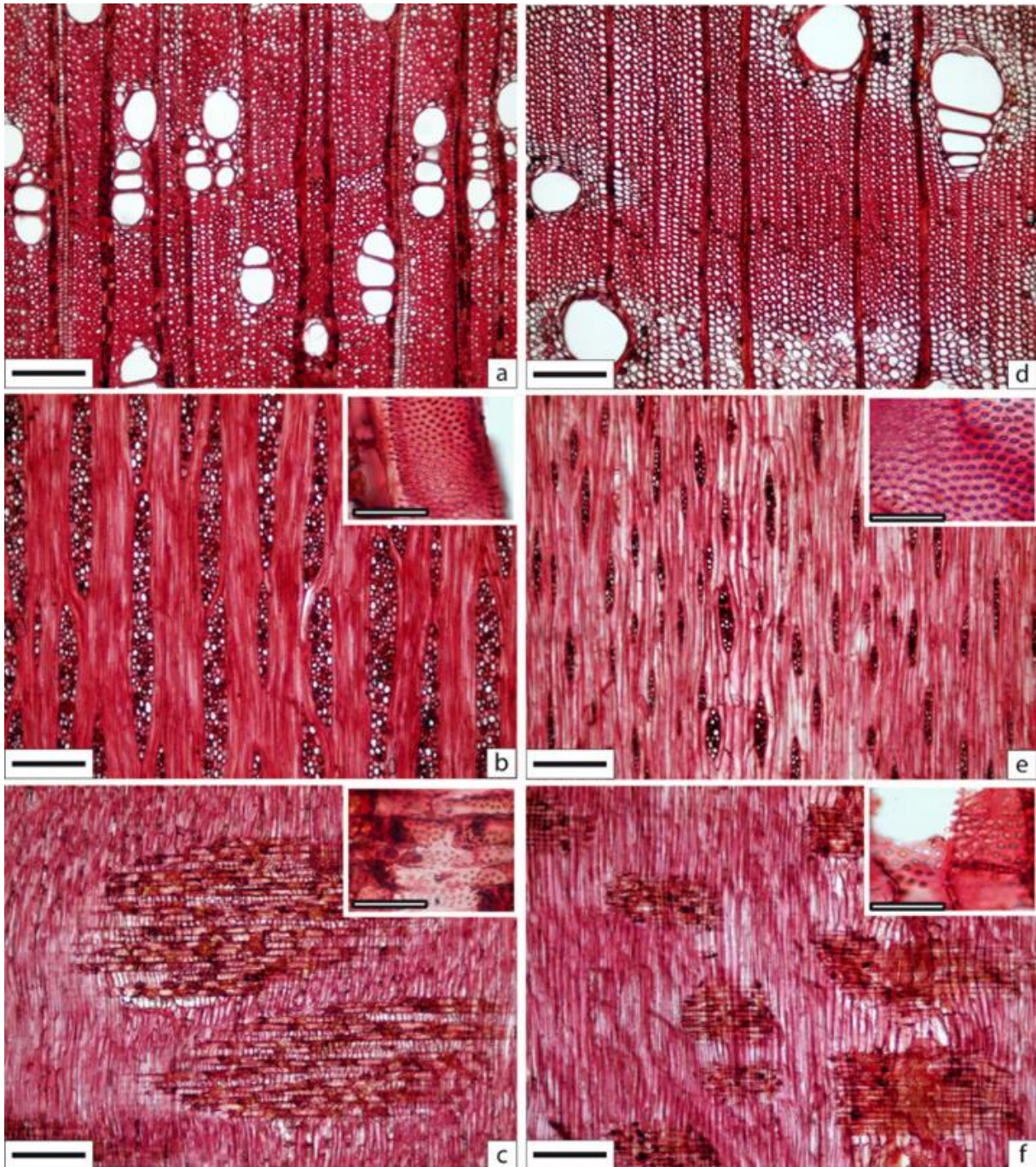


Figure 9. Wood sections of *Guazuma ulmifolia* (a, b, c), *Inga sessilis* (d, e, f), transversal sections (a, d) tangential sections with detail of the intervessel pits (b, e), radial sections with detail of the vessel-ray pits (c, f) Bar = 200 μm , detail bar = 50 μm .

Figura 9. Seções do lenho de *Guazuma ulmifolia* (a, b, c), *Inga sessilis* (d, e, f), seções transversais (a, d) seções tangenciais com detalhe das pontuações intervasculares (b, e), seções radiais com detalhe das pontuações raiovasculares (c, f) Barra = 200 μm , barra detalhe = 50 μm .

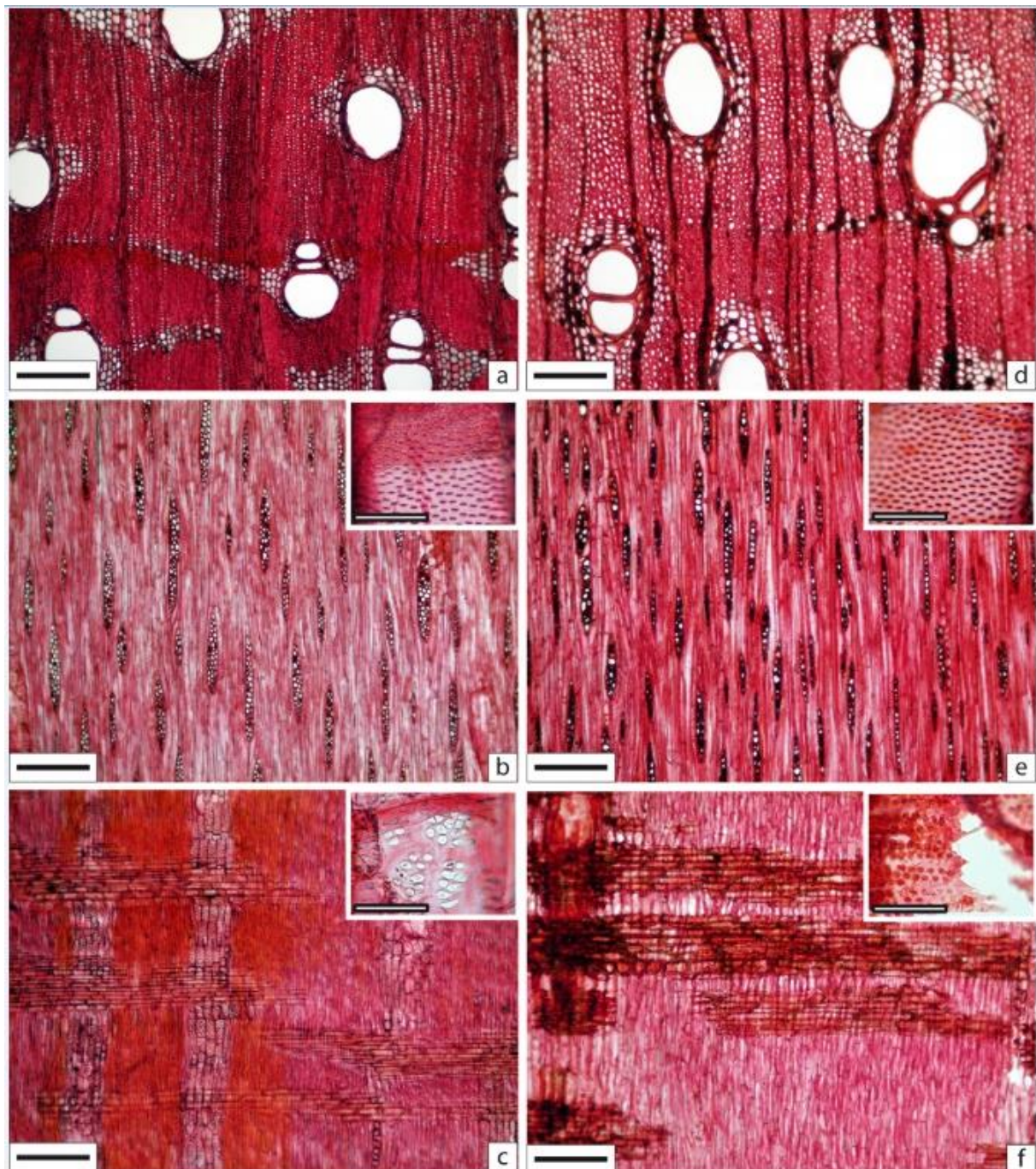


Figure 10. Wood sections of *Maclura tinctoria* (a, b, c), *Peltophorum dubium* (d, e, f), transversal sections (a, d) tangential sections with detail of the intervessel pits (b, e), radial sections with detail of vessel-ray pits (c, f) Bar = 200 μ m, detail bar = 50 μ m.

Figura 10. Seções do lenho de *Maclura tinctoria* (a, b, c), *Peltophorum dubium* (d, e, f), seções transversais (a, d) seções tangenciais com detalhe das pontuações intervasculares (b, e), seções radiais com detalhe das pontuações raiovasculares (c, f) Barra = 200 μ m, barra detalhe = 50 μ m.



Figure 11. Images of each individual trunk healing after 24 months of collection. The numbers identify the tree in the arboretum.

Figura 11. Imagens da cicatrização dos troncos de cada indivíduo após 24 meses da coleta. Os números identificam a árvore no arboreto.

REFERENCES

- ALONI, R. Phytohormonal mechanisms that control wood quality formation in young and mature trees. In: ENTWISTLE, K.; HARRIS, P.; WALKER, J. (Eds.). **The compromised wood workshop**. New Zealand: The Wood Technology Research Centre, 2007. p. 1-22.
- ALONI, R. The induction of vascular tissues by auxin. In: DAVIES, P.J. (Ed.). **Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action!** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2010. p. 485-506.
- ALONI, R. The role of hormones in controlling vascular differentiation. In: FROMM, J. (Ed.). **Cellular Aspects of Wood Formation**. Berlin: Springer-Verlag, 2013. p. 99-139.
- ALONI, R.; BAUM, S.F.; PETERSON, C.A. The role of cytokinin in sieve tube regeneration and callose production in wounded *coleus* internodes. **Plant physiology**, v. 93, n. 3, p. 982-989, 1990.
- ARBELLAY, E.; FONTI, P.; STOFFEL, M. Duration and extension of anatomical changes in wood structure after cambial injury. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 8, p. 3271-3277, 2012.
- ASAHINA, M. et al. Gibberellin produced in the cotyledon is required for cell division during tissue reunion in the cortex of cut cucumber and tomato hypocotyls 1. **Plant physiology**, v. 129, n. 1, p. 201-210, 2002.
- BAUM, F.S.; ALONI, R.; PETERSON, C.A. Role of cytokinin in vessel regeneration in wound *Coleus* internodes. **Annals of Botany**, v. 67, n. 6, p. 543-548, 1991.
- BRADLEY, M.V.; CRANE, J.C. Gibberellin-stimulated cambial activity in stems of apricot spur shoots. **Science**, v. 126, n. 3280, p. 972-973, 1957.
- BORCHERT, R.; MCCHESENEY J.D.; WATSON, D. Wound healing in potato tuber tissue. **Plant physiology**, v. 53, n. 2, p. 187-191, 1974.
- BORCHERT, R.; POCKMAN, W.T. Water storage capacitance and xylem tension in isolated branches of temperate and tropical trees. **Tree physiology**, v. 25, n. 4, p. 457-466, 2005.
- BRODERSEN, C.R. et al. The dynamics of embolism repair in xylem: in vivo visualizations using high-resolution computed tomography. **Plant physiology**, v. 154, n. 3, p. 1088-1095, 2010.
- CARLQUIST, S. **Ecological strategies of xylem evolution**. Berkeley: University California Press, 1975. 259 p.
- CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy. Systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood**, 2nd edn. Berlin: Springer - Verlag, 2001. 448 p.
- CHAPOTIN, S.M.; RAZANAMEHARIZAKA, J.H.; HOLBROOK, N.M. Baobab trees (*Adansonia*) in Madagascar use stored water to flush new leaves but not to support stomatal opening before the rainy season. **New phytologist**, v. 169, n. 3, p. 549-559, 2006.
- CHOAT, B.; JANSEN, S.; BRODRIBB, T.J., et al. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. **Nature**, v. 491, n. 7426, p. 752-755, 2012.
- DAYAN, J. et al. Leaf-induced gibberellin signaling is essential for internode elongation, cambial activity, and fiber differentiation in tobacco stems. **The Plant Cell**, v. 24, n. 1, p. 66-79, 2012.
- ERIKSSON, M.E. et al. Increased gibberellin biosynthesis in transgenic trees promotes growth, biomass production and xylem fiber length. **Nature Biotechnology**, v. 18, n. 7, p. 784-788, 2000.
- EVERT, R.F. **Esau's Plant Anatomy: Meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development**. 3rd Edition, John Wiley and Son, New Jersey, 601 p.
- FISHER, J.B.; EWERS, F.W. Wound healing in stems of lianas after twisting and girdling injuries. **Botanical Gazette**, v. 150, n. 3, p. 251-265, 1989.
- FOX, J. The R Commander: A basic statistics graphical user interface to R. **Journal of Statistical Software**, v. 14, n. 9, p. 1-42, 2005.

- FUKUDA, H. Xylogenesis: initiation, progression, and cell death. **Annual review of plant physiology and plant molecular biology**, v. 47, p. 299-325, 1996.
- GLASS, S.V.; ZELINKA, S.L. Moisture relations and physical properties of wood. In: ROSS R. (Ed.). **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison, U.S.A: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. p. 1-19.
- HAAVIK, L.J.; STEPHEN, F.M. Factors that affect compartmentalization and wound closure of *Quercus rubra* infested with *Enaphalodes rufulus*. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 13, n. 3, p. 291-300, 2011.
- IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v.10, p. 219-332, 1989.
- IMASEKI, H. Hormonal Control of Wound-Induced Responses. In: PHARIS, R.P.; REID D.M. (Eds.) **Encyclopedia of plant physiology new series volume 11- hormonal regulation of development iii- role of environmental factors**. Berlin Heidelberg: Springer, 1985. p. 485-512.
- ISRAELSSON, M.; SUNDBERG, B.; MORITZ, T. Tissue-specific localization of gibberellins and expression of gibberellin-biosynthetic and signaling genes in wood-forming tissues in aspen. **The Plant journal: for cell and molecular biology**, v. 44, n. 3, p. 494-504, 2005.
- KRAUS, J.E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: Editora EDUR, 1997. 198 p.
- LARJAVAARA, M.; MULLER-LANDAU, H.C. PERSPECTIVE: Rethinking the value of high wood density. **Functional Ecology**, v. 24, n. 4, p. 701-705, 2010.
- LIGGES, U.; MÄCHLER, M. Scatterplot3d - an R Package for visualizing multivariate data. **Journal of Statistical Software**, v. 8, n. 11, p. 1-20, 2003.
- MCCULLOH, K.A.; SPERRY, J.S.; ADLER, F.R. Murray's law and the hydraulic vs mechanical functioning of wood. **Functional ecology**, v. 18, n. 2, p. 931-938, 2004.
- MORRIS, H. et al. The parenchyma of secondary xylem and its critical role in tree defense against fungal decay in relation to the CODIT model. **Frontier in Plant Science**. 7:1665. doi: 10.3389/fpls.2016.01665
- NEELY, D. Tree wound closure. **Journal of Arboriculture**, v. 14, n. 6, p. 148-152, 1988.
- OKSANEN, J. et al. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.3-0. Available at: <<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>>. Access on: 17 apr. 2015.
- OSTRY, M.E.; VENETTE, R.C.; JUZWIK, J. Decline as a disease category: is it helpful? **Phytopathology**, v. 101, n. 4, p. 404-409, 2011.
- PANG, Y. et al. Phloem transdifferentiation from immature xylem cells during bark regeneration after girdling in *Eucommia ulmoides* Oliv. **Journal of experimental botany**, v. 59, n. 6, p. 1341-1351, 2008.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <<http://www.R-project.org/>>. Access on: 02 may. 2015.
- REID, J.B.; ROSS, J.J. Regulation of tissue repair in plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 42, p. 17241-17242, 2011.
- SCHMITT, U.; LIESE, W. Wound reaction of the parenchyma in *Betula*. **IAWA Bulletin**, v. 11, n. 4, p. 413-420, 1990.
- SCHMITT, U.; LIESE, W. Wound tyloses in *Robinia pseudoacacia* L. **IAWA Journal**, v. 15, n. 2, p. 157-160, 1994.
- SCHWARZE, F.W.M.R. Wood decay under the microscope. **Fungal Biology Reviews**, v. 21, n. 4, p. 133-170, 2007.
- SHARRIF MOGHADDASI, M.; KUMAR, S.V. *Aloe vera* their chemicals composition and applications: A review. **International Journal of Biological & Medical Research**, v. 2, n. 1, p. 466-471, 2011.

ROMEIRO, D. et al. As anatomical features of the xylem could influence wound healing process in trees?

STOBBE, H. et al. Developmental stages and fine structure of surface callus formed after debarking of living lime trees (*Tilia* sp.). **Annals of Botany**, v. 89, n. 6, p. 773-782, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**, Fourth Edition. Sunderland: Sinauer Associates, 2006. 764 p.

TOLEDO, J.J.; MAGNUSSON, W.E.; CASTILHO, C.V. Competition, exogenous disturbances and senescence shape tree size distribution in tropical forest: evidence from tree mode of death in Central Amazonia. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, n. 4, p. 651-663, 2013.

TYREE, M.T. et al. Refilling of embolized vessels in young stems of laurel. Do we need a new paradigm? **Plant physiology**, v. 120, n. 1, p. 11-22, 1999.

UGGLA, C. et al. Function and dynamics of auxin and carbohydrates during earlywood/latewood transition in scots pine. **Plant physiology**, v. 125, n. 4, p. 2029-2039, 2001.

YADETA, K.A.; THOMMA, B.P.H.J. The xylem as battleground for plant hosts and vascular wilt pathogens. **Frontiers in plant science**, v. 4, n. 97, p. 1-12, 2013.

WAREING, F.B. Interaction between indole-acetic acid and gibberellic acid in cambial activity. **Nature**, v. 181, p. 1744-1745. 1958.

ZWIENIECKI, M.A.; HOLBROOK, N.M. Confronting Maxwell's demon: biophysics of xylem embolism repair. **Trends in plant science**, v. 14, n. 10, p. 530-534, 2009.

WOOD EVALUATION OF *Eucalyptus pellita* F.Muell. AND *Eucalyptus tereticornis* Smith AS POTENTIAL FOR PULP AND PAPER PRODUCTION¹

AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE *Eucalyptus pellita* F.Muell. E *Eucalyptus tereticornis* Smith COMO POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE POLPA E PAPEL¹

Erick Phelipe AMORIM²; João Roberto MENUCELLI²; Caio Henrique SANTOS³; Miguel Luiz Menezes FREITAS³; Teresa Cristina Tarle PISSARRA⁴; Simone da Graça Pinto VARANDAS⁵; Maria Emília Calvão Moreira da SILVA⁶; Marcelo ZANATA³; Eduardo Luiz LONGUI^{3,7}

ABSTRACT - This paper aimed to determine the quality indexes for paper and cellulose based on the fiber features from two wood species of interest, *Eucalyptus pellita* and *E. tereticornis*. The mean annual increment (IMA) was calculated by measuring DBH and Height (25 years), a 10 cm disk from each tree was collected for density determinations and anatomical studies for cellulose and paper. Tree height, trunk diameter at 1.30 m in height (DBH), and volume per tree were higher in *E. pellita* when compared to *E. tereticornis*. The volume per hectare and average annual increment were higher in *E. tereticornis* compared to *E. pellita*. Based on the quality indexes calculated from fiber dimensions, we did not observe any variation in flexibility coefficient between the two species; however, this index was more heterogeneous with the lowest value in *E. tereticornis* pith. *Eucalyptus pellita* showed a lower wall fraction value, including a lower overall value in pith. The Runkel index was lowest in *E. pellita*; in addition, the highest value, above 1, was found in pith position in *E. tereticornis*. The slenderness index did not differ between species and it was not possible to detect which had performed better. The results indicate that *E. pellita* and *E. tereticornis* have potential for the production of paper with high mechanical resistance, such as writing, printing and packaging. The wood of both species has potential for use in producing paper and cellulose.

Key words: Wood anatomy; Wood density; Quality indexes for paper.

RESUMO - O presente trabalho teve como objetivo determinar os índices de qualidade para papel e celulose com base nas características das fibras de *Eucalyptus pellita* e *E. tereticornis*. O incremento médio anual (IMA) foi calculado com a medida do DAP e Altura (aos 25 anos), um disco de 10 cm da cada árvore foi colhido para as determinações da densidade e estudos anatômicos. A altura da árvore, o diâmetro do tronco a 1,30 m de altura (DAP) e o volume por árvore foram maiores em *E. pellita* quando comparados a *E. tereticornis*. O volume por hectare e o incremento médio anual foram maiores em *E. tereticornis* em comparação com *E. pellita*. Com base nos índices calculados a partir das dimensões das fibras, não observamos variação no coeficiente de flexibilidade entre as duas espécies; entretanto, esse índice foi mais heterogêneo com o menor valor na medula de *E. tereticornis*. *Eucalyptus pellita* apresentou menor valor de fração de parede, incluindo menor valor geral na medula. O índice de Runkel foi o mais baixo em *E. pellita*; além disso, o valor mais alto, acima de 1, foi encontrado na posição medular de *E. tereticornis*. O índice de esbeltez não diferiu entre as espécies não sendo possível detectar qual obteve melhor desempenho. Os resultados indicam que *E. pellita* e *E. tereticornis* apresentam potencial para a produção de papéis com alta resistência mecânica, como escrita, impressão e embalagem. A madeira das duas espécies tem potencial para uso na produção de papel e celulose.

Palavras-chave: Anatomia da madeira; Densidade da madeira; Índices de qualidade para papel.

1 Recebido para análise em 15.06.2021. Aceito para publicação em 19.08.2021

2 Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), 18052-780, Bairro do Itinga, Sorocaba, São Paulo, Brazil.

3 Instituto de Pesquisas Ambientais, Rua do Horto, 931,02377-000, Horto Florestal, São Paulo, SP, Brazil.

4 Departamento de Engenharia e Ciências Exatas, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane s.n., 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, SP, Brazil.

5 Centre for the Research and Technology of Agro-Environmental and Biological Sciences, University of Trás-os-Montes and Alto Douro, 5000-801, Vila Real, Portugal.

6 Centre for the Research and Technology of Agro-Environmental and Biological Sciences, University of Trás-os-Montes and Alto Douro, 5000-801, Vila Real, Portugal.

7 Corresponding author: edulongui@gmail.com

1 INTRODUCTION

Since the 1960s, pulp production in Brazil has grown at rates higher than those envisaged by other world producers. According to Indústria Brasileira de Árvores-IBÁ (2019), Brazil is the second largest producer of pulp in the world, behind only the United States, and it occupies the eighth position in world in paper production. At this rate, Brazil has experienced an average growth of 8.0% in pulp production.

For paper and cellulose production, Gomide et al. (2005) report that the most used raw material is *Eucalyptus* spp. wood, owing to high yield in short fiber cellulose and excellent physical and chemical wood properties. Traditionally, Brazil has used *Eucalyptus* wood for production of paper and cellulose, e.g., *E. grandis*, *E. saligna* and hybrid of *E. grandis* x *E. urophylla*. In São Paulo, more than 20 species of *Eucalyptus* were planted on an experimental level (Gurgel-Garrido et al., 1997) to test their potential for pulp and paper production. Here, we highlight two species for a closer examination of this potential: *Eucalyptus pellita* F. Muell and *Eucalyptus tereticornis* Smith.

Menucelli et al. (2019) studied the potential of *E. pellita* and *E. tereticornis* wood as raw materials for bioenergy based on higher heating value, and they presented some characteristics of the species. *Eucalyptus pellita* has been planted for wood in many areas of the subtropics and tropics, including Papua, New Guinea, Indonesia, India, Kenya, Congo, and Brazil (Fern et al., 2014). *Eucalyptus tereticornis* was one of the first *Eucalyptus* trees exported from Australia, and it is currently grown all over the tropics on a large scale in both India and Brazil (Brink, 2008). Foelkel (2009a) highlights the two species as used in paper and cellulose production, although they are not the most used for this purpose.

In general, for a species to be accepted in the pulp and paper sector, trees must undergo genetic improvement programs. Species selection depends on such factors as growth rate, as represented by mean annual increment (Reis et al., 2015) and basic wood density (Raymond and Muneri, 2001). Most breeding programs consider wood density as one of the criteria for selecting trees for pulp production, as is the case with the pulp industry, which in eucalyptus breeding programs uses this characteristic of wood in addition to related to the growth of trees (Borrvalho et al., 1993; Mokfienski et al., 2008; Santos et al., 2012; Miranda and Pereira, 2015).

However, it is well known that other properties must also be evaluated, such as chemical and

anatomical composition of wood, as well as the formation of cellulosic pulp (Carrillo et al., 2018; Riki et al., 2019). The relationships between paper and raw material properties, namely wood chip density, have been studied by several authors (Paavilainen, 1989; Paavilainen, 2000; Downes et al., 2003; Kibblewhite et al., 2003; Santos et al., 2008a). In addition, it is known that the quality of paper is directly influenced by anatomical features of fibers and their fraction in pulp. Fibres influence paper sheet properties including tensile, stretch, burst and tear strengths (Kiaei et al., 2014). Woods with thicker-walled fibers, for example, produce a more porous and opaque paper, providing better printing capacity. On the other hand, fibers with thinner walls produce denser papers with high resistance to breakage and tension (Wiedenhoeft and Miller, 2005). A close relationship is observed between fiber and paper production. In general, shorter fibers contribute to good paper sheet formation, while longer fibers favor tear resistance (Gomide et al., 2005). Additionally, according to Alves et al. (2011), the presence of vessels favors penetration and impregnation of chips by kraft cooking liquor. However, a high vessel percentage in wood is undesirable as it directly implies lower density, which provides less productivity in the factory and greater specific consumption of material.

The most important “Fibre Derived Values” in pulping are Runkel Ratio (RR), Slenderness Ratio (SR) and Flexibility Coefficient (FC). These determine much more the potential of any species for paper production than the absolute dimensions of the fibers (Ververis et al., 2004).

The Runkel ratio is the ratio of fiber cell wall thickness to its lumen that determines the suitability of a fibrous material for pulp and paper production. If a wood has a high Runkel ratio, it means that its fiber will be stiff and less flexible and poor bonding ability. High Runkel ratio fibers produce bulkier paper than fibers with low Runkel ratio. According to Xu et al. (2006) and Enayati et al. (2009), among other authors, this ratio must be 1 to be classified as a good quality for cellulose and paper production. The flexibility coefficient is the ratio between the width of the lumen and the fiber diameter expressed as a percentage. This coefficient provides the bonding strength of individual fibers and therefore the tensile strength and bursting properties (Wangaard, 1962). The ratio between the length of fiber and its diameter determines the tear resistance of a paper (Varghese et al., 1995).

The main objective of this study was to determine some wood characteristics that affect the

quality and potential of *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus tereticornis* of 31-years-old in homogeneous plantings for paper and cellulose purposes. Thus, it was evaluated the mean annual increment, wood density, anatomical features and some quality indexes for paper and cellulose based on fiber features. This work seeks to increase knowledge about these two species, which is currently quite scarce. Thus, it could provide plantation owners of these species with information that would allow them to choose the best destination for their timber and, as a consequence, greater added value.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Species and planting area

The species were chosen because they are provenance and progeny tests of two *Eucalyptus* species with same age, planted in the same region

(Gurgel Garrido et al., 1997), already genetically evaluated (Zanata et al., 2010; Macedo et al., 2013), and available for other studies. Wood samples of *Eucalyptus tereticornis* and *Eucalyptus pellita* were collected from 10 trees of each species in the municipality of Batatais, São Paulo State, Brazil, coordinates 47°31'S and 47°21'W, in elevation 880m (Zanata, 2009). The *E. pellita* plantation was established in 1986 at a spacing of 4 × 4 m with seeds from Helenvale and Cole, Australia. The *E. tereticornis* plantation was established in 1986 at a spacing of 3 × 2 m with seeds from Helenvale, Ravenshoe and Mt. Garnet, Australia. Soil in the experimental area was classified as dystroferic Red Latosol (Oxisol) and dystrophic Red-Yellow Latosol, a medium texture (Santos et al., 2018). Figure 1 presents an overview of plantings and Table 1 shows dendrometric characterization (height and diameter at breast height) of the 10 trees of with 31-year-old *E. pellita*. and *E. tereticornis*.



Figure 1. Overview of 31-year-old plantations in the Floresta Estadual de Batatais. a. *Eucalyptus pellita*. b. *Eucalyptus tereticornis*.

Figura 1. Visão geral das plantações de 31 anos na Floresta Estadual de Batatais. a. *Eucalyptus pellita*. b. *Eucalyptus tereticornis*.

2.2 Mean annual increment

Wood density was determined on samples from diameter at breast height by the ratio between the oven-dry mass and the green volume of samples (Glass and Zelinka, 2010).

$$\text{Volume} = 0.0000785398163 * \text{DBH}^2 * H \quad \text{Eq. 1}$$

where DBH = diameter at breast height, 1.3 m from the ground, and H = height.

Then, the volume per hectare was calculated according to the spacing (4 x 4 m) in *E. pellita* and (3 x 2 m) in *E. tereticornis* by multiplying the number of plants by the average tree volume, and, finally, mean annual increment was calculated by dividing volume per hectare by planting age at the time of measurement (25 years, 1986-2011).

2.3 Sampling for wood density and anatomical ratios for pulp and paper

In 2017, selected trees were felled, and discs 10 cm in thickness were removed from the base of each tree to obtain specimens for wood density, anatomy and quality indexes for pulp and paper. Three radial positions were established: the nearest part of trunk center, which was designated as pith, a middle position, and a position close to the bark, which was designated as bark.

2.4 Apparent density (D_{12})

Apparent density was determined in acclimatized specimens by the ratio of their mass and volume at the current moisture content (MC). We used the model proposed by Kollmann and Côté (1968) to obtain the value to nominal 12 % equilibrium moisture content (EMC) (D_{12}) (see Eq. 2 and 3). The density of the model used at any moisture content ($D_{u\%}$, ranging from 0 to 25 % MC) is relative to the density at 0 % MC (D_0). Then, D_{12} was calculated from D_0 using the following two equations:

$$D_{u\%} = D_0 (1 + 0.01u\%) \left(1 - \frac{0.0084u\%D_0}{1 + 0.28D_0} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

$$D_{12\%} = \frac{1.12D_0 + 0.2007D_0^2}{1 + 0.28D_0} \quad \text{Eq. 3}$$

2.5 Anatomical analyses

We cut small portions of wood from each sample for maceration using Franklin's method (Berlyn and Miksche, 1976). Wood fragments were stained with aqueous safranin and mounted temporarily in a solution of water and glycerin (1:1). Samples of 2 cm³ were softened in boiling water and glycerin (4:1) for 1-2 hours. From these samples, transverse and longitudinal sections 20µm in thickness were obtained with a sliding microtome. Sections were bleached with sodium hypochlorite (60%), washed thoroughly in water, and stained with 1% safranin (Johansen, 1940). Measurements followed the recommendations of the IAWA Committee (1989). Quantitative data are based on at least 25 measurements for each characteristic from each tree, thus fulfilling statistical requirements for the minimum number of measurements.

2.6 Anatomical ratios for pulp and paper

From values of length (L), diameter (D), lumen diameter (d) and fiber wall thickness (w), we calculated the following ratios for pulp and paper: Flexibility coefficient (FC), Wall proportion (WP), Runkel ratio (RR), and Slenderness ratio (SR) (Pirralho et al., 2014):

$$\text{Flexibility coefficient} = \frac{d}{D} \times 100 \quad \text{Eq. 4}$$

$$\text{Wall proportion} = \frac{2w}{D} \times 100 \quad \text{Eq. 5}$$

$$\text{Runkel ratio} = \frac{2w}{d} \quad \text{Eq. 6}$$

$$\text{Slenderness ratio} = \frac{L}{D} \quad \text{Eq. 7}$$

2.7 Data analyses

We initially undertook descriptive statistical analyses and used Box Plot graphics to detect outliers. Thus, values 1.5 times higher than the 3rd quartile and values 1.5 times lower than the 1st quartile were excluded from the analysis. Normality tests were performed to check the distribution of data, and when a normal distribution was not observed, data were square root-transformed. For radial variation, a parametric analysis of variance (one-way analysis of variance (ANOVA)) was performed. When a significant difference was observed, Tukey's test was used to

identify pairs of significantly different means. For comparing between two species, a *t* test was used.

3 RESULTS

Tree height, trunk diameter at 1.30 m in height (DBH), and volume per tree were higher in *E. pellita* when compared to *E. tereticornis*. The volume per hectare and average annual increment were higher in *E. tereticornis* compared to *E. pellita* (Table 2).

In *E. pellita*, wood density close to the bark and in intermediate position did not differ and was higher than wood density close to the pith. In *E. tereticornis*, density increased from the pith to the bark. *Eucalyptus pellita* presents a denser wood than *E. tereticornis* (Table 3).

In *E. pellita*, wider diameter vessels occurred close to the bark and were narrower, but with no statistical difference in intermediate and pith positions. In *E. tereticornis*, vessel diameter increased from pith to bark. *Eucalyptus tereticornis* has wider vessels than *E. pellita*. Vessel density showed the same behavior in both species, decreasing from pith to bark. *Eucalyptus pellita* has a higher vessel density than *E. tereticornis* (Table 3). In *E. pellita*, higher rays occurred close to the pith and in intermediate position.

In contrast, in *E. tereticornis*, higher rays were reported in intermediate and bark positions. *Eucalyptus tereticornis* has higher rays than *E. pellita*. Wider rays occurred in intermediate

position in *E. pellita*. *Eucalyptus tereticornis* has wider rays in the bark when compared to *E. pellita*. In *Eucalyptus pellita*, a higher ray frequency occurred in intermediate position. Most frequent rays occurred in intermediate and pith positions in *E. tereticornis*. Higher ray frequency was observed in *E. pellita* when compared to *E. tereticornis* (Table 3).

In *E. pellita*, longer fibers occurred close to the bark. In *E. tereticornis*, fiber length did not differ radially. *Eucalyptus tereticornis* has longer fibers than *E. pellita*. Fibers with thicker walls occurred in intermediate and bark positions in *E. pellita*. In *E. tereticornis*, fiber wall thickness did not differ radially. *Eucalyptus tereticornis* has thicker-walled fibers than *E. pellita* (Table 3).

In *E. pellita*, flexibility coefficient was higher near the pith and did not differ in the other two positions. In *E. tereticornis*, a higher flexibility coefficient value was observed close to the bark. No difference was observed between the two species. The wall fraction was higher in the two most external positions in *E. pellita* and showed no variation in *E. tereticornis*. Higher wall fraction was observed in *E. tereticornis* when compared to *E. pellita*. The Runkel index was higher in the two most external positions in *E. pellita*. In *E. tereticornis*, the Runkel index value close to the pith differed from that close to the bark. *Eucalyptus tereticornis* showed a higher Runkel index value than that of *E. pellita*. The slenderness ratio did not vary radially in, or between, the two species (Table 3).

Table 1. Dendrometric data of ten 31-year-old *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus tereticornis* trees used for wood density and anatomy determination.

Tabela 1. Dados dendrométricos de dez árvores de *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus tereticornis* com 31 anos de idade usados para determinação da densidade e anatomia da madeira.

<i>Eucalyptus pellita</i>			<i>Eucalyptus tereticornis</i>	
Tree	Height (m)	DBH (cm)	Height (m)	DBH (cm)
1	22.70	24.00	20.50	19.50
2	17.30	18.50	17.70	16.00
3	17.70	21.00	14.20	14.00
4	15.30	25.00	20.70	16.00
5	20.40	36.00	17.00	15.00
6	15.70	21.00	19.10	16.50
7	12.70	30.00	25.10	21.00
8	16.00	24.50	24.57	25.00
9	16.40	22.50	19.50	16.00
10	12.70	23.50	23.32	18.00
Mean	16.69	24.60	20.17	17.70

Table 2. Silvicultural data and mean annual increment in 25-year-old *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus tereticornis*.Tabela 2. Dados silviculturais e incremento médio anual em *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus tereticornis* com 25 anos.

	<i>Eucalyptus pellita</i>	<i>Eucalyptus tereticornis</i>
Height (m)	2 (20.45a) 30	1.5 (19.3b) 33
DBH (cm)	1 (26.32a) 60	1 (16.29b) 40
Tree volume (m ³)	0.621a	0.242b
Volume per hectare (m ³ .ha ⁻¹)	234.38	403.33
Mean annual increment (m ³ .ha ⁻¹ .year ⁻¹)	9.37	16.13

Table 3. Radial variation and comparison among wood density, anatomical features and quality indices for paper and cellulose in 31-year-old *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus tereticornis* wood.Tabela 3. Variação radial e comparação entre densidade da madeira, características anatômicas e índices de qualidade para papel e celulose na madeira de *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus tereticornis* aos 31 anos.

	Radial variation						Means between three radial positions	
	<i>Eucalyptus pellita</i>			<i>Eucalyptus tereticornis</i>			<i>Eucalyptus pellita</i> Mean	<i>Eucalyptus tereticornis</i> Mean
	Pith	Inter	Bark	Pith	Inter	Bark		
ρ 12% (g.cm ⁻³)	0.812b	0.987a	1017a	0.677c	0.823b	0.899a	0.939A	0.800B
VD (μ m)	73b	76b	104a	76c	87b	103a	85B	90A
Vd (n°mm ⁻²)	18a	16b	12c	16a	13b	11c	15A	13B
RH (μ m)	195a	195a	184b	206b	219a	221a	192B	215A
RW (μ m)	19b	21a	19b	24b	25b	28a	19B	26A
RF (n°mm ⁻¹)	16b	17a	16b	16a	16a	14b	16A	15B
FL (μ m)	866b	904b	960a	995a	989a	998a	910B	994A
FD (μ m)	13.09b	14.14a	14.16a	14.62a	14.84a	14.98a	13.80B	14.80A
FL (μ m)	7.26b	7.49ab	7.55a	7.51b	8.16a	8.44a	7.44B	8.06A
FWT (μ m)	2.9b	3.3a	3.3a	3.6a	3.6a	3.8a	3.1B	3.7A
FC	0.55a	0.51b	0.53b	0.52b	0.45c	0.56a	0.54A	0.55A
WP (%)	44.39b	46.88a	47.11a	52.67a	48.88a	49.10a	45.90B	49.60A
RR	0.81b	0.88a	0.89a	1.07a	0.93ab	0.86b	0.87B	0.96A
SR	66.27a	64.64a	68.41a	70.51a	67.52a	67.54a	66.64A	68.46A
F(%)	41.58c	44.25b	46.08a	45.45ab	46.08a	44.25b	43.97B	45.26A
V (%)	18.91a	14.56b	12.97c	13.42b	14.5a	12.97b	15.48A	13.65B
AP (%)	14.64a	12.73b	11.72c	12.40ab	12.73a	11.72b	13.03A	12.28B
RP (%)	24.96b	28.44a	29.21a	28.7b	26.6c	31.04a	27.54B	28.79A

Pith = wood near the center of the trunk, Inter = wood between pith and bark (intermediate position), Bark = wood closest to the bark. ρ 12% = wood density at 12% humidity; VD = vessel diameter; Vd = vessel density; RH = ray height; RW = ray width; RF = ray frequency; FL = fiber length; FD = fiber diameter; FL = fiber lumen diameter; FWT = fiber wall thickness; FC = flexibility coefficient; WP = wall fraction; RR = Runkel ratio; SR = slenderness ratio. F = fiber percentage; V = vessel percentage; AP = axial parenchyma percentage; RP = radial parenchyma percentage. In the same line, for radial variation, the values of F and P are presented by Tukey test (differences in lowercase letters); for the comparison between species, values of *t* and *P* are presented by the *t* test (uppercase letters).

Medula = madeira próxima ao centro do tronco, Inter = madeira entre a medula e a casca (posição intermediária), Casca = madeira mais próxima da casca. ρ 12% = densidade da madeira a 12% de umidade; VD = diâmetro do vaso; Vd = densidade do vaso; RH = altura do raio; RW = largura do raio; RF = frequência do raio; FL = comprimento da fibra; FD = diâmetro da fibra; FL = diâmetro do lúmen da fibra; FWT = espessura da parede da fibra; FC = coeficiente de flexibilidade; WP = fração da parede; RR = razão Runkel; SR = proporção de esbeltez. F = porcentagem de fibra; V = porcentagem de vasos; AP = porcentagem do parênquima axial; RP = porcentagem do parênquima radial. Na mesma linha, para a variação radial, os valores de F e P são apresentados pelo teste de Tukey (diferenças em letras minúsculas); para a comparação entre as espécies, os valores de *t* e *P* são apresentados pelo teste *t* (letras maiúsculas).

4 DISCUSSION

According to Revista da Madeira (2007), a species is considered to have fast growth when it has productivity greater than $14 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$. Based on this metric, only *E. tereticornis* ($16.13 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$) would be considered as fast-growing since *E. pellita* showed $9.37 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$. However, we emphasize that *E. pellita* was planted at $4 \times 4 \text{ m}$ spacing, and certainly this type of planting influenced the result in comparison with *E. tereticornis*. According to Leles et al. (2001), the largest wood production per hectare was obtained in the $3 \times 2 \text{ m}$ spacing for *E. camaldulensis* and *E. pellita*, having observed a continuous decrease with increasing spacing. Neto et al. (2003) report spacing as one of factors that interferes with growth diameter and, consequently, wood properties. While wider spacing between trees produces a larger amount of wood, as a result of greater growth diameter, in a smaller spacing, the greater production of biomass may be related to higher number of plants per area. In our study, this is exactly what happened because despite the greater volume per hectare and greater mean annual increment having occurred in *E. tereticornis*, taller, wider trees and, therefore, greater individual volume occurred in *E. pellita*. Thus, we emphasize that differences must be analyzed based on the different spacing of each species: *E. pellita* was planted at $4 \times 4 \text{ m}$ spacing; thus, a tree = 0.621 m^3 occupies an area of 16 m^2 . *E. tereticornis* was planted at $3 \times 2 \text{ m}$ spacing; thus, a tree = 0.242 m^3 occupies an area of 6 m^2 . In summary, based on the results of our study, we believe that growth results are adequate to consider both species for paper and cellulose, since the indices resulting from our calculations show that both species can be used to produce paper with high mechanical resistance, such as writing, printing and packaging, as will be detailed below in the discussion of each index.

Wood density and pulp yield have been considered fundamental parameters in tree selection programs for pulping, in addition to tree growth (Silva et al., 2009; Borralho et al., 1993), and density is also a determining factor for the type of paper to be produced. Although, many studies have been showing that the density is vital for quality of pulp production (Scanavaca and Garcia, 2004; Trugilho et al., 2005; Santos et al., 2008b; Horáček et al., 2017), many others have been reported no correlation or weak correlation between these two properties (Miranda and Pereira, 2001; Seca and Domingues, 2006; Mokfienski et al., 2008; Silva et al., 2009). In this context, we

highlight that the two species we studied have high wood density, *E. pellita* ($0.939 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) and *E. tereticornis* ($0.800 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), and a significant difference can be observed between them.

In agreement with Santos and Sansígolo (2007) we can differentiate the cellulose pulps considering its applications for printing and writing paper or absorbent paper. Thus, pulps from wood with lower basic densities are ideal for the first case. Pulps from denser hardwoods, like the present study, are ideal for absorbent paper, because they present fibers with greater thickness, therefore a greater potential of liquid absorption, and greater mass per length of fibers (Santos and Sansígolo, 2007; Mokfienski et al., 2008).

The density and diameter of vessels also influence paper quality. According to Foelkel (2009), higher density and diameter of vessels are undesirable in the production of quality writing paper. However, in general, in *Eucalyptus* species, these vessel features do not represent major problems for paper quality. It is interesting to note that wood used in paper production almost entirely comes from young trees. Similar to fibers, vessels also vary during secondary growth, and in general, an inverse relationship is noted between vessel density and diameter toward the bark, with narrower vessels in higher proportion in younger regions of the wood (Baas et al., 2004; Lachenbruch et al., 2011), a result highlighted in the present study (Tab. 3). Therefore, because the wood typically used for paper is young, it has narrower vessels, but the highest vessel proportion. When analyzing our results for vessels, *E. tereticornis* has vessels of a larger diameter, but with a lower density than *E. pellita*. The literature refers that a vessel frequency between 4 and 27 vessels per mm^{-2} with a tangential diameter between $170 \mu\text{m}$ and $221 \mu\text{m}$ is the best suit for pulp production (Dadswell, 1972; Carvalho, 1962; Hudson et al., 1996; Wilson et al., 1998). In general, the values found in this work were at the lower range of those reported above. In what concerns to *E. tereticornis* our results show that vessels diameter despite presenting a very identical value compared to Pirralho et al. (2014), its frequency, in average, is 50% lower (13 compared to 27). A variation in fiber dimensions is expected. Shorter cells with smaller diameter and thinner walls closer to the pith are features that tend to increase for adult wood close to the bark (Lachenbruch et al., 2011). Fiber dimensions did not change radially in *E. tereticornis*; only fiber lumen diameter was smaller next to the pith. In *E. pellita*, however, we saw more changes, with larger dimensions in all features in wood next to the bark.

With the exception of slenderness index in both species and wall fraction in *E. tereticornis*, the other quality ratios for paper varied statistically from pith to bark. It is worth mentioning that radial variations in the ratios do not always correspond to variations in the quality classes.

For some quality indexes, ideal values have been established for decades. Barrichelo and Brito (1976) proposed five groups for Runkel index: fibers classified in group I (up to 0.25) are considered excellent for paper, group II (0.25-0.50), very good, group III (0.5-1.0), good, group IV (1.0-2.0), regular, and in group V (above 2.0), they should not be used for paper production in view of low degree collapse. Thus, *E. pellita* and *E. tereticornis* present indexes considered suitable for use in cellulose production, as they fall into group III, with average values of 0.87 and 0.96 respectively. According to Foelkel et al. (1978), values greater than 1.5, are not recommended for industry since good quality cellulose would have an index below 1.

For wall fraction, both species are within the limit of up to 60% recommended by Foelkel et al. (1978), *E. pellita* at 45.90% and *E. tereticornis* at 46.90%. In practice, when wall fraction is greater than 40%, industries admit that fibers will be more rigid and difficult to collapse, resulting in the production of looser mesh paper without much connection between fibers. Consequently, the corresponding paper is more porous, bulky, rough and absorbent (Foelkel, 2007).

No differences in flexibility coefficient were noted between species. Flexibility coefficient refers to the ease of union between the fibers, and according to Bektas et al. (1999), values between 0.50 and 0.75, as found in this study, classify the fibers as flexible, which when intertwined, tend to form highly resistant paper. Saikia et al. (1997) mention that species with good flexibility values, which we observed in *E. pellita* and *E. tereticornis*, are suitable for production of paper with high mechanical resistance, such as writing, printing and packaging.

Slenderness ratio determines the tearing property of paper. High value of slenderness ratio of fibres provides well bonded and better formed paper (Ashori and Nourbakhsh, 2009). We did not observe differences in slenderness index, neither in radial variation, nor between species. Considering that values more than 33 is good for pulp and paper production (Xu et al., 2006) the studied species could be classified as good for this purpose (66.64 for *E. pellita* and 68.46 for *E. tereticornis*).

5 CONCLUSIONS

Both species have potential for use in the production of paper and cellulose. Based on wood density, both species seem more indicated for the production of absorbent paper. The dimensions and frequencies vessels do not seem to impair quality in the two types of paper and cellulose. Based on the quality indexes calculated from fiber dimensions, we did not observe any variation in the flexibility coefficient between species; however, this index was more heterogeneous with the lowest value in the median position of *E. tereticornis*. The Runkel index showed that both species can be considered suitable for the production of pulp, being classified in the class of good. However, it should be noted that these are at the upper limit of the class with values close to the regular one. The slenderness index did not differ between species, and owing to this value, it was not possible to point out which species had the best performance. The results obtained with *E. pellita* and *E. tereticornis* show that both species can be used to produce paper with high mechanical resistance, such as writing, printing and packaging.

6 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Sonia Godoy Campião and Juraci de Andrade Barbosa (Instituto Florestal) for laboratory assistance. Erick Phelipe Amorim was supported by a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes: Finance Code 001), and Caio Henrique Santos was supported by Centro de Integração Empresa-Escola – CIEE.

REFERENCES

- ALVES, I.C. et al. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose kraft. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- ASHORI, A.; NOURBAKHSH, A. Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials. **Waste Management**, v. 29, n. 4, p. 1291-1295, 2009.
- BAAS, P. et al. Evolution of xylem physiology. In: POOLE, I.; HEMSLEY, A. (Ed.). **Evolution of plant physiology**. London: Elsevier Academic Press, 2004. p. 27-295.

- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. **Série Divulgação PRODEPEF**, n. 13, p. 1-145, 1976.
- BEKTAS, I.; TUTUS, A.; EROGLU, H. A study of the suitability of *Calabrian Pine* (*Pinus burtia* Jen) for pulp and paper manufacture. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 23, n. 3, p. 589-597. 1999.
- BERLYN, G.P.; MIKSCH, J.P. **Botanical microtechnique and cytochemistry**. Ames: The Iowa University Press, 1976. 326 p.
- BORRALHO, N.M.G.; COTTERILL, P.P.; KANOWSKI, P. Breeding objectives for pulp production under different industrial cost structures. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 23, n. 4, p. 648-656. 1993.
- BRINK, M. *Eucalyptus tereticornis* Sm. Timbers 1. In: LOUPPE, D. et al. (ed.) **Plant resources of tropical Africa**, Wageningen, Netherlands, PROTA Foundation, 2008. 704 p.
- CARRILLO, I. et al. Wood anatomical and chemical properties related to the pulpability of *Eucalyptus globulus*: a review. **Southern Forests: A Journal of Forest Science**, v. 80, n. 1, 1-8, 2018.
- CARVALHO, A. **Madeira de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill). Estudos, ensaio e observações**. Estudos e Divulgação Técnica. Lisboa: Direção Geral de Serviços Florestais e Aquícolas, 1962. 159 p.
- COELHO, M.R.; CUNHA, T.D. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa- Solos, v.1, 2018. 306 p.
- DADSWELL, H.E. **The anatomy of eucalypt woods**. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia, 1972. 28 p.
- DOWNES, G. et al. Wood, pulp and handsheet relationships in plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Appita Journal**, v. 56, n. 3, p. 221-228, 2003.
- ENAYATI, A.A. et al. Papermaking potential of canola stalks. **Bioresources**, v. 4, n. 1, p. 245-256, 2009.
- FERN K, FERN A, MORRIS R. **Useful Tropical Plants Database**. 2014. Available at: <<http://tropical.theferns.info/>> Access on: 07.05.2020.
- FOELKEL, C.E.B. As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel. In: **Eucalyptus online book & newsletter**, 2007. 48 p.
- _____. et al. **Eucaliptos tropicais na produção de celulose kraft**. Cenibra, n. 68, v.1, 1-31 p. 1978.
- _____. **Eucalyptus online book & newsletter**, 2009. Available at: <www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%2068.doc>. Access on: 07.mai.2020.
- GOMIDE, J.L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.
- GURGEL-GARRIDO, L.M.A. et al. Programa de melhoramento genético florestal do Instituto Florestal. **IF Série Registros**, v. 18, p. 1-53, 1997.
- HORÁČEK, P.; FAJSTAVR, M.; STOJANOVIĆ, M. The variability of wood density and compression strength of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karsten) within the stem. **Beskydy**, v. 10, n. 1-2, p. 17-26, 2017.
- HUDSON, I.; WILSON, L.; VAN BEVEREN, K. Pith to bark vessel distribution at two percentage heights in 7-year-old *E. globulus* tree and a 7-year-old *E. nitens* tree spatial analysis and maps. In: **Proceedings IAWA Anatomy and Wood Quality Meeting**, London, England, 1996.
- IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v. 3, n. 10, p. 219-332, 1989.
- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores - **Anuário estatístico da IBÁ: ano base 2019**, 2020. Available at: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>> Access on: 27 Apr. 2020.
- JOHANSEN, D.A. **Plant microtechniques**. New York: McGraw-Hill, 1940. 523 p.

KIAEI, M.; TAJIK, M.; VAYSI, R. Chemical and biometrical properties of plum wood and its application in pulp and paper production. **Maderas: Ciencia y tecnologia**, v.16, n.3, p. 313-322, 2012.

KIBBLEWHITE, R.P.; EVANS, R.; RIDDELL, M.J.C. **Proceedings of the 57th Appita Annual Genenetic Conference**, Melbourne, Australia, 2003. p. 99.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A.J. **Principles of Wood Science and Technology**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1968, v.1, 592p.

LACHENBRUCH, B.; MOORE, J.R.; EVANS, R. Radial variation in wood structure and function in woody plants, and hypotheses for its occurrence. In: MEINZER, F.C.; LACHENBRUCH, B.; DAWSON, T.E. (Ed.). **Size - and age-related changes in tree structure and function**. Dordrecht: Springer, 2011. p. 121-164.

LELES, P.S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 77-87, 2001.

MACEDO, H. R. et al. Variação, herdabilidade e ganhos genéticos em progênies de *Eucalyptus tereticornis* aos 25 anos de idade em Batatais-SP. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 100, p. 533-540, 2013.

MENUCELLI, J.R. et al. Potential of *Hevea brasiliensis* clones, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus tereticornis* wood as raw materials for bioenergy based on higher heating value. **BioEnergy Research**, v. 12, n. 1, p. 992-999, 2019.

MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Provenance effect on wood chemical composition and pulp yield for *Eucalyptus globulus* Labill. **Appita Journal**, v. 54, n. 4, p. 347-351, 2001.

_____. Variation of wood and bark density and production in coppiced *Eucalyptus globulus* trees in a second rotation. **iForest**, v. 9, n. 2, p. 270-275. 2015.

MOKFIENSKI, A. et al. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 401-413, 2008.

NETO OLIVEIRA, S.N.D.; REIS FERREIRA, M.D.G.; NEVES LIMA, J.C. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2003.

OHSHIMA, J. et al. Representatives heights for assessing whole-tree values and the within-tree variations of derived wood properties in *Eucalyptus camaldulensis* and *E. globulus*. **Wood Fibre Science**, v. 37, n.1, p. 51-65, 2005.

PAAVILAINEN, L. Paperi ja Puu. **Paper and Timber**, v. 71, n. 4, p. 356, 1989.

_____. Paperi Puu. **Paper and Timber**, v. 82, n. 3, p. 156, 2000.

PIRRALHO, M. et al. Evaluation on paper making potential of nine *Eucalyptus* species based on wood anatomical features. **Industrial Crops and Products**, v. 54, n.1, p. 327-334, 2014.

RAYMOND, C.A.; MUNERI, A. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. I. Basic density. **Wood Science and Technology**, v. 35, n. 1, p. 27-39, 2001.

REIS, C.A.F. et al. Estratégias na seleção simultânea de vários caracteres no melhoramento do *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 457-467, 2015.

REVISTA DA MADEIRA. **Espécies tropicais promissoras**. v. 18, n. 108, p. 98-106, 2007.

RIKI, J.T.B.; SOTANNDE, O.A.; OLUWADARE, A.O. Anatomical and chemical properties of wood and their practical: Implications in pulp and paper production: a review. **Journal of Research in Forestry, Wildlife & Environment**, v. 11, n. 3, 358-368, 2019.

SAIKIA, S.N.; GOSWAMI, T.; ALI, F. Evaluation of pulp and paper making characteristics of certain fast-growing plants. **Wood Science and Technology**, v. 31, p. 467-475, 1997.

- SANTOS A.; SIMÕES R.; ANJOS O. Relation between wood density and paper properties of some hardwood species. In: **TKK Report in Forest Products Technology**, Séries B: B1: Progress in Paper Physics Seminar, 2008a. p. 261-265.
- _____. et al. Effect of *Eucalyptus globulus* wood density on papermaking potential. **Tappi Journal**, v. 7, n. 5, p. 25-32, 2008b.
- _____. et al. Influence on pulping yield and pulp properties of wood density of *Acacia melanoxylon*. **The Japan Wood Research Society**, v. 58, n. 6, p. 479-486, 2012.
- SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA Solos, 2018. 356 p.
- SANTOS, S.R.; SANSÍGOLO, C.A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 1, p. 53-63, 2007.
- SCANAVACA, L.J.; GARCIA, J.N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v. 65, p. 120-129, 2004.
- SCOLFORO, J.R. **Mensuração florestal 4: avaliação da produtividade florestal através da classificação de sítio**. Lavras: ESAL, 1993. 138 p.
- SECA, A.M.L.; DOMINGUES, F.M.J. Basic density and pulp yield relationship with some chemical parameters in *Eucalyptus* trees. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12, p. 1687-1691, 2006.
- SILVA, J.C. et al. Genetic parameters for growth, wood density and pulp yield in *Eucalyptus globulus*. **Tree Genet Genomes**, v. 5, p. 291-305, 2009.
- TRUGILHO, P.F. et al. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial da amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.
- VARGHESE, M. et al. 1995. Genetic effect on wood and fiber traits of *Eucalyptus grandis* provenances. In *Eucalypt Plantations: Improving fibre Yield and Quality*. **CRCTHF-IUFRO Conference**: Hobart, Australia, 1995. p. 64-67.
- VERVERIS, C. et al. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. **Industrial Crops and Products**, v. 19, n. 3, p. 245-254, 2004.
- WANGAARD, F.F. Contributions of hardwood fibres to the properties of kraft pulps. **Tappi Journal**, v. 45, p. 548-556, 1962.
- WIEDENHOEF, A.C.; MILLER, R.B. Structure, and function of wood. In: **Handbook of wood chemistry and wood composites**. ROWELL, R.M. (ed.). Boca Raton, Fla.: CRC Press, p. 9-33. (2005).
- WILSON, L.; VAN BEVEREN, K.; HUDSON, I. Whole tree vessel distribution in seven-year-old plantation *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. In: **proceedings of the 52nd Appita Conference**, Brisbane, Australia, 1998.
- XU, F. et al. Anatomy, ultra-structure, and lignin distribution in cell wall of *Caragana korshinskii*. **Industrial Crops and Production**, v. 24, n. 2, p. 186-193, 2006.
- ZANATA, M. et al. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção em teste de progênies de polinização aberta de *Eucalyptus pellita*, em Batatais/SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 22, n. 2, p. 233-242, 2010.
- _____. **Efeito do manejo na qualidade do solo e da água em microbacias hidrográficas, Batatais, SP**. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

VARIAÇÕES LONGITUDINAIS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE *Mimosa tenuiflora*¹

LONGITUDINAL VARIATION IN THE PHYSICAL PROPERTIES OF *Mimosa tenuiflora* WOOD¹

Sara Sebastiana NOGUEIRA ²; Vinicius Gomes de CASTRO ^{2,3}

RESUMO - A Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) é uma espécie da Caatinga amplamente utilizada como lenha, porém possui potencial para fabricação de produtos de maior valor agregado, como exemplo, pisos de madeira sólida. O objetivo deste trabalho foi caracterizar longitudinalmente as propriedades físicas da madeira de *M. tenuiflora* para avaliar seus potenciais madeireiros. A massa específica básica de *M. tenuiflora* variou entre 0,97 e 0,77 g.cm⁻³ da base ao topo do fuste. Contudo, não houve variação entre índices de retrações, lineares ou volumétrica ao longo do fuste, sendo estes considerados baixos para a retração radial e volumétrica e médio para retração tangencial. O fator anisotrópico da madeira se manteve abaixo ou próximo ao limite de 1,5. A combinação destes fatores indicou que *M. tenuiflora* apresenta madeira pesada e dimensionalmente estável, o que a torna potencial matéria prima para produção de pisos.

Palavras-chave: Fator anisotrópico; Massa específica básica; Retração volumétrica.

ABSTRACT - Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) is a Caatinga species largely used as firewood, however has potential to value-added products manufacture, e.g., solid wood floors. The aim of this study was to characterize physical wood properties of *M. tenuiflora* in the longitudinal direction to evaluate its timber potential. *Mimosa tenuiflora* basic specific density ranged between 0.97 and 0.77 g.cm⁻³ from the bottom to the top of the stem. However, there was no variation of linear or volumetric shrinkage indexes along the stem, which were considered low for radial and volumetric shrinkage and medium for tangential shrinkage. The anisotropic factor of wood remained below or close to the 1.5 limit. The combination of these factors indicated that *M. tenuiflora* presents heavy and dimensionally stable wood, which makes it a potential raw material for flooring production.

Keywords: Anisotropic factor; Basic density; Volumetric shrinkage.

¹ Recebido para análise em 09.07.2021. Aceito para publicação em 16.08.2021.

² Departamento de Ciências Agrárias e Florestais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Rua Francisco Mota Bairro, 572, Presidente Costa e Silva, 59625-900, Mossoró, RN, Brasil

³ Autor para correspondência: vinicius.castro@ufersa.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Mimosa tenuiflora (Willd.) Poiret é a espécie popularmente conhecida no Brasil pelo nome popular Jurema-preta. É uma espécie arbustiva da família Fabaceae, que pode chegar de 2 a 2,5 m de altura, amplamente distribuída em regiões semiáridas do Brasil, Colômbia, El Salvador, Honduras, México e Venezuela (Alves et al., 2018). Morais et al. (2018) avaliaram indivíduos em cinco diferentes localidades da Paraíba e encontraram troncos com um diâmetro à altura do peito de até 12 cm, e uma madeira com cerne e albúmeno distintos variando de uma cor marrom a um amarelo claro acinzentado. A madeira dessa espécie é considerada pesada e de alta durabilidade natural, com um grande potencial para construção de móveis de pequenas dimensões e para produção de estacas e moirões de cerca (Bakke et al., 2018).

Embora *M. tenuiflora* apresente um potencial madeireiro diversificado, a exploração da espécie na região Nordeste do Brasil se dá principalmente para a produção de lenha. Magalhães et al. (2017) realizaram um levantamento em um assentamento no estado do Alagoas e observaram que a espécie foi elencada entre as três culturalmente mais importantes como biocombustível. O uso doméstico da lenha é uma realidade em comunidades rurais de toda a região Nordeste, sendo que Lima et al. (2018) reportaram que esta prática não ocorre por opção, e sim pela falta de condições econômicas para comprar gás de cozinha. Por sua vez, a necessidade de uma fonte de energia barata gera uma pressão na exploração ilegal de grande potencial destrutivo.

A oferta de produtos madeireiros de maior valor agregado (PMVA) do que a lenha para as comunidades rurais pode vir a ser uma oportunidade para maior geração de renda ao mesmo tempo da implantação de cortes seletivos e sustentáveis que considere a dinâmica de renovação lenta das espécies do semiárido. Neste contexto, a exploração da Jurema-preta, e até o seu plantio, é uma alternativa, uma vez que a espécie é pioneira e capaz de se desenvolver inclusive em áreas degradadas com solos expostos (Ferreira et al., 2020). Por exemplo, um dos PMVA mais conhecido é o piso de madeira sólida acabado. Texeira et al. (2019) observaram correlações entre a densidade e algumas propriedades requeridas para a produção de pisos de qualidade, sugerindo ainda outros estudos considerando o inchamento e retração das madeiras. Essa propriedade essencial na confecção de assoalhos por ser relacionada a estabilidade dimensional que expressa diretamente o comportamento de uma peça e indica sua

susceptibilidade a empenamentos e rachaduras (Rodrigues et al., 2008).

Uma forma de compreender a importância do mercado de pisos de madeira é avaliar os dados oficiais de exportação. No ano de 2018, foram exportados mundialmente um valor em torno de 9 bilhões de dólares. Embora, no mesmo ano, o Brasil tenha produzido 8,5 milhões de m², este valor não foi o suficiente para ele estar entre os cinco maiores exportadores deste produto, lista essa liderada pelas Filipinas. No Brasil, 95% das indústrias desse produto se concentram em apenas cinco estados: Pará, Paraná, Mato Grosso, São Paulo e Santa Catarina (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI, 2019). A ausência de uma participação efetiva neste mercado por estados nordestinos em parte está relacionada a falta de tradição e desconhecimento do potencial das madeiras locais para este fim.

A madeira de *Mimosa tenuiflora* apresenta densidade semelhante às madeiras tidas como mais promissoras para a produção de pisos, conforme reportado por Texeira et al. (2019), mas para determinar se a madeira da espécie é realmente adequada para esse fim, é necessário conhecer e analisar suas propriedades físicas antes de sua recomendação. Desta forma, este trabalho teve como objetivo caracterizar e correlacionar as propriedades físicas da madeira de *Mimosa tenuiflora*, ao longo do sentido longitudinal do seu tronco.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Três indivíduos de *M. tenuiflora* foram coletados em uma fazenda sob plano de manejo florestal localizada no município de Upanema/RN (coordenadas: latitude de 05°30'20,8'' S e longitude de 37°20'37,0'' W). Os indivíduos selecionados tinham alturas entre 5 e 6 metros e diâmetro à altura do peito (DAP) em média de 12 cm, sendo estimada uma idade média de aproximadamente 20 anos. Os troncos foram seccionados em discos de 5 cm de espessura nas alturas de 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% (topo) referente à altura comercial.

De cada disco, foram confeccionados 2 corpos de prova com dimensões 2 x 2 x 3 cm, considerando o sentido radial, tangencial e longitudinal, respectivamente, totalizando 6 repetições por altura investigada. As amostras foram mantidas submersas em água até atingirem volume constante após duas medições consecutivas. Neste ponto, as madeiras das amostras foram consideradas no ponto de saturação

das fibras (PSF). O volume foi determinado pelo método estereométrico por imersão em água destilada. As dimensões lineares foram mesuradas com auxílio de um paquímetro digital. Em seguida, os corpos de prova foram colocados em estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até atingirem massa constante, considerada como massa seca. As dimensões foram novamente medidas nos mesmos pontos para que os valores de retrações lineares pudessem ser calculados.

A massa específica básica (relação entre massa seca e volume saturado), os índices de retrações linear (radial, tangencial e longitudinal) e de retração volumétrica (RV) foram determinados de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Os coeficientes de anisotropia das amostras foram calculados através da razão entre a retração tangencial e a radial.

Realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) com Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) para as variáveis de propriedades físicas das amostras da madeira de Jurema-preta a diferentes alturas. O teste de diferenciação das médias Tukey

foi aplicado, em nível de probabilidade de 95%. Para analisar a relação entre massa específica básica e os índices de retração, foram aplicados modelo de regressão linear simples independente da altura do tronco.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve uma diminuição na massa específica básica da madeira de Jurema-preta ao longo do seu tronco. Os valores médios desta propriedade foram estatisticamente iguais para as duas porções inferiores do tronco e superiores em comparação às partes mais altas (Tabela 1). As partes centrais do tronco (50% e 75% da altura comercial) também foram semelhantes entre si e superiores ao valor médio encontrado para a madeira do topo. O valor médio foi semelhante aos encontrados na literatura. Paes et al. (2013) apontaram um valor médio de $0,88 \text{ g.cm}^{-3}$, enquanto Bakke et al. (2018) relataram uma madeira ligeiramente mais pesada, com massa específica de $0,91 \text{ g.cm}^{-3}$.

Tabela 1. Propriedades físicas da madeira de *Mimosa tenuiflora* a diferentes alturas do tronco.

Table 1. Wood physical properties of *Mimosa tenuiflora* at different stem height.

Alturas	ρ_b (g.cm^{-3})	β_r (%)	β_t (%)	β_l (%)	β_v (%)	FA
0%	0,97 (0,02) a	3,75 (0,16) a	5,84 (0,28) a	0,38 (0,55) a	9,29 (0,28) a	1,55
25%	0,93 (0,01) a	5,39 (0,30) a	5,43 (0,36) a	0,27 (0,39) a	10,81 (0,31) a	1,01
50%	0,86 (0,04) b	4,35 (0,16) a	4,35 (0,18) a	0,51 (0,14) a	7,88 (0,23) a	1,00
75%	0,83 (0,04) b	4,34 (0,27) a	4,92 (0,21) a	0,31 (0,56) a	8,90 (0,23) a	1,00
100%	0,77 (0,05) c	4,96 (0,09) a	4,96 (0,21) a	0,59 (0,38) a	10,31 (0,23) a	1,13
Média	0,87	4,59	5,16	0,41	9,45	1,14

Em que: ρ_b = massa específica básica; β_r = retração radial; β_t = retração tangencial; β_l = retração longitudinal; β_v = retração volumétrica; FA = fator anisotrópico; Valores seguidos de uma mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem estatisticamente. Valores entre parênteses referentes ao coeficiente de variação.

Where: ρ_b = basic specific gravity; β_r = radial shrinkage; β_t = tangential shrinkage; β_l = longitudinal shrinkage; β_v = volumetric shrinkage; FA = anisotropic factor; Values followed by the same letter, in the same column, do not differ statistically. Values in parentheses referring to the coefficient of variation.

De acordo com classificação sugerida por Zaque et al. (2019), a madeira da Jurema-preta, no geral, pode ser classificada como pesada. Silva et al. (2011) atribuem o alto peso desta espécie à alta porcentagem (acima de 35%) de fibras. A alta densidade da madeira verificada por este trabalho, juntamente com as características anatômicas indicadas na literatura (Silva et al. 2011), apontam que a madeira de *M. tenuiflora* poderia ser classificada com as espécies do grupo 3 do trabalho de Lobão et al. (2010), que agrupam espécies com potencial para produção de pisos e construção civil pesada.

Batista et al. (2020) também observaram um comportamento semelhante e indicaram uma correlação entre altura e massa específica da madeira de *M. tenuiflora*. De acordo com os autores, esse comportamento ocorreu pelo fato de que a madeira da base tende a possuir maior proporção de cerne do que a do topo. Contudo, Silva et al. (2011) não observaram diferenças significativas entre a massa específica da madeira do cerne e do alburno de *M. tenuiflora*. Zaque et al. (2018) apontaram que a diferença das massas específicas no sentido longitudinal pode estar relacionada à idade da madeira. Células adultas

tendem a apresentar paredes celulares mais espessas do que células juvenis, mais abundantes no topo.

Não houve diferença estatística para nenhum dos valores de retrações lineares ou volumétrica ao longo do tronco das árvores de *M. tenuiflora*. De acordo com a classificação sugerida por Eleotério et al (2015), a madeira apresentou baixa retração tangencial e volumétrica e uma retração radial mediana. Os valores médios encontrados neste trabalho foram inferiores aos reportados por Rocha et al. (2015). O valor com maior discrepância entre os trabalhos foi o da retração tangencial. Os autores supracitados apresentaram um valor médio de 14,21%, considerado alto, em contraste com o aqui apresentado de 5,16%. A variação entre esses valores pode ser ligada à idade das amostras. Madeira juvenil tem maior ângulo das microfibrilas na parede celular, que resulta em menor retração transversal (Palma e Ballarin, 2003). Essa teoria é sustentada pelo fato de o valor médio de retração longitudinal ter sido superior à média da maioria das espécies que varia entre 0,1 e 0,2% (Glass e Zelinka, 2010).

Para a madeira ser considerada estável, além dos baixos valores de retração, é importante que o fator anisotrópico se mantenha abaixo de 1,5 para se evitar defeitos de secagem como fendilhamento e empenamento (Klitze et al., 2008). O valor do fator de anisotropia da base foi levemente superior a este limite, mas não ao ponto de inviabilizar seu

aproveitamento, uma vez que não houve diferença estatística entre as alturas. Araújo et al. (2016) observaram essa tendência da madeira da base de uma árvore ser mais anisotrópica do que a do topo. Os autores também atribuíram a menor movimentação dimensional da madeira do topo à predominância de madeira juvenil.

A instabilidade dimensional da madeira se deve a moléculas de água que se ligam por pontes de hidrogênio às microfibrilas de celulose. Quando a madeira seca, a água sai e deixa um espaço que é preenchido por forças de coesão que reaproxima as microfibrilas. Por essa razão, a tendência geral é que madeiras mais densas absorvam mais água por unidade de volume, por ter maior proporção de parede celular, e consequentemente apresentem maiores valores de retração (Araújo et al., 2016). Contudo, não foi possível observar fortes correlações entre a massa específica básica da *M. tenuiflora* e de suas retrações lineares e volumétrica (figura 1).

A falta de correlação entre a massa específica básica e as retrações não é incomum na literatura. Por exemplo, Nogueira et al. (2020) também não observaram a correlação para *Mimosa ophthalmocentra* do mesmo gênero de *Mimosa tenuiflora*. Enquanto Evangelista e Costa (2017) observaram correlação significativa fraca entre massa específica básica e as retrações quando estudaram o potencial da madeira de *Hymenaea* sp. e de *Handroanthus* sp. para confecção de pisos.

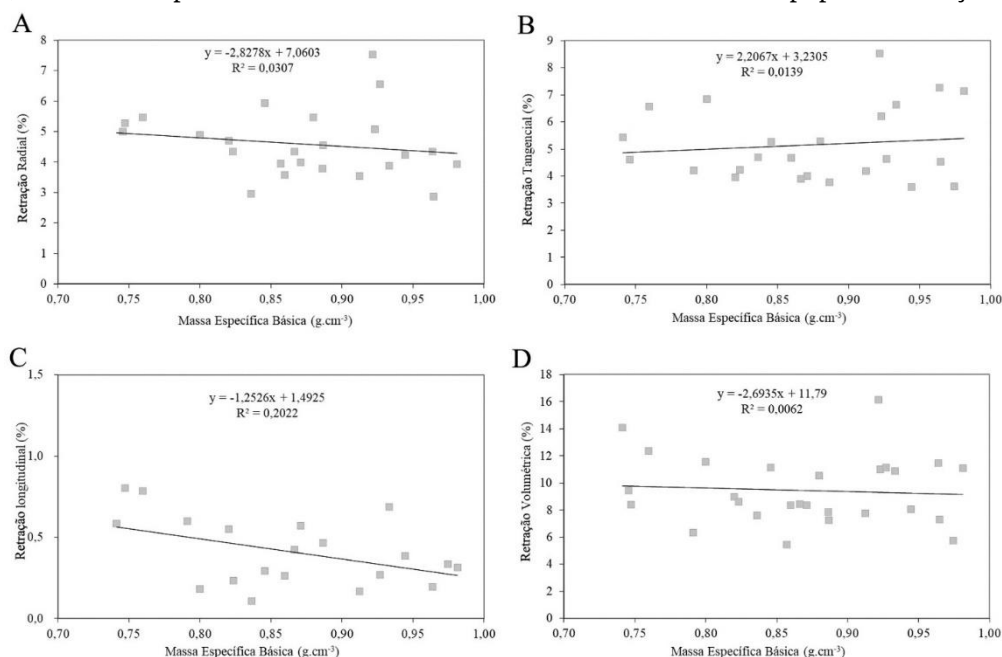


Figura 1. Correlações lineares entre massa específica básica e retração radial (A), tangencial (B), longitudinal (C) e volumétrica (D) na madeira de *Mimosa tenuiflora* Wood.

Figure 1. Linear correlation between basic density and radial (A), tangential (B), longitudinal (C), and volumetric (D) shrinkage in *Mimosa tenuiflora* Wood.

4 CONCLUSÕES

A madeira de *Mimosa tenuiflora* (Jurema-preta) possui potencial para ser utilizada na fabricação de produtos de maior valor agregado, gerando assim mais renda para comunidades rurais pobres da região Nordeste que atualmente subaproveitam a madeira da espécie na produção de lenha. Foi comprovado que sua madeira é dimensionalmente estável e com fator anisotrópico próximo a 1, que a torna resistente ao fendilhamento e empeno durante o processo de secagem. Embora tenham sido observadas diferenças estatísticas entre a densidade da base e do topo do fuste, a madeira foi considerada como um todo pesada e a variação não teve influência nas propriedades de retrações lineares ou volumétrica.

REFERENCES

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Estudo setorial 2019. Ano base 2018**. Curitiba: ABIMCI, 2019. 160p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeiras. São Paulo: ABNT, 1997.
- ALVES, A.S.A.; SANTOS, G.C.; ALBUQUERQUE, U.P. *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. In: ALBUQUERQUE, U.P.; PATIL, U.; MÁTHÉ, A. (Ed.). **Medicinal and aromatic plants of South America, Brazil**. Dordrecht: Springer, 2018. p. 345-354.
- ARAÚJO, B.H.P. et al. Propriedades físicas da madeira de *Calycophyllum spruceanum* Benth. em função do diâmetro e da posição (base e topo) no fuste. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 759-768, 2016.
- BAKKE, I.A. et al. *Mimosa tenuiflora*. Jurema-preta. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F.G.C. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial**. Brasília: MMA, 2018. p. 569-577.
- BATISTA, F.G. et al. Longitudinal variation of wood quality in the five forest species from Caatinga. **Agrária**, v.15, n.4, p. e8572, 2020.
- ELEOTÉRIO, J.R. et al. Massa específica e retratibilidade da madeira de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 329-336, 2015.
- EVANGELISTA, W.V.; COSTA, E.D. Avaliação de propriedades físico-anatômicas de duas madeiras usadas na produção de pisos. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 15, n. 2, p. 132-138, 2017.
- FERREIRA, M.B. et al. Spatial distribution, regeneration, growth and thicket formation of thornless *Mimosa tenuiflora* in a Caatinga site of Northeast Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 43, n. 3, p. 137-149, 2020.
- GLASS S.V.; ZELINKA, S.L. Moisture relations and physical properties of wood. In: ROSS, R.J. (ed.) **Wood Handbook, wood as an engineering material**. Madison: USDA Forest Service, 2010. p. 4.1-4.19.
- KLITZKE, R.J. et al. Caracterização dos lenhos de cerne, alburno e transição de jatobá (*Hymenaea* sp.) visando ao agrupamento para fins de secagem convencional. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 80, p. 279-284, 2008.
- LIMA, J.R.F. et al. Inventário *in situ* como método para avaliação da extração de recursos madeiros na Caatinga: estudo de caso no município de Cabeceiras (Paraíba, Brasil). **Revista Nordestina de Biologia**, v. 26, n.1, p.1-18, 2018.
- LOBÃO, M.S. et al. Agrupamento de espécies florestais pela similaridade das características físico-anatômicas e usos da madeira. **Cerne**, v. 16, p. 97-105, 2010.
- MAGALHÃES, C.S.; SILVA, H.C.H.; RAMOS, M.A. Levantamento de plantas lenhosas conhecidas, usadas e preferidas como combustíveis no assentamento rendeiras em Girau do Ponciano – AL. **Revista Ouricuri**, v. 7, n. 2, p.75-94, 2017.
- MORAIS, R.M. et al. Dendrological characterization as inspection resources of Caatinga wood market. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, p. e20170813, 2018.

NOGUEIRA, S.S.; CASTRO, V.G. Propriedades físicas da *Mimosa tenuiflora*

PAES, J.B. et al. Características físico-química, energética e dimensões das fibras de três espécies lorestais do semiárido brasileiro. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 550-555, 2013.

PALMA, H.A.L.; BALLARIN, A.W. Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 13-22, 2003.

ROCHA, H.L.S. et al. Caracterização físico mecânica da madeira de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) visando seu emprego na indústria moveleira. **Agrária**, v.10, n.2, p. 262-267, 2015.

RODRIGUES, E.A.C. et al. Seleção de clones de *Eucalyptus* para as propriedades físicas da madeira avaliadas em árvores no campo. **Cerne**, v. 14, n. 2, p. 147-152, 2008.

SILVA, L.B. et al. Estudo comparativo da madeira de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. Ex Benth e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Fabaceae-Mimosoideae) na caatinga nordestina. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 301-314, 2011.

TEXEIRA, D.E. et al. Resistência à abrasão, dureza Janka e a correlação com outras propriedades em 14 espécies de madeiras tropicais brasileiras com potencial para utilização em pisos de madeira. **Ciência da Madeira**, v.10, n.2, p.135-141, 2019.

ZAQUE, L.A.M.; FERREIRA, M.D.; MELO, R. R. Variação radial e longitudinal da massa específica básica da madeira de *Araucaria angustifolia* com diferentes idades. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. e2010601368, 2018.

_____. et al. Caracterização colorimétrica e da massa específica das madeiras comercializadas no Mato Grosso. **Ciência da Madeira**, v. 10, n. 3, p. 236-246, 2019.

LINTER RECICLADO DE ALGODÃO: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL¹

LINTER RECYCLED COTTON: SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR THE PULP AND PAPER PRODUCTION¹

Fabricao Junki Blanco KUMABE^{2,4}; Cláudio Angeli SANSÍGOLO²; Isabel HOMCZINSKI³

RESUMO - Esta pesquisa objetivou determinar as propriedades físicas, químicas e anatômicas do linter residual de algodão, material oriundo da indústria têxtil, para fabricação de celulose e papel. Foram avaliados três tratamentos (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), em que se analisou as seguintes propriedades: teor de umidade, densidade aparente, teor de holocelulose, extrativos totais, lignina, número kappa e solubilidade em NaOH 1 e 5% em água quente e água fria, teor de cinzas, determinação das dimensões das fibras e as relações entre essas dimensões, seguindo as normas da TAPPI. Na avaliação física da umidade, não houve diferença estatística significativa entre as médias dos tratamentos. Para densidade e teor de holocelulose, o Blue 40 apresentou a maior média (0,088 g.cm⁻³ e 90,82%, respectivamente). O teor de lignina do Blue 40 apresentou a menor média (1,95%). A porcentagem de cinzas foi igual para os tratamentos Blue 40 e Alvejado 30 (0,80%). Na avaliação da solubilidade em NaOH 1% e solubilidade em água quente, os tratamentos Blue 30 e Alvejado 30 apresentaram médias iguais (8% e 5%, respectivamente) e superiores a Blue 40. Para a solubilidade em NaOH 5%, os tratamentos Blue 30 e Blue 40 apresentaram médias iguais (6%). Os valores de solubilidade em água fria foram iguais para o Blue 40 e Alvejado 30 (5,04%) e superiores ao Blue 30. Desta forma, a Blue 40 apresentou melhores características para produção de celulose e papel.

Palavras-chave: Linter residual; Indústria têxtil; Lignina; Reciclável.

ABSTRACT - This research aimed to determine the physical, chemical and anatomical properties of the residual cotton linter, a material from the textile industry, for the manufacture of cellulose and paper. Three treatments were evaluated (blue recycled linter 40, blue recycled linter 30 and bleached recycled linter 30), in which the following properties were analyzed: moisture content, bulk density, holocellulose content, total extractives, lignin, kappa number and solubility in NaOH 1 and 5% in hot and cold water, ash content, determination of fiber dimensions and the relationships between these dimensions, following TAPPI standards. In the physical evaluation of moisture, there was no statistically significant difference between the treatment means. For density and holocellulose content, Blue 40 had the highest average (0.088 g. cm⁻³ and 90.82%, respectively). The lignin content of Blue 40 had the lowest average (1.95%). The percentage of ash was the same for the treatments Blue 40 and Bleach 30 (0.80%). In the evaluation of solubility in NaOH 1% and solubility in hot water, the treatments Blue 30 and Bleach 30 had equal means (8% and 5%, respectively) and higher than Blue 40. For the solubility in NaOH 5%, the treatments Blue 30 and Blue 40 had equal means (6%). The cold-water solubility values were equal for Blue 40 and Bleach 30 (5.04%) and higher than Blue 30. Thus, Blue 40 presented better characteristics to produce pulp and paper.

Key words: Residual linter; Textile industry; Lignin; Recyclable.

¹ Recebido para análise em 25.09.2020. Aceito para publicação em 13.09.2021.

² Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Avenida Universitária, 3780, 18610-034, Botucatu, SP, Brasil.

³ Universidade Estadual do Centro Oeste, Campus de Irati, PR 153, km 7, 84500-000, Irati, PR, Brasil.

⁴ Autor para correspondência: Fabricao Junki Blanco Kumabe - kumabe.fjb@icloud.com

1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque global no setor de celulose, e mantém-se desde 2012 entre os quatro maiores produtores mundiais, sendo o segundo maior exportador. A razão do alto crescimento da produção de celulose nacional é resultado da elevada competitividade, que por sua vez, é oriunda da floresta: condições edafoclimáticas favoráveis combinadas a um longo histórico de investimento em pesquisa e desenvolvimento, que como resultado elevaram a produtividade de *Pinus* e, principalmente, de *Eucalyptus* ao maior patamar mundial (Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - Bracelpa, 2015).

O sucesso do Brasil no mercado global de celulose está limitado ao *Eucalyptus*, pois toda a exportação brasileira de fibra curta é originária desse gênero florestal, enquanto a produção nacional de fibra longa, direcionada ao mercado interno, mostra um crescimento bastante limitado (Valverde et al., 2006; Vidal e Hora, 2014). Atualmente, a produção nacional dessa fibra é insuficiente para atender à demanda interna (Vidal e Hora, 2014). E é neste contexto que se insere a busca por fontes alternativas de fibras, como por exemplo, a utilização de produtos não madeireiros.

Apesar de a madeira ser hoje a principal fonte de matéria prima para produção de celulose e papel, outras fontes de fibras vegetais vêm sendo utilizada como uma nova alternativa para a produção. A produção de polpa celulósica proveniente de fibras de plantas não arbóreas representa entre 5-7% do total de polpa produzida no mundo, e o principal interesse deste tipo de celulose é que proporciona excelentes fibras para fabricação de papéis (Rodrigues, 2017). E é nesse contexto que se insere a busca por alternativas sustentáveis e economicamente viáveis.

O aproveitamento de resíduos e de plantas não arbóreas provenientes do setor industrial são potencialmente favoráveis para a produção de polpa, pois consiste em revalorizar o que para o setor teoricamente já não tem mais valor. Com isso, vários estudos têm sido realizados testando a qualidade dessas fibras para a produção de celulose, como por exemplo: papéis artesanais com fibras virgens de bambu (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro) e de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) (Andrade et al., 2001), celulose com fibras vegetais de buriti (*Mauritia vinifera* Mart.) (Pereira et al., 2003), celulose com fibras da palmeira tucum (*Bactris inundata* Mart.) (Pereira et al., 2004), fibra de coco verde para produção de celulose e papel (Senhoras,

2004), celulose com o caule de mandioca (Azzini et al., 1996), e com o linter derivado do aproveitamento do algodão.

É importante ressaltar que desde os primórdios da colonização, monoculturas como o algodão são utilizadas com as mais diversas finalidades em todo o mundo. No Brasil, o algodão é cultivado em quase todos os estados, sendo produzido, principalmente, no Mato Grosso, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Maranhão. O Brasil é o quinto maior produtor de algodão do mundo, atrás apenas da Índia, China, Paquistão e Estados Unidos, com uma produção de 26.930 mil toneladas na safra 2017/2018, sendo o segundo maior exportador e nono maior consumidor mundial (Severino et al., 2019).

Atualmente, praticamente toda a produção de algodão é destinado a indústria têxtil, entretanto, nos primórdios evolutivos a maior parte do algodão produzido era utilizado, por exemplo, para produção de celulose e papel, por apresentar características químicas favoráveis para esta tecnologia (Vidal, 2013). Desta forma, o aproveitamento do linter do algodão produzido pelas indústrias têxteis é uma alternativa na produção de celulose e papel. O linter consiste em uma matéria-prima na maioria das vezes descartada pela indústria, que facilmente pode ser aproveitada para as mais diversas vertentes.

Devido a demanda de fabricação de celulose e papel acredita-se que a busca por potencialidades seja necessária, para disposição no suprimento da demanda atual. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi determinar as propriedades físicas, química e anatômicas do linter residual de algodão (linter reciclado blue 40, blue 30 e alvejado 30), material oriundo da indústria têxtil para fabricação de celulose e papel.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O material consistiu de três tratamentos de linters (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30) obtido como resíduo da indústria têxtil, os linter de número 30 apresentam maior grau de refino, quando comparados ao de numeração 40. As amostras foram fornecidas pela empresa Etex Industrial e Comercial Têxtil Ltda, localizada em São Paulo – SP. Esta empresa compra os retalhos das indústrias têxteis (principalmente de calças jeans), desfia e utiliza estes linters para diversas finalidades como a fabricação de palmilha de sapato, papel, fibrocimento e na indústria automobilística.

As amostras de linters foram moídas em moinho Wiley, e posteriormente classificada para obtenção da fração 40/60 mesh. Foram efetuadas as seguintes análises em cada amostra de linter: solubilidade em NaOH 1% (TAPPI T 4 wd-75), solubilidade em NaOH 5% (TAPPI T 4 wd-75), solubilidade em água quente e em água fria (TAPPI T 207 cm-99), teor de extrativos totais (TAPPI T 12 wd-82), teor de lignina Klason insolúvel em ácido sulfúrico (TAPPI T 249 cm-85), teor de holocelulose (designificação com clorito de sódio), teor de cinzas (TAPPI T 211 om-85) e teor de umidade (TAPPI T 258 om-11), determinado por meio da equação 1.

$$Ubu = \frac{PU - PS}{PU} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

em que: Ubu = umidade base úmida, em porcentagem (%); PU = peso úmido do linter, em gramas (g); PS = peso seco em estufa do linter, em gramas (g).

A determinação da densidade aparente foi efetuada usando um recipiente cilíndrico de capacidade conhecida. As determinações foram realizadas em triplicata por meio da equação 2.

$$DAL = \frac{PS}{VA} \quad \text{Eq. 2}$$

em que: DAL = densidade aparente do linter, em gramas por centímetro cúbico (g.cm⁻³); PS = peso seco do linter em gramas (g); VA = volume aparente do linter, em centímetro cúbico (cm³).

A classificação das fibras foi realizada em classificador Bauer McNett, marca TMI, equipado com as peneiras padrão US 16 - 30 - 50 - 100 e 200 mesh, correspondente, respectivamente, às seguintes aberturas em mm: 1,190; 0,595; 0,297; 0,149; 0,074 mm (norma TAPPI T 233 cm-95). Em cada determinação foi utilizado o equivalente a 10 g s.e. de polpa durante 10 minutos. Foram efetuadas determinações em duplicata para quantificar as retenções da polpa nas cinco peneiras. Ao final, as fibras da polpa foram classificadas por comprimento nessas cinco frações.

Para análise anatômica em microscópio, foram confeccionadas folhas de gramatura referente a 1g de linter seco/m², posteriormente com o uso de papel contact foram retidas amostras de área referente a 10 cm², e em seguida levado ao microscópio para a caracterização.

A polpação mecânica dos linters foi efetuada em moinho centrífugo Jokro Mühle, 150 rpm, utilizando 16 g s.e. por panela, a uma consistência

de 6%, nos níveis 4500, 6750, 9000, 11250 e 13500 revoluções para verificar a possibilidade de formação de folhas de papel para realização dos ensaios físico-mecânicos. Para determinação da capacidade de refino de cada amostra foi feita a quantificação da drenagem das fibras por meio da determinação do grau Schopper-Riegler de acordo com metodologia ISO 5267-1: 1979.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), em três tratamentos (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), com seis repetições. Os dados obtidos a partir das avaliações foram submetidos ao teste de Bartlett ($p < 0,05$), para verificar a homogeneidade das variâncias dos tratamentos, e ao teste de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$) para avaliar a normalidade dos dados. As variáveis cujas variâncias mostraram-se homogêneas e com distribuição dos dados normais, tiveram os efeitos dos tratamentos testados pelo F da ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey, considerando 5% de probabilidade de erro, calculados no software R versão 4.0.3 (R Core Team, 2019) com o pacote “*ExpDes.pt*” (Ferreira et al., 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para a composição química do linter do algodão estão apresentados na Tabela 1. Vale salientar que, alguns resultados justificam suas variações por se tratar de resíduos da indústria têxtil, que podem conter impurezas permanentes mesmos após os processos químicos de caracterização, desta forma os valores da composição química (teor de holocelulose, extrativos, lignina e cinza) não fecham 100 %.

Segundo Wehr (1991) o conhecimento da composição química da matéria prima destinada à produção de celulose é de grande valia, uma vez que os dados fornecerão condições para que se estabeleçam os parâmetros do processo de polpação, como o consumo de reagentes, rendimento em celulose e quantidade de sólidos gerados no licor negro.

O teor de holocelulose dos tratamentos apresentaram valores superiores aos encontrados por outros autores para outras espécies. Bonfatti Júnior (2010) relata teor de holocelulose de 66,28% para *Bambusa vulgaris*. Já Gomide et al. (1982) e Fernández (2010) relatam uma porcentagem de holocelulose de 64,94 e 66,63%, respectivamente, para a mesma espécie.

Tabela 1. Valores médios da composição química, solubilidade e número Kappa de linter reciclado de algodão obtido como resíduo da indústria têxtil (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), localizada em São Paulo – SP.

Table 1. Average values of chemical composition, solubility and Kappa number of recycled cotton linter obtained as waste from the textile industry (blue recycled linter 40, blue recycled linter 30 and bleached recycled linter 30), located in São Paulo – SP.

Variáveis avaliadas	Linter reciclado			Média	CV %
	Blue 30	Blue 40	Alvejado 30		
Teor de holocelulose (%)	86,38b	90,82a	78,91c	85,37	0,31
Teor de extrativos (%)	6,40a	5,02ab	3,05b	4,82	14,36
Teor de lignina (%)	8,57b	1,95c	11,8a	7,46	0,55
Cinzas (%)	1,45a	0,89b	0,82b	1,05	11,08
Solubilidade NaOH 1% (%)	8,68a	5,30 b	8,02a	7,33	3,70
Solubilidade NaOH 5% (%)	6,91a	6,31 a	4,06b	5,76	5,61
Solubilidade em água fria (%)	5,04a	2,20 b	5,04a	4,09	3,60
Solubilidade em água quente (%)	4,97a	1,84 b	4,70a	3,84	6,42
Número Kappa	19,3	19,5	2,3	13,70	----

Médias seguidas de mesma letra e linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5%; CV: coeficiente de variação (%).

Means followed by the same letter and line do not differ significantly by the Tukey test at the 5% level; CV: coefficient of variation (%).

Para o *Pinus taeda*, Fraga et al. (2002) encontrou teores de holocelulose de 64,50%, já Andrade (2006) obteve valores para holocelulose variando entre 70,61 e 73,30% nas idades de 8, 14 e 20 anos para mesma espécie. Para espécies do gênero *Eucalyptus*, Gomide et al. (2005) obtiveram resultados variando entre 64,5 e 70,2%. Pereira et al. (2000) para *Eucalyptus benthamii*, obtiveram um teor de 69,70%. Porém, Diogo (2014) apresenta valores para clones de *E. grandis* de um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* de 77%. Já Santos (2011) para *E. urograndis* obteve uma porcentagem de holocelulose de 74,71%.

Os valores de teor de extrativos encontrados na presente pesquisa foram muito próximos ao encontrado para outras espécies, como *B. vulgaris* que pode variar de 9,46% a 13,37% (Gomide et al., 1982; Bonfatti Júnior, 2010; Fernández, 2010); *Pinus taeda*, que pode variar de 1,85 a 3,10% dependendo da idade (Andrade, 2006), ou atingir valores de 8,2% (Fraga et al., 2002) e; do gênero *Eucalyptus*, que pode variar de 1,76 a 4,13% dependendo da espécie (Pereira et al., 2000; Gomide et al., 2005; Santos, 2011; Diogo, 2014). De acordo com Ferreira et al. (1997), o estudo do teor de extrativos é importante na produção de celulose e papel em razão, principalmente, do consumo de reagentes químicos, perda de rendimento, inibição de reações, incrustação de materiais na polpa e nos

equipamentos, corrosão, podendo também causar certa dificuldade no branqueamento.

Os resultados do teor de lignina obtidos no presente estudo foram menores se comparados às pesquisas de Bonfatti Júnior (2010), Gomide et al. (1982) e Fernández (2010) para a espécie *B. vulgaris*, em que os autores obtiveram um teor de lignina de 22,17%, 17,91% e 22,91%, respectivamente. A lignina de *P. taeda* também teve valores mais altos que o encontrado na presente pesquisa, podendo variar de 26,54 a 29,17% (Fraga et al., 2002; Andrade, 2006). Para espécies do gênero *Eucalyptus* esse valor também é maior que a da presente pesquisa, variando de 23,73 a 31,7% (Pereira et al., 2000; Gomide et al., 2005; Diogo, 2014).

Ao avaliar os dados do presente estudo com os demais estudos acima citados é possível verificar que o linter obteve teor de holocelulose maior que os de eucalipto, pinus e bambu. Já em relação ao teor de extrativos o valor foi menor que o do bambu e muito próximo ao do pinus e do eucalipto. E o teor de lignina foi bem menor se comparado aos estudos com pinus, eucalipto e bambu. Conforme Bonfatti Júnior (2010) os extrativos e a lignina são constituintes considerados como indesejáveis no processo de produção de celulose química, sendo suas determinações, indicativos sobre o rendimento de processo e consumo de reagentes durante a polpação, desta forma, quanto menor for o teor de

extrativos e lignina melhor será o rendimento no processo durante a polpação. Com os resultados obtidos no presente estudo é possível verificar que o linter tem um bom potencial para produção de celulose e papel.

Em relação ao teor de cinzas foi considerado relativamente elevados, porém aceitável ao se considerar uma biomassa residual. Santos (2011), analisando a composição química da madeira de *E. urograndis*, obteve um percentual de cinzas de 0,20%, teor bastante baixo se comparado ao presente estudo.

Os valores obtidos para solubilidade em NaOH 1% e 5% nesta pesquisa foram bastante semelhantes ao encontrado por Santos (2011) para *E. urograndis* (8,18% para solubilidade NaOH 1% e 10,62% para solubilidade NaOH 5%), e inferiores aos determinados por Diogo (2014) para clones de *E. grandis* e de um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, de 10,60 % (NaOH 1%) e 11,07% (NaOH 5%).

Para avaliação da qualidade da polpa foi feita o número de kappa, que segundo MIMMS (1993) fornece o desempenho e a eficácia do processo de cozimento, pois informa o grau de deslignificação atingido na polpa (Diogo, 2014). De acordo com

MIMMS (1993) polpas com número kappa entre 15 e 35 podem ser branqueáveis produzindo papéis para uso fino. Já número kappa entre 30 a 70 são polpas não branqueáveis destinadas à produção de papéis para outros fins como embalagens. Entre 70 a 120 são polpas com alta concentração de lignina e devem ser destinadas a produção de papelão. Com base nestes dados, pode-se afirmar que o linter de algodão analisado no presente estudo pode ser usado para produção de papeis para uso fino, sendo que o tratamento Alvejado 30 obteve valores abaixo de 15, sendo considerado uma ótima matéria prima para produção desse tipo de papel.

Na pesquisa de Diogo (2014) com clone de eucalipto o resultado do número kappa para carga com álcali ativo 14% ficou variando de 23,3 a 27,1 para o clone *E. grandis* e 24,8 a 28,2 para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*. Após submeter a polpa a cozimento de álcali ativo 16% o número de kappa reduziu para 17,54 para o *E. grandis* e 18,33 para o *E. grandis* x *E. urophylla*, resultado considerado pelo autor aceitável para esse gênero.

Os resultados encontrados para a composição física do linter do algodão são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados médios da propriedade física de linter reciclado de algodão obtido como resíduo da indústria têxtil (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), localizada em São Paulo – SP.

Table 2. Average physical property results of recycled cotton linter obtained as waste from the textile industry (blue recycled linter 40, blue recycled linter 30 and bleached recycled linter 30), located in São Paulo – SP.

Análise Física	Blue 30	Blue 40	Alvejado 30	Média	CV%
Teor de secos (%)	95,55 ^a	94,28 ^a	95,28 ^a	95,04	0,47
Umidade (%)	4,45 ^a	5,72 ^a	4,72 ^a	4,96	----
Densidade aparente (g/cm ³)	0,082 ^b	0,088 ^a	0,075 ^c	0,075	1,73

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5%, CV: coeficiente de variação (%).

Means followed by the same letter and line do not differ significantly by the Tukey test at the 5% level; CV: coefficient of variation (%).

A avaliação das propriedades físicas principalmente densidade básica e umidade do linter, são fundamentais para sua utilização no processo de obtenção da celulose, pois seus valores vão influenciar na quantidade dos demais componentes principalmente a lignina.

Os valores do presente estudo se comparado ao estudo de Motta (2009) foram bastantes diferentes por se tratar de um linter residual do algodão. Motta (2009) em seu estudo avaliou três tipos de linter (hidrolisado, mecânico e neutralizado), seus resultados mostraram um percentual de umidade de 26,5% para o linter hidrolisado, 7,1% para o

linter neutralizado e 5,4% para linter mecânico. Para o presente trabalho ambos os resultados foram melhores.

Os resultados da avaliação das características mecânica do linter residual através da classificação das fibras por meio do equipamento Bauer McNett são apresentados na Tabela 3. Verifica-se que a maior porcentagem de fibras ficou retida na peneira 16 mesh, correspondendo a mais da metade do percentual nos tratamentos Blue 30 e Blue 40, já no tratamento Alvejado 30 mais da metade das fibras ficou retida entre as peneiras 16-50 mesh.

Tabela 3. Resultado da classificação das fibras do linter residual de algodão em equipamento Bauer McNett, obtido como resíduo da indústria têxtil (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), localizada em São Paulo – SP.

Table 3. Result of the classification of the fibers of the residual cotton linter in Bauer McNett equipment, obtained as waste from the textile industry (blue recycled linter 40, blue recycled linter 30 and bleached recycled linter 30), located in São Paulo – SP.

Amostras	Peneiras Mesh					
	16	30	50	100	200	>200
	Peneiras mm					
	1,190	0,595	0,297	0,149	0,074	>0,074
Retenção nas peneiras (%)						
1. Alvejado 30	38,30	9,80	14,45	12,50	7,30	17,65
2. Blue 30	77,10	3,10	4,70	4,65	1,80	8,65
3. Blue 40	86,85	2,35	2,00	1,80	0,80	5,60

No estudo de Diogo (2014) com clone de eucalipto, ao submeter a polpa ao classificador de fibras Bauer Mcnett, com álcali ativo de 14% a maior percentagem de fibras ficou retida nas peneiras de 16-30 e 30-50 mesh com os respectivos valores para *E. grandis* de 44,50% e 39,00% e para *E. grandis* x *E. urophylla* de 44,85% e 37,55%. Novamente submetendo a polpa a cozimento com álcali ativo de 16%, o autor aumentou o valor das porcentagens das fibras retidas nas peneiras 16-30 e 30-50 mesh com os respectivos valores para *E. grandis* de 42,55% e 40,25% e para *E. grandis* x *E. urophylla* de 48,25% e 36,05%. Com isso, o autor reduziu o

número kappa para um valor aceitável para o eucalipto de 24,97 para 17,54, para *E. grandis*, e de 26,37 para 18,33, para *E. grandis* x *E. urophylla*. Tanto no estudo de Diogo (2014) com na presente pesquisa os maiores percentuais de retenção das fibras foram nas peneiras de 16-50 mesh.

Conforme os resultados da Tabela 4 verificou-se que os valores do grau de Schopper-Riegler variaram de 10 a 12, no qual os tratamentos Alvejado 30 e Blue 30 apresentaram os mesmos valores (10), já o tratamento Blue 40 apresentou um valor um pouco maior (12).

Tabela 4. Determinação do grau de refino por Schopper Riegler das fibras do linter residual de algodão obtido como resíduo da indústria têxtil (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), localizada em São Paulo – SP.

Table 4. Determination of the refining degree by Schopper Riegler of the fibers of the residual cotton linter obtained as waste from the textile industry (blue recycled linter 40, blue 30 recycled linter and bleached 30 recycled linter), located in São Paulo – SP.

Amostras	°SR
1. Alvejado 30	10
2. Blue 30	10
3. Blue 40	12

Segundo Menegazzo (2012), a resistência à drenagem, é expressa em graus Schopper Riegler (°SR), sendo um indicativo da dificuldade com que a água escoar por meio da camada de fibras, assim, o grau de refino torna-se maior com o aumento da energia aplicada nesta operação. Se comparar os dados do presente estudo como os de Menegazzo (2012) ao trabalhar com *E. globulus* (do grau °SR entre 14 a 38), os valores nesta pesquisa foram menores.

Araújo (2004), trabalhando com eucalipto (*E. saligna* Sm.) e bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), obteve valores de 15 para o eucalipto e de 12 a 15 para a bracatinga. O autor ressalta que o valor para bracatinga foi baixo (12) pela menor população fibrosa da celulose e seu menor valor de retenção de água, o que favorece a drenagem da água por meio da estrutura da manta de fibras formada, dado este também observado no presente estudo.

4 CONCLUSÕES

O linter residual Blue 40 é uma alternativa sustentável para a produção de celulose e papel, principalmente por se tratar de um resíduo industrial. Em relação às fibras oriundas de espécies arbóreas, sobretudo dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, o linter residual apresenta baixo teor extrativos e lignina, o qual melhora o rendimento no processo de polpação e pode ser usado para produção de papéis de uso fino, pois apresenta valor do número kappa entre 15 e 35.

5 AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A.M. et al. Produção de papéis artesanais das misturas de aparas com fibras virgens de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Revista Floresta e Ambiente**, v. 8, n. único, p. 143-152, 2001.

ANDRADE, A.S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.** Influência da idade e classe de produtividade. 2006, 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ARAÚJO, R.H. **Celulose Kraft produzida a partir das madeiras de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e eucalipto (*Eucalyptus saligna*) misturadas em diferentes proporções.** 2004, 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel.** Disponível em: <<http://abtcp.org.br>>. Acesso em: 18 mai. 2015.

AZZINI, A. et al. Caracterização tecnológica de caules de quatro variedades de mandioca como fonte de fibras celulósicas para papel. **Bragantia**, v. 55, n. 2, p. 293-297, 1996.

BONFATTI JÚNIOR, A.E. **Caracterização das propriedades anatômicas, química e densidade da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl., para a produção de celulose Kraft com diferentes cargas de Álcali.** 2010. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília.

DIOGO, F.A. **Qualidade da madeira e da celulose de clones de *Eucalyptus* spp. de diferentes densidades.** 2014. 39 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

FERNÁNDEZ, M.A.V. **Avaliação dos processos de polpação soda- Antraquinona e bissulfito-base magnésio para bambu.** 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FERREIRA, E.B.; CAVALCANTI, P.P.; NOGUEIRA, D.A. **ExpDes.pt:** Pacote Experimental Designs (Portuguese). R package version 1.2.0. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>>. Acesso: 06 mar. 2019.

FERREIRA, G.W. et al. Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 30., **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1997.

FRAGA, D.G.; SILVA JR., F.G.; GONÇALEZ, J.C. Avaliação da Polpação soda de *Pinus taeda* com a adição de Antraquinona. In: CONGRESSO IBERO AMERICANO DE INVESTIGADORES DE CELULOSA Y PAPEL, 1., São Paulo. **Anais...** São Paulo: Congresso Ibero Americano de Celulosa, 2002.

GOMIDE, J.L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* no Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

_____.; COLODETTE, L.J.; OLIVEIRA, R.C. Estudos das potencialidades do *Bambusa vulgaris* para produção de papéis tipo Kraft. **O papel**, v. 28, n. 7, p. 38-42, 1982.

MENEGAZZO, M.L. **Característica morfológica s de celulose branqueadas de *Pinus* e *Eucalyptus* em analisador óptico automático de fibras**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônomicas) – Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.

MIMMS, A. **Kraft pulping, a compilation of notes**. 2. ed. Atlanta: Tappi Press, 1993, 181 p.

MOTTA, E.G. **Utilização do linter hidrolisado como fonte de energia**. 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

PEREIRA, J.C.D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p.

PEREIRA, S.J. et al. Celulose de tucum (*Bactris inundata* Martius). **Revista Scientia Forestalis**, n. 65, p. 130-140, 2004.

_____. et al. Celulose de buriti (*Mauritia vinifera* Martius). **Revista Scientia Forestalis**, n. 63, p. 2002-213, 2003.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

RODRIGUES, C.H.F. **Caracterização química e estudo dos efeitos das variáveis de polpação Kraft e soda do linter de algodão**. 2017. 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva.

SANTOS, R. **Produção de polpa solúvel a partir de *Eucalyptus urograndis***. 2011. 76 f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Itapeva.

SENHORAS, E.M. Oportunidades da cadeia agroindustrial do coco verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. **Revista Urutágua**, n. 5, p. 01-14, 2004.

SEVERINO, L.S. et al. **Produto: algodão - Parte 01: Caracterização e Desafios Tecnológicos**. Série Desafios do Agronegócio Brasileiro (NT3). Campina Grande: Embrapa Algodão, 29 p., 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198192/1/SerieDesafiosAgronegocioBrasileiroNT3Algodao.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

VALVERDE, S.R.; SOARES, N.S.; SILVA, M.L. Desempenho das exportações brasileiras de celulose. **Revista Árvore**, v. 30, n. 6, p. 1017-1023, 2006.

VIDAL, A.C.F. O renascimento de um mercado: o setor de celulose solúvel. **Papel e Celulose. BNDES Setorial**, n. 38, p. 79-130, 2013.

_____.; HORA, A. B. Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira? **Papel e Celulose. BNDES Setorial**, n. 39, p. 281-342, 2014.

WEHR, T. R. **Variações nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* HILL Ex Maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimentos kraft**. 1991. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz- Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

USO DE LODO DE ESGOTO COMPOSTADO E DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Erythrina speciosa* Andrews¹

USE OF COMPOSED SEWAGE SLUDGE AND DIFFERENT WATER SLIDES FOR THE PRODUCTION OF *Erythrina speciosa* Andrews SEEDLING¹

Izabella OLHER²; Thomaz Figueiredo LOBO²; Marcos Vinicius Bohrer Monteiro SIQUEIRA^{3,4}

RESUMO - O lodo de esgoto é um resíduo rico em matéria orgânica e nutrientes que pode ser incinerado ou depositado em aterros sanitários. Quando compostado, o lodo pode ser utilizado como substrato para a produção de mudas em viveiros. O objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento do mulungu (*Erythrina speciosa*), em relação ao uso de lodo de esgoto compostado (LEC), substrato comercial (SC) e diferentes lâminas de irrigação (L1, L2 e L3). Avaliou-se a altura, diâmetro do coleto e número de folhas bem como a produção de matéria seca. Para os parâmetros morfométricos analisados, altura e diâmetro do coleto, os maiores valores foram de plântulas que receberam 100% e 75% de LEC com L1. Para a produção de mudas de *E. speciosa*, é indicada a utilização da combinação de 75% de LEC e 25% de SC, podendo assim reduzir os custos de viveiro e o aproveitamento de um resíduo.

Palavras-chave: Lodo de esgoto compostado; Mulungu; Viveiro florestal.

ABSTRACT - Sewage sludge is a kind of waste rich in organic matter and nutrients that can be incinerated or landfilled. When composted, the sludge can be used as a substrate for the seedling production in nurseries. The aimed to this work was to evaluate the behavior of mulungu (*Erythrina speciosa*), regarding to composted sewage sludge (CSS), commercial substrate (CS) and different irrigation depths. Height, stem diameter and number of leaves as well as dry matter production were evaluated. For the analyzed morphometric parameters, height and root collar diameter (RCD), the highest values were obtained from plants that received 100% and 75% (CSS) with a water slide of 9 mm. For the do *E. speciosa* seedling production, the use of the combination of 75% (CSS) and 25% (CS) is indicated, thus being able to reduce nursery costs and the use of waste.

Key words: Sewage sludge composted; Mulungu; Forest nursery.

¹ Recebido para análise em 16.06.2021. Aceito para publicação em 12.10.2021.

² Universidade do Sagrado Coração, Rua Irmã Arminda, 10-50, 17011-160, Bauru, SP, Brasil.

³ Universidade do Estado de Minas Gerais - Unidade Frutal, Avenida Professor Mário Palmério, 1001, 38200-000, Frutal, MG, Brasil.

⁴ Autor para correspondência: Marcos Vinicius Bohrer Monteiro Siqueira – mvbsiqueira@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto, após tratamento para estabilização, pode ser utilizado como componente de substrato para produção de mudas florestais, sendo uma alternativa sustentável de disposição final deste resíduo. Além disso, pode trazer benefícios, tanto para os geradores de lodo, como para os viveiros de mudas (Cabreira, 2017). Para Backes et al. (2009), a composição química do lodo de esgoto depende de sua origem e dos tratamentos de purificação aos quais ele é submetido. Em geral, o lodo de esgoto apresenta altos teores de nitrogênio (N) e fósforo (P), o que significa que possuem grande potencial para serem utilizados como fertilizantes nitrogenados, sendo excelente fonte de nutrientes. Trazzi et al. (2013) ressaltam que os viveiros podem ser uma alternativa para a destinação desse resíduo, diminuindo os possíveis problemas socioambientais causados por este. Além disso, pode ser também uma solução efetiva para a redução dos altos custos de insumos necessários para produção de mudas florestais.

Muitos estudos têm-se dedicado a caracterizar e avaliar substratos alternativos, não somente para o melhor desenvolvimento das mudas em viveiro, mas também no aproveitamento de resíduos diversos (Delarmina et al., 2014; Oliveira et al., 2021). Alguns desses trabalhos têm focado no uso do lodo de esgoto compostado (LEC) que, por ser um resíduo barato e de fácil acesso, tem trazido resultados interessantes na produção de arbóreas nativas (Santana et al., 2019; Olher et al. 2020; Morgado et al., 2020; Lanzeti et al., 2021). Segundo Rossa et al. (2015), a qualidade das mudas, quando testada sob diferentes substratos, na qual inclui-se o LEC, pode ser analisada a partir de alguns parâmetros morfológicos como a altura, diâmetro de coleto, número de folhas, peso da parte aérea e subterrânea, entre outros.

Além da questão nutricional que é fornecida pelos substratos, e de acordo com Morais (2012), uma das etapas mais importantes na produção de mudas de qualidade é a irrigação, um fator que influência no crescimento e desenvolvimento da muda. A quantidade de água necessária para o cultivo de uma determinada espécie é um dado necessário e fundamental para se planejar e praticar um manejo adequado (Silva et al., 2017). Com a falta de água, a muda pode desenvolver deficiência de absorção de nutrientes e estresse hídrico; já o excesso, pode ocasionar lixiviação dos nutrientes e proporcionar microclimas, favorecendo o aparecimento de doenças. Neste sentido, torna-se crucial o manejo hídrico

adequado, que trará maiores produtividades, com menores custos e de forma sustentável (Freitas et al., 2010).

O sistema de irrigação por microaspersão tem como vantagens a aplicação em qualquer terreno e tipo de solo, mesmo irregular, podendo ser automatizado, onde a água é aplicada uniformemente quando não existe interferência do vento e permite fácil controle da quantidade aplicada (Barreto Filho et al., 2000). No entanto, são escassos os estudos que avaliam lâminas de água por esse sistema com a produção de mudas de espécies arbóreas nativas, e correlacionem com os diferentes percentuais de formulação de LEC.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento da espécie mulungu (*Erythrina speciosa*) em diferentes lâminas de irrigação e composição de substratos formulado a base de lodo de esgoto compostado visando a melhoria na produção da espécie em viveiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de estudo

O experimento foi conduzido no viveiro Muda Brasil, localizado na Avenida Paulino Prata no município de Bauru, São Paulo. Segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013), o clima da região é tropical de savana, tipo Aw, com uma média de precipitação anual de 1.331 mm.

2.2 Espécie de estudo

O mulungu é conhecido popularmente como eritrina-candelabro, mulungu-do-litoral, suinã, corticeira, sinanduva, entre outros. Da família Fabaceae é uma espécie nativa da Mata Atlântica de ocorrência nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Santa Catarina (Lorenzi, 2008), podendo atingir os 5 metros de altura. Apresenta espinhos ao longo do tronco e ramos, e suas flores vermelhas ou alaranjadas possuem néctar abundante adaptadas para a polinização de pássaros nectarívoros. Tem excelente papel ornamental, paisagístico e medicinal (Leite et al., 2014).

2.3 Obtenção das mudas, substratos e irrigação

A coleta de sementes foi realizada pelo próprio viveiro onde foi realizado o experimento. Estas sementes foram colhidas em matrizes da espécie no município de Bauru/SP, tendo sido respeitada sempre que possível, uma distância de 50-100 m entre os indivíduos. Em seguida, os frutos ficaram

amontoados alguns dias para iniciar sua abertura natural e colocados em local sem ocorrência de vento para que secassem e ocorresse a abertura. No caso de frutos que não abrissem sozinhos, estes podiam ser colhidos quando maduros e abertos com o auxílio de uma faca, martelo ou tesoura. Essas sementes apresentaram taxa de germinação abundante (mais de 80%). Dados como a localização por GPS de cada árvore-matriz, bem como o número de frutos gerado de cada indivíduo não foram disponibilizados pelo viveiro.

Os substratos utilizados no experimento foram o substrato comercial (SC) Carolina Soil Florestal®, fabricado pela empresa Carolina Soil do Brasil Ltda., e o substrato orgânico lodo de esgoto compostado (LEC), fornecido pela empresa Tera Ambiental do município de Jundiaí/SP. O delineamento experimental foi composto por: T1: 100% SC, T2: 100% LEC, T3: 75% SC e 25% LEC, T4: 75% LEC e 25% SC e T5: 50% LEC e 50% SC. As misturas foram realizadas em função do volume dentro de uma betoneira. Na mistura do substrato foi adicionado o superfosfato simples (280 g m⁻³) para o fornecimento de fósforo (P).

A semeadura foi realizada em bandeja, coberta com vermiculita e posteriormente transportada em tubetes com os substratos, totalizando um experimento de 300 plântulas. Quando atingiram aproximadamente 5 cm de altura, as plântulas foram repicadas em tubetes que já tinham sido previamente preparados com os substratos. Após a repicagem, as mudas permaneceram por 2 meses em casa de vegetação. Seguidamente foram dispostas em bancadas ao ar livre e separadas em blocos casualizados de acordo com a lâmina de irrigação e substrato, e cobertas com uma tela de sombreamento de 50% durante todo o ciclo de produção da muda. Cada bandeja foi considerada um bloco, na qual continha os cinco tratamentos secundários (diferentes misturas de substratos). Esses blocos foram repetidos 4 vezes por lâmina de água.

Os tratamentos utilizados tiveram suas características químicas e físicas avaliadas conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas do substrato de cada tratamento para o desenvolvimento de mudas de *Erythrina speciosa*.

Table 1. Chemical and physical characteristics of the substrate of each treatment used in the development of *Erythrina speciosa* seedling.

T	Mac. %		Mic. %		PT		RA		pH (1/5)		Cond. (1/5)	
	<i>i</i>	<i>F</i>	<i>i</i>	<i>F</i>	<i>i</i>	<i>F</i>	<i>i</i>	<i>F</i>	<i>i</i>	<i>F</i>	<i>i</i>	<i>F</i>
T1	30,46	34,64	46,89	50,87	77,35	85,31	24,37	26,43	6,48	6,88	0,43	0,09
T2	12,07	20,69	59,92	57,79	71,98	78,47	31,13	30,10	7,34	6,90	0,17	0,13
T3	26,13	32,95	54,04	51,67	80,17	84,62	28,08	26,84	7,11	7,00	0,67	0,10
T4	20,16	31,14	58,33	52,87	78,49	84,01	30,43	27,58	7,34	7,08	0,15	0,08
T5	13,31	32,99	62,98	51,88	76,29	84,87	32,80	27,04	7,31	7,05	0,97	0,09
Características químicas do lodo de esgoto compostado												
g.kg ⁻¹							mg.kg ⁻¹					
N	K ₂ O	Ca	Mg	S	C	P ₂ O ₅	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	B 180
1,5	0,6	1,9	0,5	0,6	32	1	88	13.490	280	237	1.079	
C/N: 21							pH: 6					

Nota: Tratamento – T; Macroporos – Mac; Microporos – Mic; Porosidade Total – PT; Retenção de água (mL 55 cm³) – RA; Condutividade – Cond. Inicial – *i*; Final – *F*.

Note: Treatment – T; Macropores – Mac; Micropores – Mic; Total Porosity – PT; Water retention (mL 55 cm³) – RA; Conductivity – Cond. Initial – *i*; End – *F*.

Foram aplicados três tipos de irrigação: L1 – 9 mm; L2 – 18 mm; L3 – 27 mm. O sistema de irrigação foi microaspersores tipo *Fog*, com bicos do modelo *mist*, de giro completo (360°) com vazão de 120 L h⁻¹, com 1,25 m de distância entre os microaspersores.

2.4 Avaliação

As medições dos parâmetros biométricos das mudas foram realizadas a cada 15 dias, sendo registrados a altura das mudas, diâmetro do coleto e quantidade de folhas. No final do experimento, foi realizada a pesagem da matéria fresca da parte aérea e posteriormente da raiz e, após 24 horas em estufa a 60°C, foi realizada a pesagem da matéria seca também da parte aérea e raiz, separadamente. Para a caracterização dos substratos foram realizadas análises físicas quanto à macroporosidade, microporosidade, porosidade total e retenção de água, e análises químicas

referente ao pH e condutividade elétrica nos substratos iniciais (sem uso) e finais (após utilização). Estes procedimentos foram realizados no laboratório da Faculdade de Ciências Agrônômicas-UNESP, campus Botucatu/SP, seguindo a metodologia descrita por Silva e Silva (2011). Foi utilizado o *software* ASSISTAT 7.7 para processar os dados, por meio do teste de Tukey a 5% e análise de variância.

3 RESULTADOS

3.1 Altura das mudas

O tratamento com 100% de LEC na L1 permitiu que as plântulas apresentassem os maiores valores em altura (Figura 1).

De forma geral, a L1 apresentou os melhores resultados no parâmetro altura em relação as demais lâminas.

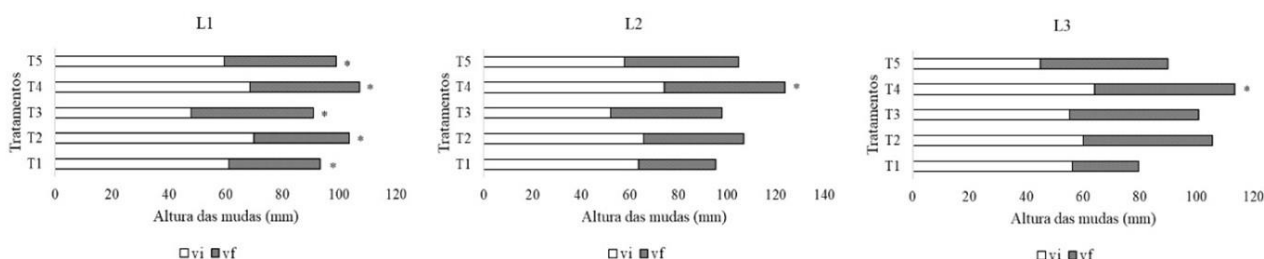


Figura 1. Valores iniciais (vi) e valores finais (vf) da altura das mudas (mm) encontrados das três lâminas de água avaliadas (L1, L2 e L3) e nos cinco tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T5). * Destaque demonstrando diferenciação significativa em relação ao tratamento controle (T1).

Figure 1. Initial values (vi) and final values (vf) of the height of the seedlings (mm) found in the three treatments (T1, T2, T3, T4 and T5). * Highlighting showing significant differentiation in relation to the control treatment (T1).

Após 101 dias da repicagem, os tratamentos se igualaram em L1, não ocorrendo diferença significativa entre os tratamentos. O resultado da análise estatística dos tratamentos pode ser observado na Tabela 2.

Para os viveiros, o quanto antes as mudas se desenvolverem, melhor, visto que desocupam espaço para novas produções, obtendo um retorno econômico mais rápido. Em L2 e L3, o melhor resultado em altura foi encontrado apenas em T4 (75% LEC + 25 % SC), nos demais resultados não houve diferenças significativas até a última medida que foi aos 149 dias, após a repicagem (Figura 1).

Em L3 os resultados que apresentaram maiores valores nos parâmetros analisados foram observados em T2 e T4 (100% LEC e 75% LEC+25% SC, respectivamente); para os demais tratamentos não houve diferenças significativas até a última aferição. T1 (100% SC) e T3 (75%

SC+25% LEC) apresentaram os menores valores de altura, sendo os menores valores observados em todas as lâminas de água.

3.2 Diâmetro do coleto

As mudas produzidas em T2, T4 e T5 (100% LEC, 75% LEC+25% SC e 50% LEC+50% SC, respectivamente) apresentaram maiores valores de diâmetro de coleto (Figura 2).

Avaliando os dias de medição, nota-se que nos primeiros 40 dias não houve grande variação no crescimento do diâmetro do coleto em *E. speciosa*, diâmetro esse que se manteve entre 0,3 mm e 0,4 mm. Após esse período verificou-se uma variação entre 10 mm e 12 mm. Na L2, até aos 101 dias não houve diferença entre os tratamentos. A partir dos 118 dias, T4 (75% LEC+25% SC) foi superior ao T1 (100% SC). Verificou-se que as mudas

submetidas à L2 apresentaram maiores valores de diâmetro; acredita-se que devido o lodo apresentar mais carga negativa, este absorveu mais potássio, o que favoreceu o crescimento do diâmetro de coleto dessas mudas. Na L3 só foram observadas diferenças a partir dos 135 dias após a repicagem, sendo o T4 (75% LEC+25% SC) superior ao T1 para os parâmetros analisados (Figura 2).

3.3 Análise de matéria fresca e seca

Na matéria fresca das mudas de *E. speciosa* não se registrou diferenças significativas entre os tratamentos para a parte aérea, raiz e produção de matéria fresca total (Figura 3).

Tabela 2. Resultado da Anova entre os tratamentos (T1 - T5) para as mudas de *Erythrina speciosa*.

Table 2. Results of the Anova among treatments (T1 - T5) for *Erythrina speciosa* seedling.

	Dias de avaliação									
	14	27	41	59	70	88	101	118	135	149
L1										
F	11,61**	7,65**	6,69**	3,88*	3,83*	4,21*	4,30*	2,43 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,83 ^{ns}
Dms	11,66	13,47	17,1	19,78	19,21	18,94	18,41	18,31	22,34	22,7
CV	8,42	9,25	9,73	9,56	8,74	8,36	8	8,1	9,83	10,19
L2										
F	5,59**	7,37**	7,79**	7,19**	8,18**	6,22**	6,88**	3,04 ^{ns}	3,99*	4,10*
Dms	15,95	14,39	17,54	16,77	16,86	19,39	17,8	24,51	25,6	24,72
CV	11,28	9,86	10,78	8,53	8,25	9,24	7,88	10,62	10,68	10,37
L3										
F	4,72*	2,60 ^{ns}	4,15*	5,76**	4,56*	5,45**	5,59**	5,65**	5,87**	7,55**
Dms	14,91	22,5	21,45	2,33	26,92	23,15	22,66	25,74	25,84	21,9
CV	11,77	17,34	13,57	11,7	13,04	11,24	10,95	11,63	11,61	9,93

Legenda: ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$); ns = não significativo ($p \geq .05$); L lâminas de água.

Legend: ** significant at the 1% probability level ($p < .01$); * significant at the 5% probability level ($.01 \leq p < .05$); ns = not significant ($p \geq .05$); L water slides.

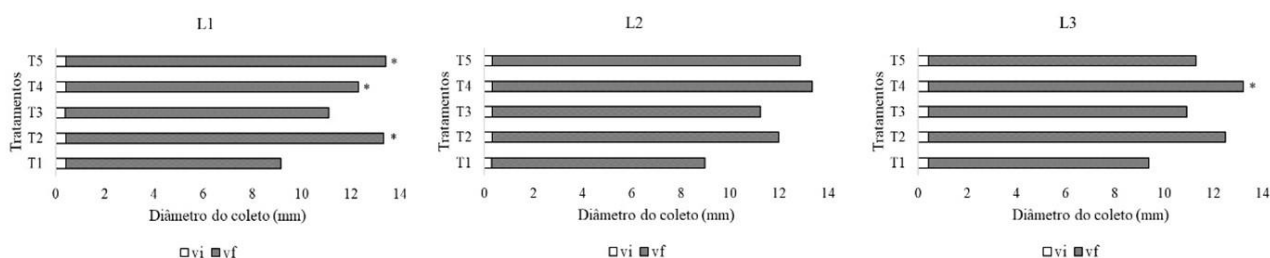


Figura 2. Valores iniciais (vi) e valores finais (vf) do diâmetro do coleto (mm) encontrados das três lâminas de água avaliadas (L1, L2 e L3) nos cinco tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T5) em mudas de *Erythrina speciosa*. * Destaque demonstrando diferenciação significativa, em relação ao tratamento controle (T1).

Figure 2. Initial values (vi) and final values (vf) of the collection diameter (mm) found for the three-water blade (L1, L2 and L3) in the five treatments (T1, T2, T3, T4 and T5) in *Erythrina speciosa* seedlings. * Highlighting showing significant differentiation in relation to the control treatment (T1).

Também não se identificou diferença significativa entre os tratamentos para a parte aérea, raiz e produção de matéria seca total de *E. speciosa* (Figura 3). Na matéria seca total as

médias variaram de 7,08 g em T1 à 12,57 g em T4 (75% LEC+25% SC), observando-se a tendência de maiores proporções de LEC aumentar o ganho de matéria fresca nas mudas de *E. speciosa*.

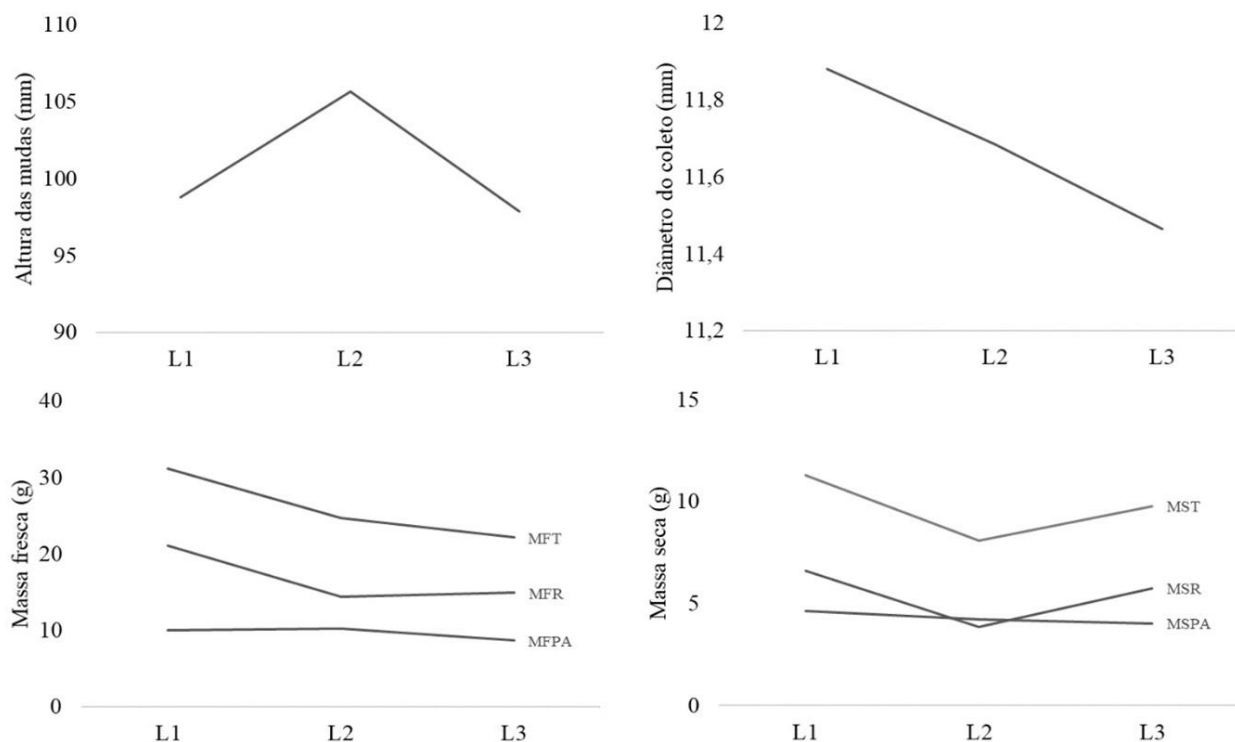


Figura 3. Altura das mudas (mm), diâmetro do coleto (mm), massa fresca (g) e massa seca (g) das mudas de *Erythrina speciosa* nas diferentes lâminas de água (L1, L2 e L3).

Figure 3. Seedling height (mm), collection diameter (mm), fresh mass (g) and dry mass (g) of *Erythrina speciosa* seedlings in water slides (L1, L2 and L3).

4 DISCUSSÃO

4.1 Altura das mudas

Verificou-se que a L1 em combinação com LEC apresentou os melhores resultados para os parâmetros analisados, suportando a idéia de que a água, na quantidade de 9 mm, pode prevalecer o desenvolvimento de *E. speciosa*, em detrimento das lâminas de maior valor.

Corroborando o presente estudo, Caldeira et al. (2014) constataram que os tratamentos com LEC (40%) associado a um composto orgânico (60%) foram os que apresentaram as maiores médias em relação à altura avaliada para a produção de mudas de Acácia australiana (*Acacia mangium* Willd).

Os tratamentos T2 (100% LEC) e T4 (75% LEC e 25% SC) apresentaram os melhores desenvolvimentos em altura. Muito semelhante aos resultados aqui obtidos, Trigueiro e Guerrini (2014) atribuíram os benefícios para o crescimento em altura de mudas de Aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius*) a grande quantidade de nitrogênio presente no LEC utilizado na composição do substrato. Santos et al. (2014) também demonstraram que, além do nitrogênio, o LEC possui elevados teores de outros nutrientes essenciais para as plantas, como fósforo, cálcio e

micronutrientes, e que quando misturados com o substrato comercial, aumentam a qualidade das mudas.

De acordo com estudo realizado por Vieira e Weber (2016), a partir do uso de diferentes combinações para substratos na produção de mudas de *Eucalyptus camaldulensis*, verificou-se que houve um aumento de crescimento de plantas proporcionado pela adição de matéria orgânica (Plantimax + cama de frango). Segundo os mesmos autores, a cama de frango combinada ao substrato comercial melhora as condições de produtividade, evidenciando que em certas condições, os substratos comerciais normalmente utilizados em viveiro, ou substratos compostos unicamente por solo, não são suficientes para suprir as necessidades nutricionais da planta.

T1 (100% SC) e T3 (75% SC + 25% LEC) apresentaram os menores valores para altura em todas as lâminas de água. Esses resultados devem-se possivelmente a grande quantidade de nutrientes presentes no LEC em relação ao SC, evidenciando a importância de se testar diferentes formulações de substratos, a fim de equilibrar as características físicas e químicas de cada composto formando um substrato de maior qualidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Delarmina et al. (2014), onde verificou-se que o SC apresentou

resultados inferiores ao LEC para os parâmetros analisados em mudas de cambaí-amarelo (*Sesbania virgata*). O estudo foi constituído por 14 tratamentos, com cinco repetições, sendo que o tratamento que continham LEC (60%) e vermiculita (40%) em sua composição, proporcionaram o melhor desenvolvimento da espécie.

4.2 Diâmetro do coleto

A L2 apresentou valores superiores de diâmetro de coleto de *E. speciosa*, entre 12 mm e 14 mm. De acordo com Puértolas et al. (2012), o padrão de qualidade das mudas possui alta correlação com o diâmetro do coleto, gerando maiores taxas de sobrevivência e de crescimento em campo. Mudas com baixo diâmetro do coleto normalmente apresentam dificuldades de se manterem eretas após o plantio. O tombamento decorrente dessa característica pode resultar em morte ou deformações que comprometem o valor silvicultural dos indivíduos.

No presente estudo, maiores porcentagens de LEC auxiliaram no desenvolvimento do diâmetro de coleto das mudas de *E. speciosa*, corroborando com resultados apresentados por Marques et al. (2018). Estes autores verificaram que o acréscimo da quantidade de LEC foi acompanhado pelo aumento das médias do diâmetro de coleto, com maior ênfase para as médias do tratamento que continha 40% LEC + 60% composto orgânico, sendo este o tratamento que rendeu as maiores médias para as características morfológicas avaliadas. Raízes de plantas jovens necessitam do oxigênio para o processo respiratório, que advém do próprio substrato. Com isso, é sempre recomendada a necessidade de que os substratos apresentem boa aeração para maior crescimento das raízes (Delarmina et al., 2014).

4.3 Análise de matéria fresca e seca

Na presente pesquisa, a mistura do LEC com o SC gerou um equilíbrio entre a microporosidade que melhorou a retenção de água, e a macroporosidade por sua vez, propiciou melhor oxigenação. No presente estudo, o LEC se provou um bom substrato para mudas de *E. speciosa*, mesmo possuindo grande quantidade de microporos. Diferente deste trabalho, para Siqueira et al. (2018), as mudas de mirindiba-rosa (*Lafoensia glyptocarpa*) produzidas em substratos que continham LEC apresentaram valores inferiores de produção de matéria seca total

quando comparadas àquelas produzidas com SC puro.

5 CONCLUSÃO

As análises realizadas no presente estudo permitem concluir que o uso de SC com o LEC em maior quantidade proporcionou os melhores desenvolvimentos em crescimento de altura, diâmetro de coleto, matéria seca e matéria fresca em *E. speciosa*. Em T2 (100% LEC), T5 (50% LEC) e T4 (75% LEC) em L1 foram observados os melhores resultados para os parâmetros avaliados. Espera-se que com os dados aqui obtidos possibilitem auxiliar na produção da espécie em viveiro (menor uso de SC e água de irrigação) e o estímulo do reaproveitamento do LEC.

6 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq [127662/2017-0] pelo auxílio financeiro da bolsa. A Universidade do Sagrado Coração e ao Viveiro Muda Brasil pelo espaço e infraestrutura. A Profa. Dra. Magali Ribeiro da Silva e ao técnico Cláudio Ribeiro da Silva da UNESP - campus Botucatu pelas contribuições à pesquisa, bem como aos revisores pelas importantes sugestões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BACKES, C. et al. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da Mamoneira. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 1, p. 90-98, 2009.
- BARRETO FILHO, A.A. et al. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado a nível de campo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.309-314, 2000.
- CABREIRA, G.V. et al. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Revista Floresta**, v. 47, n. 2, p. 165-176, 2017.
- CALDEIRA, M.V.W. et al. Lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Acacia mangium* Willd. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n.1, p. 34-43, 2014.

- DELARMINA, W.M. et al. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 224-233, 2014.
- FREITAS, C.A.S. et al. Comportamento de cultivares de mamona em níveis de irrigação por gotejamento em Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 10, p. 1059-1066, 2010.
- LANZETI, N.G.A.A. et al. Lodo de esgoto compostado e diferentes lâminas de irrigações no desenvolvimento de *Acacia polyphylla*. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, n. 2, p. 201-211, 2021.
- LEITE, T.S. et al. O. Crescimento e partição da biomassa de mudas de mulungu sob adubação fosfatada e inoculação micorrízica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 407-415, 2014.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras. **Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Plantarum, v.1. 5 ed., 2008. 382 p.
- MARQUES, A.R.F. et al. Produção e qualidade de mudas de *Psidium cattleianum* var. *cattleianum* Sabine (Myrtaceae) em diferentes substratos. **Acta Biológica Catarinense**, v. 5, n. 1, p. 5-13, 2018.
- MORAIS, W.W.C. et al. Influência da irrigação no crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 23-28, 2012.
- MORGADO, B.T. et al. Growth of *Cecropia hololeuca* in water blades and substrates formulated with sewage sludge. **Journal of Agricultural and Environmental Science/Revista de Ciências Agrárias**, v. 63, p. 1-10, 2020.
- OLHER, I. et al. Utilização de lodo de esgoto compostado e água residuária tratada para produção de pau viola. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, 304-310, 2020.
- OLIVEIRA, R.F.S. et al. Produção de mudas de *Cojoba arborea* var. *angustifolia* (Rusby) Barneby & J.W. Grimes mediante substratos alternativos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e16910716324, 2021.
- PUÉRTOLAS, J. et al. Costbenefit analysis of different container capacities and fertilization regimes in Pinus stock-type production for forest restoration in dry Mediterranean areas. **Ecological Engineering**, v. 44, p. 210-215, 2012.
- ROSSA, U.B. et al. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera peregrina* (angico-vermelho) e *Schinus terebinthifolius* (aroeira-vermelha). **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 841-852, 2015.
- SANTANA, L.O. et al. Desenvolvimento de mudas de dedaleiro (*Lafoensia pacari*. A.St.-Hil.) mediante diferentes substratos e lâminas de irrigação. **Revista do Instituto Florestal**, v.31, n. 2, p. 147-156, 2019.
- SANTOS, E.V.F. et al. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 971-979, 2014.
- SILVA, D.M.R. et al. Resposta do feijoeiro a lâminas de água aplicada em relação à evapotranspiração da cultura. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 2, p. 71-77, 2017.
- SILVA, M.R.; SILVA, R.B.G. **Análise das propriedades físicas de substrato**. Botucatu: UNESP/FCA, 2011.
- SIQUEIRA, D.P. et al. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. **Revista Floresta**, v. 48, n. 2, p. 277-284, 2018.
- TRAZZI, P.A. et al. Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn.F.). **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 401-409, 2013.
- TRIGUEIRO, R.M.; GUERRINI, I.A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de Aroeira- pimenteira. **Revista Árvore**, v.38, n.4, p. 657-665, 2014.
- VIEIRA, C.R.; WEBER, O.L.S. Produção de mudas de eucalipto em diferentes composições de substratos. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 18, n. 2, p. 25-34, 2016.

EVALUATION OF *Myracrodruon urundeuva* Fr.All. PROGENIES FOR DIFFERENT PLANTING SYSTEMS AIMING AT GENETIC CONSERVATION¹

AVALIAÇÃO DE PROGÊNIES DE *Myracrodruon urundeuva* Fr.All. EM DIFERENTES SISTEMAS DE PLANTIO PARA FINS DE CONSERVAÇÃO GENÉTICA¹

Francieli Alves Caldeira SAUL^{2,4}; Sivelise PUPIN²; Luciane Missae SATO²; Daniele Fernanda ZULIAN²; Lara Comar RIVA²; José CAMBUIM²; Miguel Luiz Menezes FREITAS³; Mario Luiz Teixeira de MORAES²

ABSTRACT - *Myracrodruon urundeuva* is a highly explored native tree species. The objective of this work was to evaluate the genetic variation for silvicultural traits, survival and sex ratio, in two tests of progenies of *Myracrodruon urundeuva*, aiming to provide subsidies for *ex situ* conservation. Thirty progenies were analyzed in two progeny tests in different planting systems - mixed (TP-MUE) and homogeneous (TP-DES). The silvicultural characters evaluated were height (H), diameter at breast height (DBH), average crown diameter (DMC), survival (SOB), number of trees with male flowering (Nm), female flowering (Nf), monoecious trees (Mo) and without flowering (Sf). Estimates of genetic parameters were obtained using the REML / BLUP procedure. The SOB rate was high for both tests (> 80%). The mean for H ranged from 7.58 m (TP-MUE) to 10.02 m (TP-DES); for 8.24 cm DAP (TP-MUE) to 10.91 cm (TP-DES). The heritability of the average of progenies varied from moderate to high (from 0.39 to 0.72). In the TP-MUE, the sex ratio was 2♂:1♀ and in the TP-DES 4♂:1♀. The effective size (Ne) of the TP-MUE represented 38 % of the expected Ne and in the TP-DES it was 12 %. Therefore, there is genetic variability for *ex situ* genetic conservation of *M. urundeuva* in the short term.

Keywords: Aroeira; Genetic parameters; Effective size; Progeny test.

RESUMO - *Myracrodruon urundeuva* é uma espécie arbórea nativa muito explorada. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variação genética para caracteres silviculturais, a sobrevivência e a proporção sexual, em dois testes de progênies de *Myracrodruon urundeuva*, visando fornecer subsídios para conservação *ex situ*. Foram analisadas 30 progênies, em dois testes de progênies em sistemas de plantio distintos - misto (TP-MUE) e homogêneo (TP-DES). Os caracteres silviculturais avaliados foram altura (ALT), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro médio de copa (DMC), sobrevivência (SOB), número de árvores com florescimento masculino (Nm), florescimento feminino (Nf), árvores monóicas (Mo) e sem florescimento (Sf). As estimativas dos parâmetros genéticos foram obtidas pelo procedimento REML/BLUP. A taxa de SOB foi alta para os dois testes (> 80%). A média para ALT variou de 7,58 m (TP-MUE) a 10,02 m (TP-DES); para DAP de 8,24 cm (TP-MUE) a 10,91 cm (TP-DES). A herdabilidade da média de progênies variou de moderada a alta (de 0,39 a 0,72). No TP-MUE, a proporção sexual foi de 2♂:1♀ e no TP-DES de 4♂:1♀. O tamanho efetivo (Ne) do TP-MUE representou 38 % do Ne esperado e no TP-DES foi de 12%. Existe variabilidade genética para conservação genética *ex situ* de *M. urundeuva* a curto prazo.

Palavras-chave: Aroeira; Parâmetros genéticos; Tamanho efetivo; Teste de progênies.

¹ Recebido para análise em 27.03.2021. Aceito para publicação em 27.08.2021.

² Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Ilha Solteira, Avenida Brasil nº 56, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brazil.

³ Instituto de Pesquisas Ambientais, Rua do Horto nº 931, 02377-000, Horto Florestal, São Paulo, SP, Brazil.

⁴ Autor para correspondência: Francieli Alves Caldeira Saul – francieli.alves@unesp.br

1 INTRODUCTION

Processes such as deforestation represent a recurring and worrying environmental problem nowadays. Among the main consequences is the origin of fragments derivate of natural vegetation that, in general, are small and can be isolated in the landscape. Forest fragmentation represents a reduction in population size, causing the effect of a genetic bottleneck, with a reduction in genetic diversity and effective population size (Tambarussi et al., 2017a).

Myracrodruon urundeuva, known as aroeira, is a native tree species, with high commercial value in the market, good wood quality due to the its strength characteristic. The heartwood shows high resistance to rot in contact with the soil, due to the high amount of phenolic extracts associated with lignin (Queiroz et al., 2002). The wood is quite heavy, with a density of up to 1.19 g cm⁻³ and, therefore, it exhibits high mechanical resistance (Lorenzi, 2014).

Its geographical distribution is predominant in the Cerrado biome (Brazilian Savannah), but it can also be found in the Caatinga and Atlantic Forest (Carvalho, 2003). In primary forests, concomitant occurrence with other species is common, but in areas under some degree of disturbance, it occurs almost homogeneously (Freitas et al., 2006). It is a dioecious species, although there are reports of monoecia and hermaphroditism (Carvalho, 2003; Sant'ana, 2017). The fruits are produced in the cold and dry period, and maturation depends on the temperature rise (Nunes et al., 2008). The dioecious sexual system is characterized by the presence of male and female individuals within plant populations (Lenza e Oliveira, 2005). Studies on reproductive biology have pointed out that Cerrado plants and forests depend on sexual reproduction for their regeneration and dispersion (Oliveira e Gibbs, 2000).

Small forest fragments, often isolated, affect reproductive processes, due to the behavior of pollinators and the processes of migration and dispersion of pollen and seeds (Ramos et al., 2016; Baldoni et al., 2017; Tambarussi et al., 2017a). Isolated individuals may not reproduce, but if this occurs, the reproductive process may happen among a few individuals, resulting in inbreeding depression, which causes negative effects on the survival and fitness of the offspring (Spoladore et al., 2017; Tambarussi et al., 2017b).

The reduction in population size can be reversed by replacing management practices, when the population is at risk of extinction or has high

levels of inbreeding (Sebbenn e Etori, 2001). It is also important to verify the sexual ratio and effective population size of dioic species, in order to better understand the species' behavior and propose more efficient conservation strategies.

One way of mitigating the risk of forest fragmentation is through *ex situ* genetic conservation, which refers to conservation managed by man outside the natural occurrence of the species, and which is an important tool to ensure the maintenance of genetic diversity. Progeny tests are an alternative for genetic conservation of populations, as well as making it possible to estimate the genetic structure and selecting superior individuals as a source of improved seed production based on the selected genotypic value (Shimizu et al., 1982).

Open pollination progenies have been widely used for *ex situ* genetic conservation, in genetic improvement and environmental reforestation programs, due to the low cost, speed and ease of collecting seeds (Moraes et al., 2012). Through progeny tests it is possible to estimate phenotypic and genetic parameters, associations between characters, evaluate the efficiency of selection methods and estimate genetic gains (Paludzyszyn Filho et al., 2002). Genetic variability studies are essential to establish adequate conservation strategies, just as knowledge of the reproductive system is essential for maintaining populations over generations (Berti et al., 2017).

The estimates obtained from genetic parameters for progenies of species such as *Myracrodruon urundeuva*, *Astronium fraxinifolium* and *Terminalia argentea* indicated favorable conditions for selection and a good perspective for genetic conservation programs (Otsubo et al., 2015) as well as other works for tree species carried out in Selvíria-MS (Zaruma et al., 2015; Bertonha et al., 2016; Canuto et al., 2016; Berti et al., 2017; Cornacini et al., 2017).

Given this context, the objective of this work was to evaluate survival, genetic variation for growth traits and sexual proportion, in tests of progenies of *Myracrodruon urundeuva*, installed in different planting systems, aiming to provide subsidies for *ex situ* conservation of the species.

2 MATERIAL AND METHODS

The seeds for seedling production and installation of progeny tests were collected in 30 open pollination matrix trees, in a natural population of *M. urundeuva*, from Ribeirão Preto, State of São Paulo (SP). The positions of matrix trees were registered with GPS and were located in

the Germplasm Bank of the University of São Paulo - USP, Ribeirão Preto Campus, in urban areas (parks, squares and quarry), in private rural properties in the surroundings and in municipality access. The species has seeds of the orthodox type, thus, they were conserved *in vitro* in a dry chamber at 5°C, under laboratory conditions. Years after seed collection, it was found that many parent trees had been cut, which reinforces the importance of *ex situ* conservation. The area of occurrence of natural population is characterized by: region of soils of the typical Dystrophic Red Oxisol type and eutrophic Litholic Neosol typically (Rossi 2017); climatic type Cwa (subtropical climate with rainy summer and dry winter), according to the Köppen classification; altitude around 608 meters; average annual temperature of 20.9 °C and average annual rainfall of 1,527 mm (Flores et al., 2016).

The seedlings for installation of progeny tests were produced in the nursery of Teaching, Research and Extension Farm (FEPE), from the Faculty of Engineering at Ilha Solteira, State of São Paulo (SP) (FEIS / UNESP), which is located at municipality of Selvíria, State of Mato Grosso do Sul (MS). FEPE is located in Mato Grosso do Sul region, where the Cerrado biome predominates. The soil was classified as a typical

dystrophic Red Oxisol (Santos, 2018); climatic type Aw (hot and rainy summer and mild, dry winter); altitude at over 335 m; average annual temperature of 23 °C and average annual precipitation of 1,440 mm (Flores et al., 2016). A progeny test was established in two planting systems: mixed, considered to be multi-species (TP-MUE) and homogeneous (TP-DES).

The TP-MUE (progeny test in a multi-species system) was established in July 2006, in the geographic coordinates 20°21'33" S and 51°24'46" O, altitude 0 m, in a randomized block design, with 30 treatments (progenies), 14 replicates and one plant per plot, with each plot, established in a linear form, consisting of four trees, each one belonged to one different native species (Figure 1). The spacing was 3 m × 2 m. Thus, to constitute a plot, each *M. urundeuva* progeny was randomly intercropped with a progeny of *Jacaranda cuspidifolia* (jacaranda-caroba), *Cordia trichotoma* (louro-pardo) and *Mabea fistulifera* (canudo-de-pito). In this study, only *M. urundeuva* was considered. Thus, the spacing between the *M. urundeuva* progenies was 3 m × 8 m.

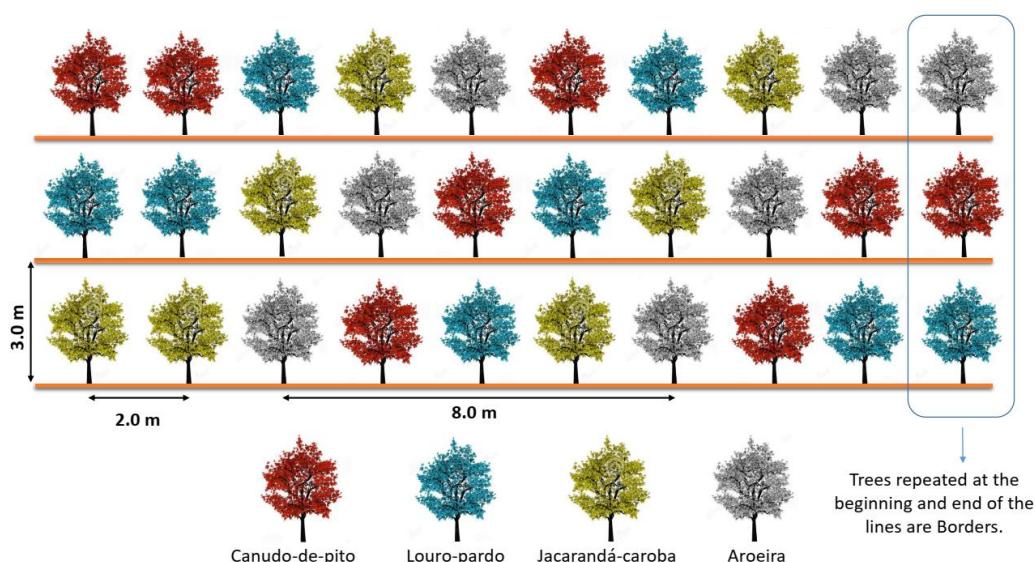


Figure 1. Scheme of arrangements of *Myracrodruon urundeuva* trees in the TP-MUE with the species *Jacaranda cuspidifolia*, *Cordia trichotoma* (louro-pardo) and *Mabea fistulifera* (canudo-de-pito).

Figura 1. Esquema das disposições das árvores de *Myracrodruon urundeuva* no TP-MUE com as espécies *Jacaranda cuspidifolia*, *Cordia trichotoma* (louro-pardo) e *Mabea fistulifera* (canudo-de-pito).

The TP-DES (progeny test in different spacing) was installed in October 2006, in the geographic coordinates 20°20'08" S and 51°24'23" O, in a systematic "fan" design, also known as Nelder

design (Nelder, 1962), with 30 treatments (same progenies), nine replicates and one plant per plot.

The characters were evaluated at 12 years after planting. The data collected in the field were:

growth characters, height (H, m), diameter at breast height (DBH, cm) and average crown diameter (ACD, m); adaptive characters, survival (SUR, %) and phenological characters, number of males (Nm), number of females (Nf), monoecious (Mo) and without flowering (Wf). The sexing of trees in the progeny tests was carried out during the flowering months of the species in the region (July and August). The evaluation was performed visually with the aid of a binocular.

The estimates of genetic parameters were obtained using a mixed linear model (univariate additive) methodology, using the REML (Restricted Maximum Likelihood) / BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) procedure, through SELEGEN software (Resende, 2016). For individual analysis, the “model 95” was used for the TP-MUE and the “model 19” (Equation 1) for the TP-DES (Resende 2007; Resende 2016). Both models are applied to evaluate open pollination progenies (considering half-sisters), complete block design, in one place, a single data evaluation and one observation per plot, according to the statistical model:

$$y = Xr + Za + e \quad (1)$$

where: **y**, **r**, **a** and **e** refer to data vectors, replicate effects, additive genetic effects and errors, respectively. The incidence matrices for these effects are capital letters.

The joint analysis of the progeny tests to verify the effect of the planting systems was carried out by SELEGEN's “model 5” (Equation 2), according to the statistical model:

$$y = Xr + Za + Wp + Ts + e \quad (2)$$

where: **y** is the vector of data, **r** is the vector of repetition effects (assumed to be fixed) plus the general average, **a** is the vector of individual additive genetic effects (assumed to be random), **p** is the vector of the effects of plot (assumed to be random), **s** is the vector of population effects (random) and **e** is the vector of errors or residuals (random). The capital letters represent the incidence matrices for the respective effects.

From these analyzes, the following genetic parameters were estimated: individual heritability in the strict sense ($\hat{h}_a^2$), that is, the additive effects; individual additive genetic variation coefficient (CV_{gi}); coefficient of genotypic variation between progenies (CV_{gp}); residual variation coefficient ($r_{\hat{a}a}$); accuracy (CV_e) and general mean of the

experiment. Differences between treatments were obtained by the LRT test by deviance analysis. The sex ratio ($\hat{r}$) was calculated according to Vencovsky et al. (2012) (Equation 3):

$$\hat{r} = \frac{N_f}{N_f + N_m} \quad (3)$$

where: N_f and N_m correspond to the total number of female and male flowering plants, respectively.

The effective population size ($\hat{N}_e$) (Equation 4) for dioic species was calculated by:

$$\hat{N}_e = \frac{4t}{D_5} \quad (4)$$

on what: $t = N_f + N_m$ and

$$D_5 = \frac{1}{r(1-r)} + \frac{(1-u)t-1}{F} + \frac{(1-v)t-1}{M} \quad \text{being that:}$$

$$1-r = \frac{N_m}{N_f + N_m}; \quad u = \frac{F}{N_f} (0 < u \leq 1);$$

$$v = \frac{M}{N_m} (0 < v \leq 1) \quad F \text{ and } M \text{ correspond to the}$$

number of plants with female flowering (F) and male flowering (M) in a 1: 1 ratio that effectively participate in the reproductive event. Statistical analyzes were performed based on the chi-square test (χ^2), based on the hypothesis that the expected frequency was 1♂: 1♀. Monoic individuals were included in the male parent (Vencovsky et al., 2012).

3 RESULTS AND DISCUSSION

The survival rate (SOB) was high (>80%) for both *M. urundeuva* progeny tests at 12 years after planting (82% for TP-MUE and 85% for TP-DES). Otsubo et al. (2015) found an average survival higher than 90% in progeny tests of *M. urundeuva* and *Astronium fraxinifolium* in the same planting site, which characterizes an excellent adaptation of species in Selvíria. Bertonha et al. (2016) found high survival for the same species in a homogeneous planting test and also for the *M. urundeuva* test intercropped with *Corymbia citriodora*, both with survival higher than 90%, emphasizing progenies adaptation to the site where the progeny tests were installed and planting systems.

The averages for silvicultural traits of *M. urundeuva* progenies at 12 years of age for TP-MUE and TP-DES, respectively, were: 7.58 m and 10.02 m for H (total plant height); 8.24 cm and 10.91 cm for DBH (diameter at breast height) and 3.82 m and 4.60 m for DMC (average crown diameter), indicating that the growth of the

progenies in homogeneous planting was higher (between 17 % to 24 %) than the mixed planting system (Table 1). Analyzing the genetic parameters and growth traits, Tung et al. (2010) reported in a *M. urundeuva* progenies test the following averages for silvicultural characters at 12 years of age (3 m x 3 m spacing): 9.81 m in total height for the cut trees; 11.35 cm for the DAP; 2.96 m for stem height. Cornacini et al. (2017) obtained averages of 9.54 m and 8.62 m (H); 11.45 cm and 10.78 cm (DAP); 4.14 m and 4.10 m (DMC), in progenies of *Astronium fraxinifolium* in the mixed planting system at age 18, a species that belongs to the same botanical family as *M. urundeuva* (Anacardiaceae), coming from Selvíria (MS) and Ilha Solteira (SP), respectively, values similar to TP-DES at 12 years of age.

Progeny tests are differentiated by the planting system. TP-MUE is intercropped with other native species, while TP-DES was installed without intercropping. The greater development of TP-DES in relation to TP-MUE, probably occurred due to the influence of larger spacing, which allowed for greater development of silvicultural characters. On the other hand, the competition for space, nutrients and light from other species on the growth of *M. urundeuva* in TP-MUE must have been more intense, besides to the weed competition, which occurs in certain experiment places. Bertoni e Dickfeldt (2007) observed a good development of *M. urundeuva* based on the mean DAP (8.25 cm) and H (7.20 m) and a high survival rate (90 %) at 10 years, despite the competition for light, water and nutrients with other species, especially pioneers, which had greater occurrence and distribution in the area of natural regeneration.

The coefficient of experimental variation (CV_e) was higher in the TP-MUE for H, DAP and DMC, and in both progeny tests and ranged from 21.90 to 40.51% (Table 1). The highest coefficients of experimental variation (CV_e) were found in the TP-MUE. This indicates a greater influence of the environmental effect on the progenies, probably due to the competition with the species intercropped by the test and with regenerants that occur in the area, in addition to the greater influence weed competition that occurs in certain experiment blocks, instead to what occurs in TP-DES. Tung et al. (2010) found a CV_e of 11.7 to 19.0% for a progeny test of *M. urundeuva* at 19 years old. Canuto et al. (2015), studying the genetic characterization of a progeny test of *Dipteryx alata* from forest remnants, found an

experimental variation ranging from low to high, from 8.80% to 52.36%.

The deviance analysis was performed using the likelihood ratio test (LRT) and presented significant values at 1% with a degree of freedom for H in both tests and for DMC in TP-MUE; for DAP the significance was obtained at 5% with a degree of freedom and for DMC it was significant only in TP-MUE.

The highest accuracy (r_{aa}) was for the H character in the TP-DES (85%) and considered as high. But in general, the accuracy varied from moderate to high for the characters evaluated in the progenies of *M. urundeuva*. In general, the accuracy varied from moderate to high for the characters evaluated in *M. urundeuva* progenies. Individual heritability in the narrow sense (r_{aa}) was higher for the H character in the TP-DES (0.61 ± 0.24). Resende e Duarte (2007) reported the accuracy classes as very high for accuracy from 0.90 to 0.99; high from 0.70 to 0.85; moderate from 0.50 to 0.65; and low from 0.10 to 0.40.

All intervals of $\hat{h}_a^2$ were different from zero, indicating genetic differences between individuals. The DAP and H vary according to the age of the plant, planting location and planting system, due to competition for water, light and nutrients. The average heritability of progenies $\hat{h}_m^2$ was higher for H in the TP-DES. The $\hat{h}_a^2$ was considered high for DAP compared to other studies with the same species, such as: 0.00 and 0.27 (Guerra et al., 2009); 0.001 to 0.59 (Freitas et al., 2006); 0.15 (Freitas et al., 2007) 0.12 and 0.31 (Bertonha et al., 2016). The values (0.55 TP-MUE and 0.72 TP-DES) were higher than that obtained by Sebbenn and Etori (2001) for the same species, which was 0.15 for H.

The highest coefficients of genetic variation (CV_{gi} e CV_{gp}) e were for H and DAP in the TP-DES, as well as the coefficient of relative variation (CV_r). For Sebbenn et al. (1998) a coefficient of genetic variation (CV_{gi}) above 7% is considered high. Thus, it can be said that the coefficients of genetic variation were high for silvicultural traits.

The CV_r was higher for all characters in the TP-MUE, indicating a greater influence of the environmental effect on the progenies, in particular, by competition with regenerants, and due to a greater influence of bush, unlike the TP-DES.

Table 1. Estimates of genetic parameters for the TP-MUE (multi-species progeny test) and TP-DES (progeny test in different spacing) tests for total height (H, m), diameter at breast height (DBH, cm) and average crown diameter (DMC, m), at 12 years old, in Selvíra (MS).

Tabela 1. Estimativas de parâmetros genéticos para os testes TP-MUE (teste de progênie multiespécies) e TP-DES (teste de progênie em diferentes espaçamentos) para altura total (H, m), diâmetro à altura do peito (DAP, cm) e diâmetro médio da copa (DMC, m), aos 12 anos, em Selvíra (MS).

Estimates	TP-MUE DAP			TP-DES DAP		
	H	DBH	DMC	H	DBH	DMC
$\hat{h}_a^2$	0.32 ± 0.17	0.27 ± 0.16	0.32 ± 0.17	0.61 ± 0.24	0.40 ± 0.23	0.26 ± 0.19
$\hat{h}_m^2$	0.55	0.50	0.55	0.72	0.50	0.39
r_{aa}	0.74	0.70	0.74	0.85	0.70	0.62
CV_{gi} (%)	18.25	21.81	16.72	27.07	24.20	13.97
CV_{gp} (%)	9.12	10.90	8.36	11.85	12.10	6.98
CV_e (%)	30.52	40.51	28.28	21.90	36.03	26.05
CV_r	0.29	0.26	0.29	0.53	0.33	0.26
$\hat{m}$	7.58	8.24	3.82	10.02	10.91	4.60
LRT	7.73**	5.14*	7.33**	22.8**	4.61*	2.95 ^{ns}

$\hat{h}_a^2$: individual heritability in the narrow sense; $\hat{h}_m^2$: heritability of the average of progenies; r_{aa} : accuracy; CV_{gi} : coefficient of individual additive genetic variation; CV_{gp} : coefficient of genetic variation between progenies; CV_e : coefficient of experimental variation; CV_r : coefficient of relative variation; $\hat{m}$: general average; LRT - likelihood ratio test. ** Significant at 1% probability with one degree of freedom; * Significant at 5% probability with one degree of freedom; ^{ns} not significant.

$\hat{h}_a^2$: herdabilidade individual no sentido restrito; $\hat{h}_m^2$: herdabilidade da média de progênes; r_{aa} : acurácia; CV_{gi} : coeficiente de variação genética aditiva individual; CV_{gp} : coeficiente de variação genética entre progênes; CV_e : coeficiente de variação experimental; CV_r : coeficiente de variação relativa; $\hat{m}$: média geral; LRT: teste de razão de verossimilhança; ** Significativo a 1% com um grau de liberdade; *Significativo a 5% com um grau liberdade; ^{ns} não significativo.

No significant results were obtained for the LRT test for the planting system. The progeny effect was significant for H, DAP and DMC,

(Table 2) showing that this planting system did not influence the character development.

Table 2. Deviance analysis (LRT) for total height (H, m), diameter at breast height (DBH, cm) and average crown diameter (DMC, m) in the progenies tests of *Myracrodruon urundeuva*, in two planting systems, at 12 years old, in Selvíra (MS).

Tabela 2. Análise de deviance (LRT) para altura total (ALT, m), diâmetro a altura do peito (DAP, cm), diâmetro médio da copa (DMC, m) nos testes de progênes de *Myracrodruon urundeuva*, em dois sistemas de plantio, aos 12 anos de idade, em Selvíria- MS.

LRT	H	DBH	DMC
Progeny	5.52**	5.23**	2.81*
Planting system	2.29 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.61 ^{ns}

** Significant at 1% probability with a degree of freedom (6.63); ^{ns} not significant.

**Significativo a 1% com um grau de liberdade (6.63); ^{ns} não significativo.

At 12 years after planting, from July to September 2018, sexing of *M. urundeuva* trees was evaluated. The percentage of Nm was 41.6 %; Nf=27.1%; Mo=2.9% and Sf=28.3 % in TP-MUE. For the TP-DES the observed values were: Nm=30.6%; Nf=7.9%; Mo=2.2% and Sf=59.4%. Thus, trees with male flowering prevailed in TP-MUE, in the approximate proportion of 2♂: 1♀ and, individuals without flowering, in TP-DES, in the approximate proportion of 4♂: 1♀, which may be related, also to the different spacing of the last experiment. From the analysis of the chi-square

test, it was observed that there were significant differences between plants with male and female. In a population of *M. urundeuva*, from the State of Paraíba (Caatinga vegetation), it was also established in the same location, whose proportion found was 1♂: 1♀ (Leite e Machado, 2010). Vencovsky et al. (2012) pointed out important factors that change the effective population size, being the size of the population and its fluctuations, unequal proportion between sexes, number of descendants sampled flowering, in the two tests (Table 3).

Table 3. Observed (FO) and expected (FE) frequencies for individuals of *Myracrodruon urundeuva*, with female♀ and male-flowering in multi-species progeny tests (TP-MUE) and progeny test in different spacings (TP-DES), in Selvíria (MS).

Tabela 3. Frequências observadas (FO) e esperadas (FE) para indivíduos de *Myracrodruon urundeuva*, com florescimento feminino♀ e masculino♂ nos testes de progênies multi-espécie (TP-MUE) e teste de progênies em diferentes espaçamentos (TP-DES), em Selvíria-MS.

Flowering	TP-DES			TP-MUE		
	FO	FE	χ^2	FO	FE	χ^2
♂	75	46.50	17.5**	151	121.50	7.2**
♀	18	46.50	17.5**	92	121.50	7.2**
Total	93	93	34.94**	243	243	14.33**

χ^2 : chi-square table (6.63) for the 1% probability. **: significant at 1% probability.

χ^2 : qui quadrado tabelado (6,63) para a probabilidade de 1%. **: significativo a 1% de significância.

The effective size (N_e) for the sample of the natural population of Ribeirão Preto was expected to be 120 (30 free-pollinating trees x 4 $N_e \text{ arv}^{-1}$), assuming the ratio of 1♀:1♂, in this population, in absence of sexual selection. Therefore, the N_e of TP-MUE represents 38% of the expected N_e , and the N_e of TP-DES represents 12% of the expected N_e (Table 4), considering that the effective size is below 50% for both tests, it is not recommended the transformation of the progeny tests in a seed orchard by seedlings, mainly in the TP-DES, which had its representativeness much lower than expected, because only few individuals bloomed during the evaluation of this reproductive event. However, it is necessary to evaluate future reproductive events of individuals with flowering, to obtain a larger sample.

Souza (2017) working with 34 progenies from four fragmented natural populations of *M. urundeuva*, found that, in order to obtain seed lots with a N_e of 150 (long-term genetic conservation),

it was necessary to collect seeds from at least 55 trees matrices, because N_e indicates how many non-related and non-inbreeding individuals the population has. The number of trees sampled for seed collection in a population is fundamental for long-term *ex situ* genetic conservation. Thus, as seeds were collected from 30 trees, *ex situ* genetic conservation will be in the short term. To reduce the genetic risk inherent to populations conserved *ex situ*, to preserve representative levels of genetic diversity and to minimize deleterious genetic alterations, it is recommended to practice a more efficient sampling (Potter et al., 2017) and, for that, a new collection of seeds from parent trees at this location could be carried out. However, as this is an environment heavily anthropized by the expansion of the municipality, the number of available specimens may not reach a minimum size of 50 trees. Thus, it is additionally recommended to expand the region for seed collection as long as climate and soil conditions are maintained.

Table 4. Effective size (Ne), sex ratio (r), total number of plants that contribute to gametes in the reproductive event (t), total number of male plants which flowered in that reproductive event (M), total number of female plants, which bloomed in that reproductive event (F), total number of male plants (Nm) and total number of female plants (Nf) in two *Myracrodruon urundeuva* progenies tests: TP-MUE and TP-DES, installed in 2006 in the region of Selvíria (MS).

Tabela 4. Tamanho efetivo (Ne), razão sexual (r), número total de plantas que contribuem com gametas, no evento reprodutivo (t), Número total de plantas masculinas, que floresceram, naquele evento reprodutivo (M), Número total de plantas femininas, que floresceram, naquele evento reprodutivo (F), Número total de plantas masculinas (Nm) e Número total de plantas femininas (Nf) em dois testes de progênie de *Myracrodruon urundeuva*: teste de progênie multi-espécie (TP-MUE) e teste de progênie em diferentes espaçamentos (TP-DES), instalados em 2006 na região de Selvíria-MS.

EXP	Nm	Nf	M	F	v	u	t	r	D ₅	Ne	Ne (%)
TP-MUE*	210	210	210	210	1.0000	1.0000	420	0.50	3.9905	421	-
TP-MUE**	210	210	151	92	0.7190	0.4381	243	0.38	6.1694	158	38

EXP	Nm	Nf	M	F	v	u	t	r	D ₅	Ne	Ne (%)
TP-DES*	135	135	135	135	1.0000	1.0000	270	0.50	3.9852	271	-
TP-DES**	135	135	75	18	0.5556	0.1333	93	0.19	11.3667	33	12

*When installing the experiment (EXP), assuming 1♂:1♀ and **Evaluation at the 2018 reproductive event.

*Na instalação do experimento (EXP), supondo 1♂:1♀ e **Avaliação no evento reprodutivo de 2018.

Souza (2017) working with 34 progenies from four fragmented natural populations of *M. urundeuva*, found that, in order to obtain seed lots with a *Ne* of 150 (long-term genetic conservation), it was necessary to collect seeds from at least 55 trees matrices, because *Ne* indicates how many non-related and non-inbreeding individuals the population has. The number of trees sampled for seed collection in a population is fundamental for long-term *ex situ* genetic conservation. Thus, as seeds were collected from 30 trees, *ex situ* genetic conservation will be in the short term. To reduce the genetic risk inherent to populations conserved *ex situ*, to preserve representative levels of genetic diversity and to minimize deleterious genetic alterations, it is recommended to practice a more efficient sampling (Potter et al., 2017) and, for that, a new collection of seeds from parent trees at this location could be carried out. However, as this is an environment heavily anthropized by the expansion of the municipality, the number of available specimens may not reach a minimum size of 50 trees. Thus, it is additionally recommended to expand the region for seed collection as long as climate and soil conditions are maintained.

4 CONCLUSIONS

The survival of *Myracrodruon urundeuva* is high for both progeny tests, indicating good adaptation of the species to the site.

The population has sufficient genetic variability for *ex situ* genetic conservation and expresses this, both in TP-MUE and TP-DES.

The planting system does not influence the development of individuals, and is independent for genetic conservation, as long as the spacing is the same.

The tendency to lose genetic basis in the two progeny tests is similar and *Ne* indicates conditions for *ex situ* genetic conservation in the short term, by the number of progenies present in the test.

5 ACKNOWLEDGMENT

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001. Research fellowships were provided by the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

REFERENCES

BALDONI, A.B. et al. Contemporary pollen and seed dispersal in natural populations of *Bertholletia excelsa* (Bonpl.). **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, p. 1-14, 2017.

- BERTI, C.L.F. et al. Diversidade genética de populações naturais de *Dipteryx alata* localizadas nos municípios de Brasilândia/MS, Indiará/GO e Ituramã/GO estimada por marcadores microssatélites. **Cultura Agrônômica**, v. 26, n. 2, p. 203-216, 2017.
- BERTONHA, L.J. et al. Seleção de progênes de *Myracrodruon urundeuva* baseada em caracteres fenológicos e de crescimento para reconstituição de áreas de reserva legal. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 95-104, 2016.
- BERTONI, J.E.A.; DICKFELDT, E.P. Plantio de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (aroeira) em área alterada de floresta: desenvolvimento das mudas e restauração florestal. **Revista do Instituto Florestal**, v.19, n.1, p.31-38, 2007.
- CANUTO, D.S.O. et al. Genetic Variability in *Myracrodruon urundeuva* (Allemão) Engl. Progeny Tests. **Open Journal of Forestry**, v. 7, p. 1-10, 2016.
- _____. et al. Caracterização genética de um teste de progênes de *Dipteryx alata* Vog. proveniente de remanescente florestal da Estação Ecológica de Paulo de Faria, SP, Brasil. **Hoehnea**, v. 42, n. 4, p. 641-648, 2015.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas Florestais, 2003. 179 p.
- CORNACINI, M.R. et al. Desbaste em teste de procedências e progênes de *Astronium fraxinifolium* Schott com base na variabilidade genética. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, p. 581-591, 2017.
- FREITAS, M.L.M. et al. Variação genética em progênes de *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão em três sistemas de cultivo. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 319-329, 2006.
- _____. et al. Formação de pomar de sementes a partir da seleção dentro de teste progênes de *Myracrodruon urundeuva*. **Revista do Instituto Florestal**, v. 19, n. 2, p. 65-72, 2007.
- FLORES, T.B. et al. **Eucalyptus no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais, 2016. 447 p.
- GUERRA, C.R.S.B. et al. Estratégias de seleção em duas populações de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. **Scientia Forestalis**, v. 37, v. 81, p. 79-87, 2009.
- LEITE, A.V.L.; MACHADO, I.C. Reproductive biology of woody species in Caatinga, a dry forest of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 11, p. 374-1380, 2010.
- LENZA, E.; OLIVEIRA, P.O. Biologia reprodutiva de *Tapirira guianensis* Aubl. (Anacardiaceae), uma espécie dioica em mata de galeria do Triângulo Mineiro, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n.1, p. 179-190, 2005.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 6 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014. v. 1, 384 p.
- MORAES, M.A. et al. Estimating coancestry within open-pollinated progenies of a dioecious species: the case study of *Myracrodruon urundeuva*. **Silvae Genetica**, v. 61, n. 6, p. 256-264, 2012.
- NELDER, J.A. New kinds of systematic designs for spacing experiments. **Biometrics**, n. 18, p. 283-307, 1962.
- NUNES, Y.R.F. et al. Aspectos ecológicos da aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão – Anacardiaceae): fenologia e germinação de sementes. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2. p. 233-243, 2008.
- OLIVEIRA, P.E.; GIBBS, P.E. Reproductive biology of wood plants in a Cerrado community of central Brazil. **Flora**, v. 195, p. 311-329, 2000.
- OTSUBO, H.C.B. et al. Variação genética para caracteres silviculturais em três espécies arbóreas da região do bolsão sul-mato-grossense. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 535-544, 2015.
- PALUDZYSZYN FILHO, E. et al. Avaliação e seleção precoce para crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1719-1726, 2002.

POTTER, K.M. et al. Banking on the future: progress, challenges and opportunities for the genetic conservation of forest trees. **New Forests**, v. 48, p. 153-180, 2017.

QUEIROZ, C.R.A.A.; MORAIS, S.A.L.; NASCIMENTO, E.A. Caracterização dos taninos da aroeira-preta (*Myracrodruon urundeuva*). **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 485-492, 2002.

RAMOS, S.L.F. et al. Spatial genetic structure, genetic diversity and pollen dispersal in a harvested population of *Astrocaryum aculeatum* in the Brazilian Amazon. **BMC Genetics**, v. 17, n. 63, 2016.

RESENDE, M.D.V. Software Selegen – REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

_____. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 362 p.

_____.; DUARTE, J.B. Precisão e controle experimental de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 118 p.

SANT'ANA, V.Z. **Proporção sexual em populações de *Myracrodruon urundeuva* para fins de formação de pomares de sementes por mudas**. 2017. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 353 p.

SEBBENN, A.M.; ETTORI, L.C. Conservação genética *ex situ* de *Esenbeckia leiocarpa*, *Myracrodruon urundeuva* e *Peltophorum dubium* em teste de progênies misto. **Revista do Instituto Florestal**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2001.

_____. et al. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva – *Myroxylon peruiferum* L.F. Allemão. **Scientia Forestalis**, n. 53, p. 31-38, 1998.

SOUZA, D.C.L. **Sistema de reprodução e distribuição da variabilidade genética de *Myracrodruon urundeuva* (F.F. & M.F. Allemão) em diferentes biomas**. 126 f. 2017. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista..

SHIMIZU, J.Y.; KAGEYAMA, P.Y.; HIGA, A.R. **Procedimentos e recomendações para estudos de progênies de essências florestais**. Curitiba: EMBRAPA - URPFCS, 1982. 33p. (Série Documentos, 11).

SPOLADORE, J. et al. A.M. Genetic conservation of small populations of the endemic tree *Swartzia glazioviana* (Taub.) Glaz. (Leguminosae) in the Atlantic Forest. **Conservation Genetics**, v. 18, n. 5, p. 1105-1117, 2017.

TAMBARUSSI, E.V. et al. Inbreeding depression from selfing and mating between relatives in the Neotropical tree *Cariniana legalis* Mart. Kuntze. **Conservation Genetics**, v. 18, p. 225-234, 2017a.

_____. et al. *Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae), a neotropical tree with high levels of selfing: implications for conservation and breeding programs. **Annals of Forest Research**, v. 60, n. 2, p. 243-261, 2017b.

TUNG, E.S.C. et al. Variação genética para caracteres silviculturais e anatômicos de madeira em progênies de *Myracrodruon urundeuva* (Engler) Fr. Allem. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 499-508, 2010.

VENCOVSKY, R.; CHAVES, L.J.; CROSSA, J. Variance effective population size for dioecious species. **Crop Science**, v.52, n.1, p.79-90, 2012.

ZARUMA D.U.G. et al. Variabilidade genética em procedências e progênies de *Dipteryx alata* Vogel para fins de conservação genética e produção de sementes. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 107, p. 609-615, 2015.

PHYTOSSOCIOLOGICAL ASSESSMENT OF A NATURAL REGENERATION SITE IN THE SOUTHEAST ATLANTIC FOREST BIOME¹

AValiação fitossociológica de uma área de regeneração natural no Sudeste do Bioma Mata Atlântica¹

Luís Gustavo de Paula SILVA²; Klécia Gili MASSI^{3,14}; Marivaldo Garcia MARTINS⁴;
Tharcísio Pelosato NOGUEIRA⁵; Jaurés Barbosa GUIARD⁶; Rodrigo Leite Marco SANTOS⁶;
Jordano Roma BUZATI⁷; Rodrigo DAMETTO⁸; João Marcos PAIVA⁹;
Ádila Hanna Justiniana RODRIGUES¹⁰; Natan Rodrigues Ferreira de MELO E SILVA¹¹;
Marco Aurélio Silva LEITE¹¹; Marcos Pellegrini COUTINHO¹²;
Dalmo Arantes de BARROS¹³; Soraya Alvarenga BOTELHO²

ABSTRACT – On some portions of the biodiversity Atlantic Forest bioersity hotspot, land abandonment has regenerated back to forest. However, the composition and structure of these areas are not well known. Thus, the aim of this study was to inventory a 45 years old natural regeneration forest site in a small farm (68 ha) in the Southeast portion of Atlantic Forest Biome in Brazil. In November 2019 all regenerating individuals (<15 cm of circumference at ground level and > 50 cm of height) and adults (>15 cm of circumference at breast height) were counted, identified, classified in ecological groups, dispersal and conservation status, and measured in 0.34 ha. We calculated Importance Value (VI) for all species. Of the 2720 individuals sampled, 435 were adults and 2285 regenerating individuals. Families with greatest species richness were Fabaceae, Myrtaceae and Euphorbiaceae. The majority of species and individuals were non-pioneer and zoochorous. Most of the regenerants belong to the specie *Guarea kunthiana* and were non-pioneer species, wich might indicate an advanced stage of forest succession. Additionally, high VI species were mostly non-pionners.

Keywords: Composition; Passive restoration; Phytosociology; Tropical forest.

RESUMO - Em algumas porções do hotspot de biodiversidade da Mata Atlântica, o abandono de terras tem se regenerado de volta à floresta. No entanto, a composição e estrutura dessas áreas não são bem conhecidas. Assim, o objetivo deste estudo foi inventariar um fragmento florestal de regeneração natural com 45 anos de idade em uma pequena propriedade (68 ha) na porção sudeste do bioma Mata Atlântica no Brasil. Em novembro de 2019 todos os indivíduos em regeneração (<15 cm de circunferência ao nível do solo e > 50 cm de altura) e adultos (>15 cm de circunferência ao nível do peito) foram contados, identificados, classificados nos grupos ecológicos, dispersão e status de conservação, e medidos em 0,34 ha. Calculamos o Valor de Importância (VI) para todas as espécies. Dos 2720 indivíduos amostrados, 435 eram adultos e 2.285, regenerantes. As famílias com maior riqueza de espécies foram Fabaceae, Myrtaceae e Euphorbiaceae. A maioria das espécies e indivíduos eram não pioneiros e zoocóricos. Grande parte dos regenerantes pertenceram à espécie *Guarea kunthiana* e eram espécies não pioneiras, o que pode indicar o estágio mais avançado de dinâmica florestal. As espécies de alto VI foram também em sua maioria não pioneiras.

Palavras-chave: Composição; Restauração passiva; Fitossociologia; Floresta tropical.

¹Recebido para análise em 28.04.2021. Aceito para publicação em 16.07.2021.

²Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Av. Dr. Sylvio Menicucci, 1001, Aqueanta Sol, 37200-000, Lavras, MG, Brasil.

³Departamento de Engenharia Ambiental, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", Rodovia Presidente Dutra, Km 137,8, Eugênio de Melo, 12247-004, São José dos Campos, SP, Brasil.

⁴Viveiro Manacá, Rodovia Floriano Rodrigues Pinheiro, 5637-5979, Chácara Flórida, 12043-970, Taubaté, SP, Brasil.

⁵Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, Rua Arlindo Bétio, 1000, Ermelino Matarazzo, 03828-000, São Paulo, SP, Brasil.

⁶Agra Consultoria Ambiental, Rua Claro Gomes, 340, Jardim Santa Clara, 12010-520, Taubaté, SP, Brasil.

⁷Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, Avenida Professor Luciano Gualberto, 1289, Butantã, 05508-010, São Paulo, SP, Brasil.

⁸Lume Consultoria Técnica, Rua Wellington Queiroz de Oliveira, 92, Bairro Independência, 12031 560, Taubaté, SP, Brasil.

⁹Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, Centro Técnico Regional de Taubaté, Largo Santa Luzia, 25, Santa Luzia, 12010-510, Taubaté, SP, Brasil.

¹⁰Universidade Paulista - UNIP, Pista Sul, Rodovia Presidente Dutra, km 157-5, Limoeiro, 12240-420, São José dos Campos, SP, Brasil.

¹¹Sítio São Miguel, Rua Lindolfo da Costa Manso, 375, Alto do São Miguel das Almas, 12620-000, Piquete, SP, Brasil.

¹²Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, campus Sorocaba, Rodovia João Leme dos Santos, Km 110, s/n, Itinga, 18052-780, Sorocaba, SP, Brasil.

¹³Universidade Federal de Alfenas, Rua Nabor Toledo Lopes, 598, Parque das Nações, 37130-001, Alfenas, MG, Brasil.

¹⁴Autor para correspondência: Klécia Gili Massi - klecia.massi@unesp.br

1 INTRODUCTION

The Atlantic Forest Biome, a biodiversity hotspot (Myers et al., 2000), which in the past extended over a large part of Brazilian coast (Galindo-Leal and Câmara, 2003), has now only 12.4% of its native vegetation cover remaining in Brazil (SOS Mata Atlântica and Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2017) due to anthropic changes, such as agriculture and industrialization, that occurred mostly in the first half of the 19th century (Dean, 1996).

The majority of the forest remnants are inside private farms and ranches, while nature reserves protect only 9% of the native forest left (Ribeiro et al., 2009). Since 1962, forest regeneration has been occurring on portions of cattle ranches and farms due to demographic and market shifts (Rezende et al., 2015; Silva et al., 2017; Calaboni et al., 2018; Chazdon et al., 2020).

The assessment and monitoring of restored forests are essential (Brancalion et al., 2015) since they allow evaluation from a degraded area under restoration. Our research focuses on the Atlantic Rainforest in Paraíba do Sul River Valley, Southeast Brazil. The valley sits on the fringe between the two major metropolitan areas of Brazil (São Paulo and Rio de Janeiro). Although populous, the valley is currently characterized by a landscape mosaic of tropical forest remnants and pastures. Historically, Atlantic Forest in the valley gave place to sugar cane, coffee and more recently pasture (Dean, 1996).

Land abandonment has been occurring in the last years and the Atlantic rainforest biome in São Paulo state (Nalon et al., 2020) and much of the valley is experiencing forest cover increase (Silva et al., 2017). The region has become a focus and a study case for regeneration of the Atlantic Forest biome.

Thus, the aim of this study was to inventory a 45 years old natural regeneration forest site in a small farm (68 ha) in the Southeast portion of Atlantic Forest Biome in Brazil. We expected a higher importance of non-pioneer species and of zoochorous species. Specially in older sites, vegetation dynamic processes, such as: (i) establishment of fleshy fruit species that are dispersed into the sites from surrounding vegetation by birds and mammals, verified by the number of zoochorous species; and as (ii) the successional shift from mostly pioneers to early and, then, late secondary species gradually plays out over time (Chazdon, 2008).

2 METHODS

2.1 Study site

This study was conducted in a forest fragment of 68 ha, inside a farm located between the coordinates 22° 54' 25.12" S and 45° 03' 81.09" W, in Cruzeiro municipality, Southeast Atlantic Forest Biome, São Paulo state, Brazil (Figure 1). Relief is hilly with slope between 20% to 45% (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 1979), soil is red-yellow latosol (Brasil, 1960), climate is classified as dry-winter subtropical Cwa (Alvares, 2013), with an annual mean temperature of 20,5° C (2019-2020), an average annual precipitation of 1400 mm, and a dry season between April and September, data collected at the National Institute of Meteorology (INMET, Portuguese acronym), from Cachoeira Paulista (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2020).

The farm is in the Atlantic Forest Biome, transition between evergreen and semi-deciduous forest (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2012). The landscape where the farm is inserted is mostly forested with mature secondary forest, especially in the north (Figure 1) and it has many protected areas, as for example, the Environmental Protection Area Mantiqueira (APA, Portuguese acronym), Natural Monument Mantiqueira (Mona, Portuguese acronym) and others. The area was a low-intensity cattle pasture with *Melinis minutiflora* until 1975 (personal communication with the land owner), when it was fenced and a natural regeneration process started (Martins et al., 2002).

2.2 Data collection

In November 2019 we randomly installed 34 plots of 25 x 4 m (100 m², plots were distant 100 m from each other), according to the monitoring protocol of Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais – CBRN, contained in CBRN Ordinance 01/2015 (São Paulo, 2015) and Resolution SMA nº 32/2014 (São Paulo, 2014). All regenerating individuals (<15 cm of circumference at ground level and > 50 cm of height, according to CBRN 01/2015) and adults (>15 cm of circumference at 1.3 m height) inside plots were counted, identified, and measured. Indicators of the monitoring protocol of CBRN 01/2015 (São Paulo, 2015) and of Resolution SMA 32/2014 for this site were quantified and are presented in Massi et al. (2021, early view). Plant material was identified

using botanical identification references (Martins et al., 2002; Lorenzi, 2016). For plant family classification, we used the Angiosperm Phylogeny

Group IV (APG, 2016) and the Brazil Flora List (Flora do Brasil 2020 em Construção, 2020).

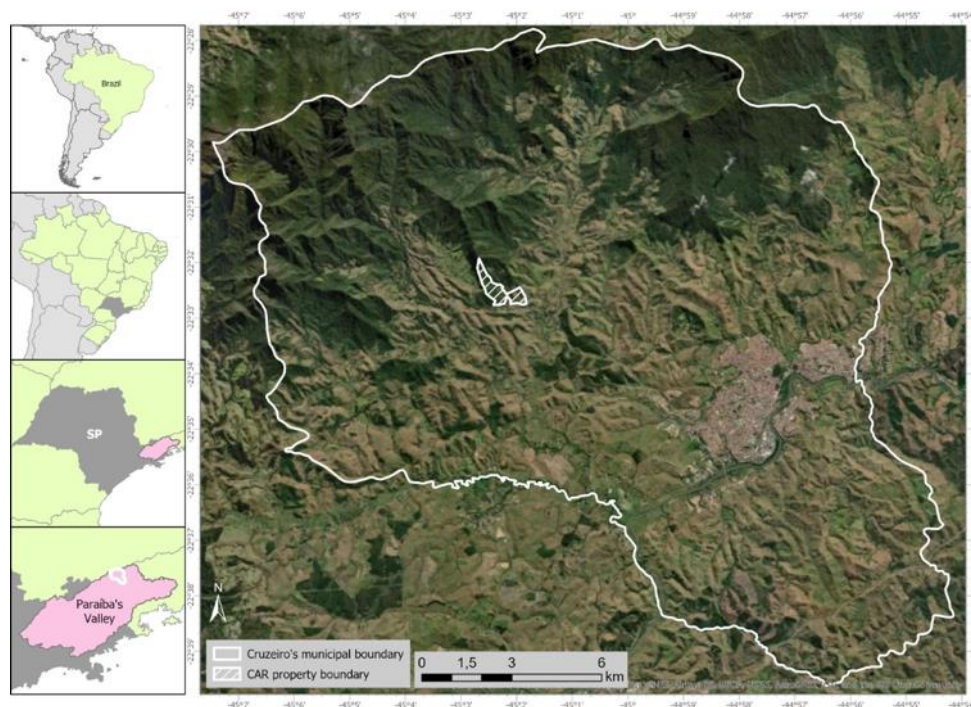


Figure 1. Satellite image of the study site, inside Cruzeiro municipality, São Paulo state, Brazil. Rural Environmental Registration (CAR, Portuguese acronym) defines self-declaratory land boundaries.

Figura 1. Imagem de satélite da área de estudo, no município de Cruzeiro, Estado de São Paulo, Brasil. O Cadastro Ambiental Rural (CAR) define limites de terras autodeclaradas.

We measured diameter at breast height (DBH) of adults. We calculated absolute and relative density, frequency and dominance and with that, Importance Value (IV) for all species with adult individuals. Species were classified according to the successional group into pioneers and non pioneers, to dispersal syndrome into anemochory, autochory and zoochory, using São Paulo (2008) and Instituto de Pesquisas Ecológicas - IPE (2018) and according to conservation status into not evaluated, least concern, near threatened and vulnerable, according to the list of species of Brazil threatened plant species list available on the Flora do Brasil website (Flora do Brasil 2020 em Construção, 2020). In addition, Sorensen similarity index between adults and regenerants was calculated (Begon et al., 2006).

3 RESULTS AND DISCUSSION

Of the 2720 individuals sampled, 435 were adults and 2285 regenerating individuals,

belonging to 29 families and 95 species, of which 12 morphospecies were not identified (13% of the total richness: Table 1), because individuals had only a few or damaged leaves that made the identification impossible.

Families with greatest species richness were Fabaceae (16), Myrtaceae (seven), Euphorbiaceae (five) and Arecaceae, Bignoniaceae, Lauraceae and Malvaceae (four species each). Families with greatest individual abundance were Meliaceae (750), Fabaceae (446) and Myrtaceae (221), which together represented 52.1% of all sampled individuals. Also, 30.7% of regenerating individuals (702) were Meliaceae. The Sorensen index between adults and regenerants was 0.65, which indicates a high similarity between adults and regenerants. Despite that, 31 species were found only as regenerants, such as *Myrsine coriacea* (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult., the most abundant with 19 individuals and 17 species only as adults such as *Platypodium elegans* Vogel, the most abundant with eight individuals.

Table 1. Family, species, total number of individuals (N), adults (A) and regenerants (R), successional category (SC) in NP: non-pioneers, P: pioneers. Dispersal syndrome (DS) in Ane: anemochory, Aut: autochory and Zoo: zoochory. Conservation status (CS) in NE: not evaluated, LC: least concern, NT: near threatened, VU: vulnerable observed in a 45 years old regeneration site in the Southeast Atlantic Forest Biome (Cruzeiro municipality, SP, Brazil).

Tabela 1. Família, espécies, número total de indivíduos (N), adultos (A) e regenerantes (R), categoria sucessional (SC) em NP: não pioneiras, P: pioneiras. Síndrome de dispersão (DS) em Ane: anemocoria, Aut: autocoria e Zoo: zoocoria. Status de conservação (CS) em NE: não avaliada, LC: menos preocupante, NT: quase ameaçada, VU: vulnerável, observado em uma área de regeneração de 45 anos no sudeste do Bioma Mata Atlântica (Município de Cruzeiro, SP, Brasil).

Family	Species	N	A	R	SC	DS	CS
Anonaceae	<i>Guatteria australis</i> A.St.-Hil.	24	1	23	NP	Zoo	LC
Apocynaceae	<i>Aspidosperma discolor</i> var. <i>parvifolium</i> Müll.Arg.	15	1	14	NP	Ane	NE
	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	1	0	1	NP	Ane	NT
	<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	17	5	12	P	Zoo	NE
Arecaceae	<i>Astrocaryum aculeatissimum</i> (Schott) Burret	5	0	5	NP	Zoo	LC
	<i>Bactris setosa</i> Mart.	1	0	1	NP	Zoo	NE
	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	171	15	156	NP	Zoo	VU
	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	35	5	30	NP	Zoo	LC
Asteraceae	<i>Piptocarpha macropoda</i> (DC.) Baker	2	0	2	P	Ane	NE
Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	2	0	2	NP	Ane	NE
	<i>Jacaranda macrantha</i> Cham.	2	0	2	P	Ane	LC
	<i>Sparattosperma leucanthum</i> (Vell.) K.Schum.	50	11	39	P	Ane	NE
Boraginaceae	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.	4	2	2	NP	Ane	VU
	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud	3	1	2	NP	Ane	NE
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	5	4	1	P	Zoo	NE
Cyatheaceae	<i>Alsophila setosa</i> Kaulf.	5	0	5	NP	Ane	NE
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum citrifolium</i> A.St.-Hil.	4	0	4	NP	Zoo	NE
Euphorbiaceae	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	8	1	7	P	Zoo	NE
	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	19	2	17	P	Aut	NE
	<i>Croton urucurana</i> Baill.	1	1	0	P	Aut	NE
Fabaceae	<i>Gymnanthes klotzschiana</i> Müll.Arg.	3	1	2	P	Aut	NE
	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	69	3	66	P	Zoo	NE
	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	5	4	1	NP	Aut	NE
	<i>Bauhinia forficata</i> Link	4	1	3	P	Aut	NE
	<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.	1	0	1	NP	Ane	LC
	<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.	53	20	33	NP	Ane	VU
	<i>Erythrina verna</i> Vell.	3	2	1	NP	Aut	NE
	Fabaceae sp. 1	2	0	2	-	-	-
	<i>Inga sessilis</i> (Vell.) Mart.	26	3	23	P	Zoo	NE
	<i>Inga striata</i> Benth.	20	1	19	P	Zoo	NE
	<i>Leucochloron incuriale</i> (Vell.) Barneby & J.W.Grimes	2	2	0	P	Aut	NE
	<i>Lonchocarpus</i> sp.	1	0	1	-	-	-
	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	28	6	22	NP	Ane	NE
	<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Stellfeld	57	27	30	NP	Ane	LC
	<i>Machaerium stipitatum</i> (DC.) Vogel	23	10	13	NP	Ane	NE
Lamiaceae	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	212	35	177	P	Aut	LC
	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	8	8	0	NP	Ane	NE
	<i>Senna macranthera</i> (DC. Ex Collad.) H.S.Irwin & Barneby	1	1	0	P	Aut	NE
	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	1	1	0	P	Zoo	NE
	<i>Vitex polygama</i> Cham.	4	3	1	NP	Zoo	NE
Lauraceae	<i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F.Macbr.	1	1	0	NP	Zoo	NE
	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart.	120	10	110	P	Zoo	NE
	<i>Ocotea corymbosa</i> (Meisn.) Mez	3	0	3	NP	Zoo	NE
	<i>Ocotea volutina</i> (Nees) Rohwer	2	2	0	NP	Zoo	NE

to be continued
continua

continuation Table 1
 continuação Tabela 1

Family	Species	N	A	R	SC	DS	CS
Lecythidaceae	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	1	0	1	NP	Ane	NE
	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	1	0	1	P	Zoo	NE
Malvaceae	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	5	2	3	NP	Aut	NE
	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	1	1	0	NP	Ane	NE
	<i>Luehea grandiflora</i> Mart.	120	55	65	NP	Ane	NE
	<i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Cav.) A.Robyns	3	2	1	NP	Ane	LC
Melastomataceae	<i>Miconia cinnamomifolia</i> (DC.) Naudin	6	3	3	NP	Zoo	NE
	<i>Miconia sellowiana</i> Naudin	27	1	26	P	Zoo	NE
	<i>Pleroma granulolum</i> (Desr.) D. Don	11	10	1	P	Aut	NE
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	4	1	3	NP	Zoo	NE
	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	7	3	4	NP	Ane	VU
	<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.	739	44	695	NP	Zoo	NE
Moraceae	<i>Ficus adhatodifolia</i> Schott in Spreng.	4	1	3	NP	Zoo	NE
	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	5	3	2	NP	Zoo	NE
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp.	1	0	1	-	-	-
	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	196	20	176	NP	Zoo	NE
	<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i> (Gomes) Landrum	13	2	11	NP	Zoo	NE
	<i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel	1	0	1	NP	Zoo	NE
	<i>Psidium guajava</i> L.	3	1	2	P	Zoo	NE
	<i>Psidium guineense</i> Sw.	3	0	3	NP	Zoo	NE
	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	4	0	4	NP	Zoo	NE
	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	19	0	19	P	Zoo	NE
Rubiaceae	<i>Bathysa stipulata</i> (Vell.) C.Presl	2	0	2	NP	Aut	NE
	<i>Coffea</i> sp.	1	0	1	-	-	-
	<i>Randia armata</i> (Sw.) DC.	2	1	1	NP	Zoo	NE
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	6	5	1	NP	Zoo	NE
Salicaceae	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	5	2	3	NP	Zoo	NE
	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	105	41	64	P	Zoo	NE
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	2	0	2	P	Zoo	NE
	<i>Cupania racemosa</i> (Vell.) Radlk.	26	1	25	NP	Zoo	NE
	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	137	4	133	NP	Zoo	NE
Siparunaceae	<i>Siparuna brasiliensis</i> (Spreng.) A.DC.	2	0	2	NP	Zoo	LC
	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	207	27	180	NP	Zoo	NE
Solanaceae	<i>Solanum pseudoquina</i> A.St.-Hil.	4	0	4	P	Zoo	LC
Urticaceae	<i>Cecropia glaziovii</i> Snethl.	2	1	1	P	Zoo	NE
	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	3	3	0	P	Zoo	NE
Verbenaceae	<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	1	0	1	P	Zoo	NE
	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	4	4	0	P	Zoo	NE
Vochysiaceae	<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	2	1	1	NP	Ane	NE
Unknown 1	Unknown1	1	0	1	-	-	-
Unknown 2	Unknown2	1	0	1	-	-	-
Unknown 3	Unknown3	1	0	1	-	-	-
Unknown 4	Unknown4	1	0	1	-	-	-
Unknown 5	Unknown5	1	0	1	-	-	-
Unknown 6	Unknown6	1	1	0	-	-	-
Unknown 7	Unknown7	1	0	1	-	-	-
Unknown 8	Unknown8	1	1	0	-	-	-
Unknown 9	Unknown9	1	1	0	-	-	-
Unknown 10	Unknown10	1	1	0	-	-	-
Unknown 11	Unknown11	1	1	0	-	-	-
Unknown 12	Unknown12	1	1	0	-	-	-

Fabaceae and Myrtaceae were the most abundant (regarding individual abundance and species richness) families in the studied site, corroborating other studies in evergreen (Lima and Guedes-Bruni, 1997; Marques et al., 2015) and deciduous tropical forests (Oliveira-Filho et al., 1993; Sartori et al., 2015). In the studied farm, seventeen years back, Martins et al. (2002) found the same dominance of families. For regenerants, Meliaceae (*Guarea kunthiana*: late secondary) had also a high number of individuals.

We found 95 species in 0.34 ha of a 45 years old secondary forest, Martins et al. (2002) found 66 species in 0.6 ha, of the same farm, but 26 years old. Well-preserved lowland rainforests had 100 species per hectare in the Atlantic Forest Biome of Pernambuco (Lima et al., 2019) and 185 species in the municipality of Ubatuba, São Paulo, close to the study site (Souza et al., 2018). Secondary neotropical forests take a median time of five decades to recover the species richness of old-growth forests with 80% recovery after 20 years (Rozendaal et al., 2019). Despite that, total richness of regenerants of 79 species

indicate that, based on reference values of the Resolution SMA nº 32/2014, which recommends 30 species in 20 years, the study site can be considered recomposed.

Non-pioneer species was the richest ecological group (62%), followed by pioneers (38%). Among adult trees and regenerants, non-pioneer species dominated (60% and 78%, respectively; Figure 2A). Among individuals, adults and regenerants were mostly non pioneers (67 and 74%, respectively: Figure 2B). In 2002, Martins and collaborators have found the same results, i.e., prevalence of non-pioneer species and individuals in the same studied farm. Zoochorous species and individuals predominated among adults (57 and 51%, respectively) and regenerants (59 and 80%, respectively: Figures 2C and D). Finally, five species found in the study site were considered vulnerable or near threatened (Table 1), which highlights the importance of natural regeneration and ecosystem restoration to plant species conservation.

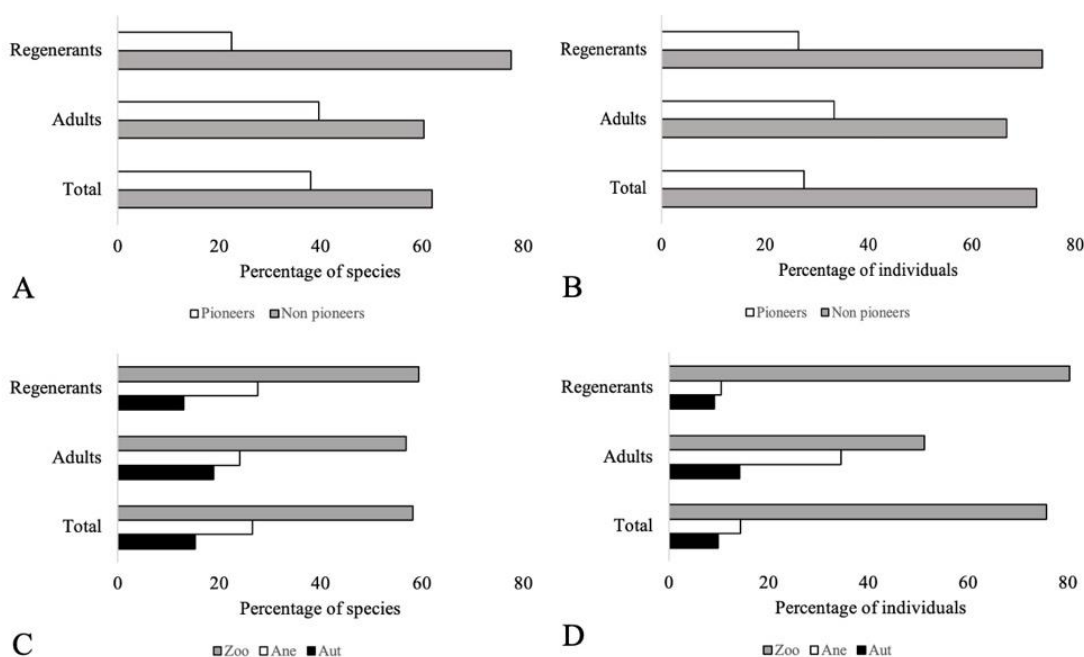


Figure 2. Percentage of species (A) and individuals (B) regenerants, adults and total found as pioneer and non-pioneers and of species (C) and individuals (D) regenerants, adults and total found as Zoo (zoochorous), Ane (anemochorous) and Aut (autochorous) in a 45 years old regeneration site in the Southeast Atlantic Forest Biome (Cruzeiro municipality, SP, Brazil).

Figura 2. Porcentagem de espécies (A) e indivíduos (B) regenerantes, adultos e total encontrados como pioneiros e não pioneiros e de espécies (C) e indivíduos (D) regenerantes, adultos e total encontrados como Zoo (zoocórica), Ane (anemocórica) e Aut (autocórica) em um sítio de regeneração com 45 anos no Sudeste do bioma Mata Atlântica (município de Cruzeiro, SP, Brasil).

Vegetation dynamic processes in tropical forests include colonization by pioneer trees as one of the first phases of succession; then, low light availability in the understory favors establishment of shade-tolerant tree and of palm species that are dispersed into the site from surrounding vegetation by birds and mammals, attested by the high number of zoochorous species and by some regenerant species not found among adults; by 10–20 years after land abandonment, the stage is set for a shift in the abundance and composition of tree species, i.e. from mostly pioneers to early and, then, late secondary species, that gradually plays out over decades (Chazdon, 2008), which is the exact moment that this study took place (45 years

after land abandonment). The high number of non-pioneer regenerants was attributed to the great emergence of *Guarea kunthiana*, that might be part of the initiating process to the “old-growth stage” of forest dynamics in the site.

Species with higher VI were *Dalbergia nigra*, *Casearia sylvestris*, *Guarea kunthiana*, *Luehea grandiflora*, *Machaerium nyctitans*, *Myrcia splendens*, *Piptadenia gonoacantha* and *Siparuna guianensis*. In general, these species had all high relative density, frequency and dominance. Exceptions were the very dense *Guarea kunthiana* (10.11%) and *Piptadenia gonoacantha* with high dominance (16.44%: Table 2).

Table 2. Family, species, relative density (RD), relative frequency (RF), relative dominance (RDo) and Importance value index (VI) observed in a 45 years old regeneration site in the Southeast Atlantic Forest Biome (Cruzeiro municipality, SP, Brazil).

Tabela 2. Família, espécie, densidade relativa (RD), frequência relativa (RF), dominância relativa (RDo) e índice de valor de importância (VI) observados em um sítio de regeneração com 45 anos de idade no sudeste do bioma Mata Atlântica (Município de Cruzeiro, SP, Brasil).

Family	Species	RD	RF	RDo	VI
Anonaceae	<i>Guatteria australis</i> A.St.-Hil.	0.23	0.41	0.06	0.71
Apocynaceae	<i>Aspidosperma discolor</i> var. <i>parvifolium</i> Müll.Arg.	0.23	0.41	0.17	0.81
	<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	1.15	0.83	1.31	3.28
Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	3.45	2.89	2.24	8.58
	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	1.15	1.24	2.44	4.82
Bignoniaceae	<i>Sparattosperma leucanthum</i> (Vell.) K.Schum.	2.53	2.48	3.62	8.63
	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.	0.46	0.83	0.11	1.40
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud	0.23	1.24	0.19	1.66
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	0.92	1.24	0.19	2.35
Euphorbiaceae	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	0.23	0.41	0.13	0.77
	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	0.46	0.83	0.42	1.71
	<i>Croton urucarana</i> Baill.	0.23	0.41	0.96	1.60
	<i>Sapium glandulatum</i> (Vell.) Pax	0.69	1.65	0.33	2.67
	<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L. B. Sm.& Downs	0.23	0.41	0.10	0.74
	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	0.92	0.41	1.85	3.19
	<i>Bauhinia forficata</i> Link	0.23	6.61	0.35	7.19
	<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.	4.60	3.31	4.13	12.04
Fabaceae	<i>Erythrina verna</i> Vell.	0.46	0.83	0.29	1.58
	<i>Inga sessilis</i> (Vell.) Mart.	0.69	1.24	0.73	2.66
	<i>Inga striata</i> Benth.	0.23	0.41	1.39	2.03
	<i>Leucochloron incuriale</i> (Vell.) Barneby & J.W.Grimes	0.46	0.83	0.44	1.72
	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	1.38	3.31	1.41	6.10
	<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Benth.	6.21	6.20	5.81	18.21
	<i>Machaerium stipitatum</i> (DC.) Vogel	2.30	3.31	1.70	7.30
	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	8.05	1.65	16.44	26.14
	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	1.84	3.31	3.27	8.41
	<i>Senna macranthera</i> (DC. Ex Collad.) H.S.Irwin & Barneby	0.23	1.24	0.03	1.50
Lamiaceae	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	0.23	0.41	0.09	0.73
	<i>Vitex polygama</i> Cham.	0.69	0.83	0.27	1.79
Lauraceae	<i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F.Macbr.	0.23	0.41	0.30	0.94

to be continued
continua

continuation Table 1
continuação Tabela 1

Family	Species	RD	RF	RDo	VI
Malvaceae	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	2.30	2.89	4.81	10.00
	<i>Ocotea volutina</i> (Nees) Rohwer	0.46	0.41	0.75	1.63
	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	0.46	0.41	1.06	1.94
	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	0.23	0.83	0.06	1.12
	<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.	12.64	8.26	13.97	34.88
Melastomataceae	<i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Cav.) A.Robyns	0.46	0.41	0.12	0.99
	<i>Miconia cinnamomifolia</i> (DC.) Naudin	0.69	1.24	0.50	2.43
	<i>Miconia sellowiana</i> Naudin	0.23	0.41	0.06	0.71
	<i>Pleroma granulosum</i> (Desr.) D. Don	2.30	0.41	3.00	5.72
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	0.23	0.41	1.34	1.98
	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	0.69	1.24	0.27	2.20
	<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.	10.11	0.41	5.61	16.14
Moraceae	<i>Ficus adhatodifolia</i> Schott in Spreng.	0.23	0.41	0.34	0.98
	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	0.69	1.24	0.60	2.52
Myrtaceae	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	4.60	5.37	2.43	12.40
	<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i> (Gomes) Landrum	0.46	0.41	0.09	0.96
	<i>Psidium guajava</i> L.	0.23	0.41	0.12	0.76
Rubiaceae	<i>Randia armata</i> (Sw.) DC.	0.23	1.24	0.04	1.51
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	1.15	0.83	1.47	3.45
Salicaceae	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	0.46	0.83	0.10	1.39
	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	9.43	7.02	5.53	21.98
Sapindaceae	<i>Cupania racemosa</i> (Vell.) Radlk.	0.23	0.41	0.56	1.21
	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	0.92	4.96	0.59	6.47
Siparunaceae	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	6.21	4.96	1.32	12.48
Urticaceae	<i>Cecropia glaziovii</i> Snethl.	0.69	0.41	0.09	1.19
	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	0.23	1.24	1.12	2.59
	<i>Cytharexylum myrianthum</i> Chamião	0.92	0.41	0.97	2.30
Vochysiaceae	<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	0.23	0.41	0.02	0.67
Unknown 6	Unknown 6	0.23	0.41	0.16	0.80
Unknown 8	Unknown 8	0.23	0.41	0.84	1.48
Unknown 9	Unknown 9	0.23	0.41	0.20	0.84
Unknown 10	Unknown 10	0.23	0.41	0.18	0.83
Unknown 11	Unknown 11	0.23	0.41	0.56	1.21
Unknown 12	Unknown 12	0.23	0.41	0.34	0.98

The phytosociological variables used in ecological studies demonstrated that high VI species were mostly non-pioneers, in 2002 high VI species were pioneers in the same farm studied by Martins et al. (2002). Adults and regenerants were similar in species composition (using Sorensen index), indicating that the 45 years old forest site might be in a self-sustainable stage, when native trees have self-sustaining populations. Despite that, 31 species were found only as regenerants, evidencing that new species are still arriving in the community, and 17 species only as adults, the majority being pioneers that may not be recruiting seedlings until a clearing is opened.

4 CONCLUSIONS

Our results showed that after 45 years, an old pasture in the Atlantic Forest Biome regenerated into a forest with predominance of non-pioneers

and of zoochorous species and that this richness, despite low when compared to other protected forest remnants, could attest restoration of the site. As noted by other authors, pasture management conditions and the presence of nearby forests collectively determine the composition, richness and density of native regeneration sites. The results obtained corroborate other studies and show that an abandoned pasture in a forest landscape that had returned to native vegetation could explain part of the increase in forest cover observed in the last decades in Vale do Paraíba and also in Southeast Atlantic Forest of Brazil.

REFERENCES

ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013.

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP - APG. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v 181, p. 1-20, 2016.

BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R. **Ecology: From individuals to ecosystems**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. 759 p.

BRANCALION, P.H.S.; RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. **Restauração Florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 432 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo**: contribuição à Carta de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: Comissão de Solos: Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 1960. 634 p. (Boletim do SNPA nº 12).

CALABONI, A. et al. The forest transition in São Paulo, Brazil: historical patterns and potential drivers. **Ecology and Society**, v. 23, n. 4, p. 1-23, 2018.

CHAZDON, R.L. Chance and determinism in tropical forest succession. In: CARSON, W.P.; SCHNITZER S.A. (Ed.). **Tropical Forest Community Ecology**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2008. p. 384-408.

_____. et al. Fostering natural forest regeneration on former agricultural land through economic and policy interventions. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 4, (043002) p. 1-16, 2020.

DEAN, W. **A Ferro e Fogo: A História e a Devastação da Mata Atlântica Brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. p. 484.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos, 1979. 83 p. (SNLCS. Série Miscelânea, 1).

FLORA DO BRASIL 2020 EM CONSTRUÇÃO. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available in: <<http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br>>. Access: 10 dec. 2019.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Atlas Dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, Período 2015–2016**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2017. Available in: <http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas_2015-2016_relatorio_tecnico_2017.pdf>. Access: 10 dec. 2019.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I.G. Atlantic forest hotspots status: an overview. In: Galindo-Leal, C.; Câmara, I.G. (Ed.). **The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook**. Washington: CABS and Island Press, 2003. p. 3-11.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. revisada e ampliada. 2012. 271 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 1).

INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS - IPE. Flora regional: a base de dados de espécies nativas da Mata Atlântica. Available in: <<http://www.ipe.org.br>>. Access: 11 jan. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados da Estação automática - A769 Cachoeira Paulista**. Período Fev 2019 – Fev 2020. Available in: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=esta-coes/estacoesAutomaticas>>. Access: 26 apr. 2020.

LIMA, H.C.; GUEDES-BRUNI, R.R. **Serra de Macaé de Cima: Diversidade florística e conservação em Mata Atlântica**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1997. 346 p.

LIMA, R.B.A. et al. Structure and Diversity In Ombrophilous Forest in the Zona da Mata of Pernambuco. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, (e20170602), p. 1-12. 2019.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2016. 384 p.

MARQUES, M.C.M.; SILVA, S.M.; LIEBSCH, D. Coastal plain forests in southern and southeastern Brazil: Ecological drivers, floristic patterns and conservation status. **Brazilian Journal of Botany**, v. 38, n. 1, p. 1–18, 2015.

MARTINS, S.V.; COUTINHO, M.P.; MARANGON, L.C. Composição florística e estrutura de uma floresta secundária no município de Cruzeiro, SP. **Revista Árvore**, v. 26, n. 1, p. 35-41, 2002.

MASSI, K.G.; CHAVES, R.B.; TAMBOSI, L.R. Simple indicators are good proxies for ecological complexity when assessing Atlantic Forest restoration success. **Restoration Ecology**, (Accepted Article), 2021.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NALON, M.A.; MATSUKUMA, C.K.; PAVÃO, M. **Inventário Florestal do Estado de São Paulo – 2020**: Mapeamento da cobertura vegetal nativa. Instituto Florestal, São Paulo. Available in: <<https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2020/07/inventarioflorestal2020.pdf>>. Access: 02 oct. 2020.

OLIVEIRA-FILHO, A.T.; MACHADO, J.N.M. Composição florística de uma floresta semidecídua montana, na Serra de São José, Tiradentes, MG. **Acta Botanica Brasilica**, v. 7, n. 2, p. 71-88, 1993.

REZENDE, C.L. et al. Atlantic Forest spontaneous regeneration at landscape scale. **Biodiversity Conservation**, v. 24, n. 9, p. 2255-2272, 2015.

RIBEIRO, M.C. et al. 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.

ROZENDAAL, D.M.A. et al. Biodiversity recovery of Neotropical secondary forests. **Science Advances**, v. 5, n. 3, (eaau3114), p. 1-10, 2019.

SÃO PAULO. Listagem das espécies arbóreas e indicação de sua ocorrência natural nos biomas/ecossistemas e regiões ecológicas do estado de São Paulo, com a classificação sucessional e a categoria de ameaça de extinção. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente: Instituto de Botânica, 2008. 45 p. (Anexo da Resolução SMA nº 8, de 31 de janeiro de 2008). Available in: <https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/222/Documentos/FEHIDRO/2008Res_SMA8_anexo.pdf>. Access: 10 feb. 2020.

_____. (Legislação). Resolução SMA nº 32, de 03 de abril de 2014. Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. Secretaria do Meio Ambiente - SMA. Available in: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/legislacao/2014/04/resolucao-sma-32-2014>>. Access: 10 feb. 2020.

_____. Portaria CBRN 01, de 17 de janeiro de 2015. Estabelece o Protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica. Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais – CBRN. Available in: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/legislacao/2015/01/portaria-cbrn-012015/>>. Access: 10 feb. 2020.

SARTORI, R.A. et al. Variações florísticas e estruturais do componente arbóreo de uma floresta estacional semidecidual montana em Socorro, SP. **Rodriguésia**, v. 66, n. 1, p. 33-49, 2015.

SILVA, R.F.B.D. et al. Land changes fostering Atlantic Forest transition in Brazil: Evidences from the Paraíba Valley. **The Professional Geographer**, v. 69, n. 1, p. 80-93, 2017.

SOUZA, A.C.O.; BENACCI, L.; JOLY, C.A. Floristic and structure of the arboreal community of an Ombrophilous Dense Forest at 800 m above sea level, in Ubatuba/SP, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 18, n. 4, (e20180590), p. 1-13, 2018.

TERRESTRIAL VERTEBRATE FAUNA OF ASSIS' STATE FOREST: A CERRADO REMNANT IN THE STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL¹

VERTEBRADOS TERRESTRES DA FLORESTA ESTADUAL DE ASSIS, UM REMANESCENTE DE CERRADO DO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL¹

Paula Ribeiro PRIST^{2,3,14}; Douglas William CIRINO³; Artur LUPINETTI³; Ana Yoko Ykeuti MEIGA⁴; Vinicius ALBERICI⁵; Adriana CALABONI⁶; Fabio MAFFEI⁷; Marcelo MAGIOLI^{8,9}; Cesar MEDOLAGO¹⁰; Thais PAGOTTO¹¹; Osnir GACON¹¹; Fernanda Delborgo ABRA^{2,9}; Katia Maria Paschoaletto Micchi de Barros FERRAZ^{5,9}

ABSTRACT - In the current scenario of environmental changes, anthropic pressures on biodiversity are in constant increase, stressing the importance of assessing the distribution and occurrence of organisms in natural regions, especially in protected areas. Here we surveyed the terrestrial vertebrate fauna of Assis State Forest and updated the existing species list. Reptiles were sampled using pitfall traps and active search, birds by transects and listening points, while terrestrial mammals were sampled using camera traps, linear transect census, active search, pitfall and live traps. Four samplings were conducted, totaling 28 days of sampling effort. We recorded a total richness of 230 terrestrial vertebrate species: 21 amphibians, 17 reptiles, 164 birds, 23 medium and large-sized mammals and 25 small mammals. Of these, seven species are considered endangered at the state and / or federal level. Our results led to the inclusion of 78 bird species and six medium- and large-sized mammals to the species list of ASF's Management Plan, in addition to three new species of herpetofauna that were not reported by other fauna surveys carried out in the region. Our data shows that the area is highly diverse, with some differences in species composition between sampled phytophysionomies. These data can also be used to update the management plan for the area, as well as for the zoning of the unit.

Keywords: Birds; Brazilian-savanna; Herpetofauna; Inventory; Mammals; Protected Area.

RESUMO – No presente cenário de alterações ambientais, a pressão sobre a biodiversidade faz com que seja imprescindível conhecer a ocorrência e diversidade da fauna, especialmente em Unidades de Conservação. O objetivo deste estudo foi realizar o levantamento da fauna de vertebrados terrestres da Floresta Estadual de Assis (FEA), São Paulo, e atualizar a lista de espécies existente. A herpetofauna foi amostrada através de armadilhas de interceptação e queda e busca ativa por indivíduos, aves por censo por transecto de varredura e ponto de escuta, enquanto os mamíferos foram amostrados através do uso de armadilhas fotográficas, censo por transecto linear e busca ativa, armadilhas de interceptação e queda e armadilhas de gaiola. Foram realizadas quatro campanhas para cada grupo taxonômico, totalizando 28 dias de amostragem ao longo de 48 meses (2017-2019). Foi registrada uma riqueza de 230 espécies de vertebrados terrestres: 21 anfíbios, 17 répteis, 164 aves, 23 mamíferos de médio e grande porte e 25 mamíferos de pequeno porte. Destes, sete espécies encontram-se em algum nível de ameaça a nível estadual e/ou federal. Esses resultados também levaram à inclusão de 78 espécies de aves e seis de mamíferos de grande e médio porte à lista presente no Plano de Manejo desta Unidade de Conservação, além de três novas espécies de herpetofauna que não foram reportadas por outros trabalhos realizados na região. Nossos dados mostram que a área é altamente diversa com algumas diferenças na composição de espécies entre as fitofisionomias

¹Recebido para análise em 17.02.2021. Aceito para publicação em 11.10.2021.

²ViaFAUNA Estudos Ambientais Ltda, Rua Delmira Ferreira, 312, 04125-120, São Paulo, SP, Brasil

³Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, Rua do Matão 321, 05508-090; São Paulo, SP, Brasil

⁴Amplio Engenharia e Gestão Ltda. Rua Major Barbosa, 201, 30240-370, Belo Horizonte, MG, Brasil

⁵Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Laboratório de Ecologia, Manejo e Conservação de Fauna, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

⁶Universidade Federal do ABC, Av. dos Estados, 5001, 09210-580, Santo André, SP, Brasil.

⁷Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, 17033-360, Bauru, SP, Brasil.

⁸Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Carnívoros, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Estrada Municipal Hisaichi Takebayashi, 8600, Bairro da Usina, 12952-011, Atibaia, SP, Brasil.

⁹Instituto Pró-Carnívoros, Av. Horácio Netto, 1030, Parque Edmundo Zazoni, 12945-010, Atibaia, SP, Brasil.

¹⁰Academia da Força Aérea (AFA), Seção de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAA), Subseção de Gerenciamento de Risco de Fauna (SSGRF), Estrada de Aguiar, s/n°, Campo Fontenelle, 13643-000, Pirassununga, SP, Brasil.

¹¹Concessionária Auto Raposo Tavares, Bauru, SP, Brasil.

¹⁴Autor para correspondência: Paula Prist - pprist@hotmail.com

amostradas. Esses dados podem ainda ser usados para atualizar o plano de manejo da área, bem como, para o zoneamento da unidade.

Palavras-chave: Áreas Protegidas; Aves; Cerrado; Herpetofauna; Inventários, Mamíferos.

1 INTRODUCTION

In the current scenario of environmental change, anthropogenic pressures on biodiversity are constantly increasing (Galetti et al., 2021), stressing the importance of increasing knowledge on the occurrence and diversity of organisms in natural areas to subsidize more effective conservation planning (Ferraz et al., 2020). One of the few ways to acquire information about species distribution and occurrence is through field research. Furthermore, primary data sampling is important to maintain and update lists of organisms in natural areas, providing a better understanding over time and accounting for environmental changes that may lead to changes in community composition (Ríos-Saldaña et al., 2018). One major environmental change responsible for alterations in a region's species composition are land cover and land use changes (Pardini et al., 2005; Newbold et al., 2015; Chase et al., 2020). These processes lead to the reduction and fragmentation of natural areas, resulting in low-quality habitats for many species (Ratter et al., 1997; MMA, 2003; Betts et al., 2017), which affects several biological processes and factors, such as population size, species dispersion, assemblage structure, and resource and habitat use (Pardini et al., 2005; Magioli et al., 2019).

The Cerrado is the second largest Brazilian biome, surpassed only by the Amazon rainforest. It occupies about 21% of the national territory (Pivello, 2006) and is considered both as a world biodiversity hotspot (Mittermeier et al., 2011) and as the last agricultural frontier on the planet (Borlaug, 2002). With a total area of more than 2 million km², it constitutes a vast mosaic of xeromorphic vegetation types, ranging from dry (clean field) or wet fields to woodlands ("cerradão"), and gallery forests, deciduous and semi-deciduous forests patches (Silva e Bates, 2002; Voss et al., 2009). Its pluviometric indexes are concentrated in the humid season (800 - 2,000 mm/year), with the dry season lasting for four months a year (Nimer, 1989). Cerrado is highly biodiverse, with a number of vascular plants higher than that found in most regions of the world (Colli et al., 2020). Herbaceous vegetation, shrubs, trees,

and lianas add up to more than 7,000 species (Mendonça et al., 1998). Moreover, 44% of that flora is endemic, making the Cerrado the most diverse tropical savanna in the world (Furley, 2002). For fauna, the richness of mammals (n = 199) is considered small (Marinho-Filho et al., 2002) since these animals are mainly associated or restricted to forest fragments or gallery forests (Redford e Fonseca, 1986). The avifauna is rich, with more than 830 species, despite a low level of endemism (3.4%). Reptiles and amphibians together add up to almost a thousand species, of which 45% are endemic to the biome (Klink e Machado, 2005).

The loss of natural habitat in the Cerrado due to land use changes (Klink e Machado, 2005) is so widespread that about half of its original area has been converted into farming lands: about 15% of Brazilian Cerrado was converted from natural coverage to pasture or agriculture since 1986 and nowadays 55% of its territory is covered by natural vegetation (MapBiomass, 2020; Souza et al., 2020). The Cerrado in the southern portion of the country, in the states of São Paulo, Paraná and Mato Grosso do Sul, is even more degraded, with barely any of their original vegetation cover remaining in 2002 (13%, 32% and 32%, respectively - Sano et al., 2008). In addition, only 2.9% of the biome is under strictly protection (Drummond et al., 2010). The land use changes that occurred in the Cerrado brought great environmental damage, such as habitat loss and fragmentation, biodiversity extinction, invasion by exotic species, soil erosion and alteration in the natural fire regime (Durigan et al., 2007). As a result, at least 307 animal species that occur in the Cerrado are threatened with extinction (ICMBio, 2018).

In protected areas, changes in land use are more restricted, and therefore animal and plant communities are expected to be less impacted over time. However, the areas surrounding these protected areas continue to suffer human influences (Ward et al., 2020) and even the area within them there are prone to significant changes, such as the increase of vegetation cover, the densification of vegetation (replacement of non-forest natural areas by forests) and the improvement in air, water and soil quality over

time. In this sense, the communities within protected areas can change, with new organisms colonizing the area due to the improvement of environmental quality within it, or by the disappearance of other species due to the decrease of the quality of adjacent areas, that ends affecting the ecosystem (Vandermeer e Carvajal, 2001; Häkkinen et al., 2018). Thus, it is important to keep an updated inventory of species that occur within protected areas, complementing and reviewing existing lists available and allowing for better management of those areas.

Therefore, we aimed to update the list of terrestrial vertebrate fauna in Assis's State Forest, a protected area of sustainable use in the Brazilian Cerrado, with goals of not only conserving local biodiversity but also promoting a better management of its natural resources. Our study was the first to assess the richness and diversity of small-sized mammals (< 1 kg) in Assis State Forest (henceforth ASF).

2 METHODS

2.1 Study site

The Assis's State Forest (ASF) and Assis's Ecological Station (AES) are two contiguous protected areas located in the municipality of Assis, in the southwest region of São Paulo (Figure 1). It has an area of 4,577.06 ha: 2,816.42 ha belonging to the State Forest and 1,760.64 ha to the Ecological Station. The area is located in a transition zone between two Köppen climatic types: Cwa and Cfa, both characterized by hot and rainy summers and dry winters, but differentiated by the length of the drought period, longer in Cwa. The average annual rainfall is around 1,450 mm, concentrated from October to March; the average temperature is 21.8°C and the average daily amplitude of 4.5°C (Instituto Florestal, 2010). The predominant vegetation type in the ASF is the Cerradão, with gallery forests and transition areas with Seasonal Semideciduous forests (Max et al., 2007). There are also vegetation patches occupied by *Pinus* and *Eucalyptus* plantations, some of which have been gradually restored into native vegetation (Instituto Florestal, 2010).

2.2 Data collection and identification

We sampled three areas in ASF, which were selected aiming to sample a representative

diversification of habitats: (A1) Cerrado per se; (A2) one-year old restoration; (A3) a restoration area of approximately five years of age (Figure 1). We conducted four sampling campaigns, lasting eight days each, two in the dry and two in the rainy season.

We sampled birds using linear transects and listening points. Linear transects followed the method described by Peres (1999) between 16h and 20h (Greenwood, 1996), totaling 128 hours of effort. Ten listening points were also distributed in each transect, spaced at least 100 m away from one another, starting around 5h30 (Blondel et al., 1970; Vielliard e Silva, 1990; Bibby et al., 1993). We used field guides to help in species identification (Erize et al., 2006; Ridgely e Tudor, 2009). Later, we classified species according to their diet (Motta-Júnior, 1990; Marçal-Júnior et al., 2009), main habitat use (Silva, 1995; Marçal-Júnior et al., 2009), migratory status (Somenzari et al., 2018), conservation status (SMA, 2018; IUCN, 2020), sensibility to human disturbances (Parker III et al., 1996), endemism to the Cerrado (Silva e Bates, 2002) and to Brazil (Piacentini et al., 2015).

For amphibians, we focused our active search on reproductive sites and water bodies' margins inside the sampling areas (Scott Jr. e Woodward, 1994). We only added visualized specimens to the species list. The sampling effort was of two hours per night, totaling 16 hours per campaign, and a total sampling effort of 64 hours. For reptilians, we applied time-constrained active search (Campbell e Christman, 1982) near pitfall traps and in probable microhabitats. We carried out searches during daytime and the sampling effort was the same as with the amphibians. We also utilized pitfall traps (Figure 2), with a sampling effort of 32 buckets/day, totaling 512 buckets during all campaigns (Cechin e Martins, 2000). Specimens found while moving between transects or sampling areas, as well as specimens found in the surroundings areas, were registered as "Occasional Encounters". We identified specimens with the help from field guides (Costa e Bérnils, 2018; 2015; Segalla et al., 2014) and classified them according to their conservation status (SMA, 2018; IUCN, 2020). They were also characterized based on endemism (Rossa-Feres et al., 2011; Zaher et al., 2011). Taxonomic status follows (Frost, 2021).

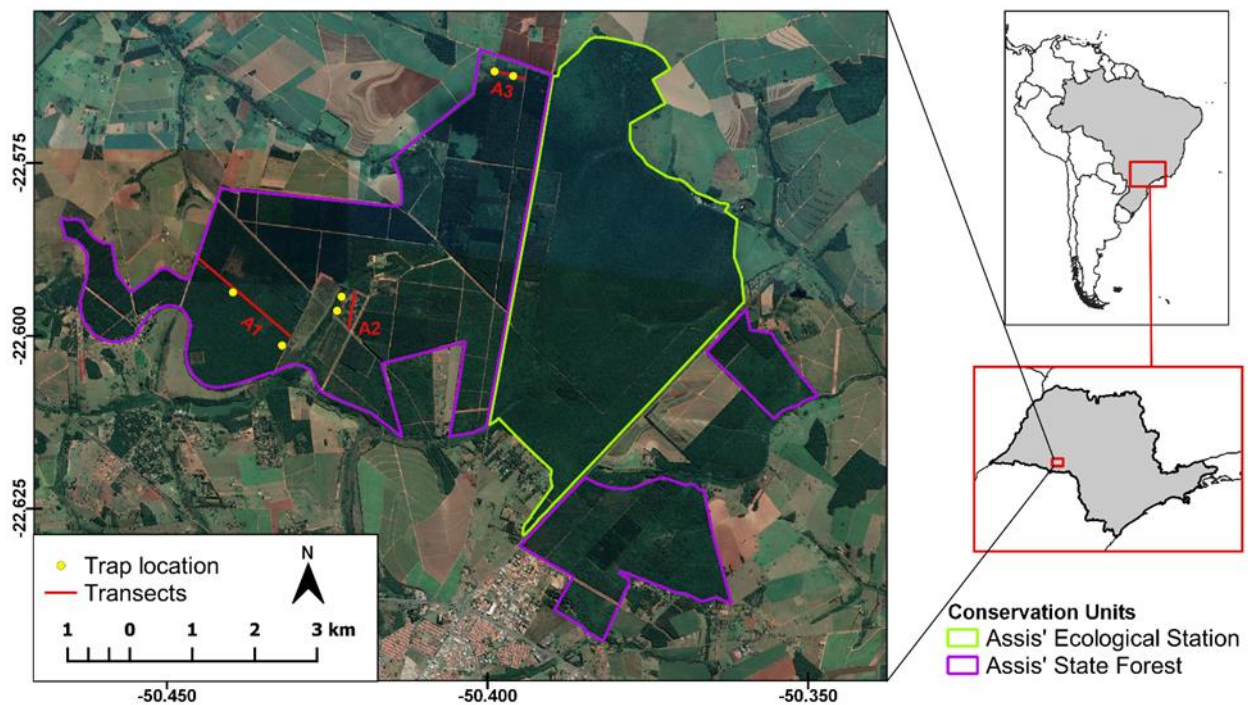


Figure 1. Conservation Units limits and location. A1, A2 and A3 correspond to the three sampled areas in this study. Yellow dots represent the traps' locations.

Figura 1. Limites e localização das Unidades de Conservação. A1, A2 e A3 correspondem às três áreas amostradas neste estudo. Os pontos amarelos representam a localização das armadilhas.

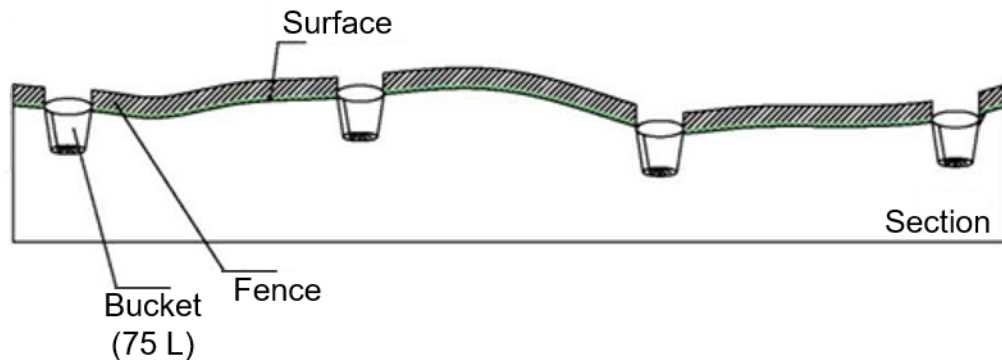


Figure 2. Schematic representation of pitfall traps used for sampling amphibians, reptiles and small mammals in Assis State Forest, São Paulo, Brazil.

Figura 2. Representação esquemática das armadilhas do tipo pitfalls usadas para amostragem de anfíbios, répteis e pequenos mamíferos na Floresta Estadual de Assis, São Paulo, Brasil.

For the medium and large-sized mammals (> 1 kg; Chiarello, 2000), we used camera traps, STEALTH CAM G42NG (O'Connell et al., 2011), surveys in linear transects (Peres, 1999; Buckland et al., 2001) and active search in trails and traces, such as feces and food leftovers (Voss e Emmons,

1996). We used baits to attract nocturnal and rare mammals (Hawbaker's Wild Cat Lure #2; Michalski e Peres, 2007) and installed eight camera traps – two in each sampling area and other two in places we expected to have a high mammalian occurrence (Figure 1). We placed

camera traps in tree trunks at 30-40 cm above the ground, and they remained active for 24h, with a total sampling effort of 616 trap/days. We sampled transects during the morning, eight days per campaign, totaling 108 km traversed. In addition, we made 133 hours of active search in locations where we expected to find evidence of mammalian presence (e.g.: near rivers and other water bodies) and far from the transects. Occasionally, we also performed night searches by car, travelling at low speed with headlights on. Taxonomic status follows Abreu et al. (2021). We used field guides to help identifying species (Wilson e Reeder, 2005; Patton et al., 2015) and classified according to their diet, endemism to the Cerrado or Atlantic Forest (Paglia et al., 2012) and if they are of commercial interest and possibly threatened by overexploitation based on the list of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES, 2018). Regional (ICMBio, 2018), Local (SMA, 2018) and international (IUCN, 2020) conservation status were accessed.

Lastly, we sampled small mammals (< 1 kg, Chiarello, 2000) using two pitfall traps (the same used for the herpetofauna, with total sample effort of 512 buckets/day) and two Sherman and two Tomahawk live traps per area, one of each was installed in high places, such as trees, to capture

arboreal animals (Santos-Filho et al., 2015; Vieira et al., 2014). The total sampling effort for the live traps was 496 traps/day in four campaigns. We classified specimens according to their species or genus when it was not possible to identify them in the field (since biological samples and specimens were not collected), conservation status (SMA, 2018; IUCN, 2020), endemism and diet (Paglia et al., 2012).

We estimated species richness using a first order Jackknife (Heltshe e Forrester, 1983) and made rarefaction curves to evaluate sampling sufficiency, using R 3.5.2 and the package “vegan” and “ggplot2” (Colwell, 2013; Wickham, 2016; Oksanen et al., 2017; R Core Team, 2019). The richness found was compared with the species list found for both conservation units, ASF and AES. As they are contiguous, some species must use both units as a whole. Given their spatial proximity and ecological similarity, the list of species of one Unit should be the same as in the other, and any variation found should be due to the occupation pattern based on local characteristics.

3 RESULTS AND DISCUSSION

We recorded 233 species (four of those were classified only to genus level) of terrestrial vertebrates for the ASF (Figure 3).

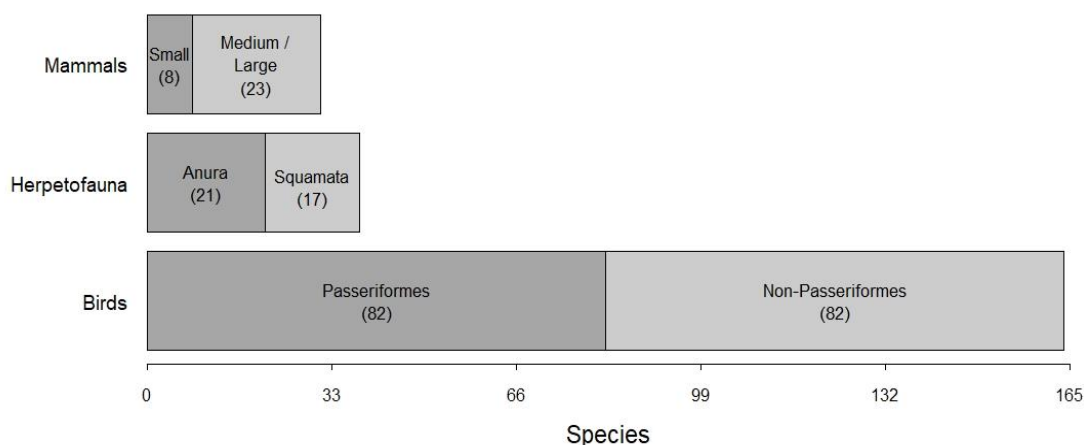


Figure 3. Species richness of each taxonomic group (birds, herpetofauna and mammals) in Assis State Forest, São Paulo, Brazil.

Figura 3. Riqueza de espécies de cada grupo taxonômico (aves, herpetofauna e mamíferos) na Floresta Estadual de Assis, São Paulo, Brasil.

3.1 Avifauna

We recorded 164 bird species (45 families and 22 orders - Figure 4; see the detailed list in Appendix 1) during the four campaigns, 113 on sampling area A1 (Cerradão), 87 species on A2 (one-year restoration area), and 54 species on A3. Tyrannidae was the most represented family with 26 species (Figure 4). According to the Jackknife, 182.4 ± 6.1 species were expected in our study site, and we registered 90.6% of this value (Figure 5). At the same time, the accumulation curve, after 32 sampling days (the duration of our data collection), showed signs of stabilization, indicating that more species could be found if the sampling effort was higher, especially rarer and vagant species found in the region, such as *Patagioenas speciosa* (Gmelin, 1789) found in AES by Antunes and collaborators

(2016). We sampled 78 species that were not registered in ASF's Management Plan and 35 species that were not previously recorded in AES, but all of them are species that occur in the region and are expected for the study area (Appendix 1). Our study sites showed some difference between them, mainly because some forest specialists were registered only in A1 (e.g.: *Crypturellus tataupa* (Temminck 1815), *Leptodon cayanensis* (Latham 1790), *Celeus flavescens* (Gmelin 1788), *Dromococcyx pavoninus* (Pelzeln 1870), *Conopophaga lineata* (Wied 1831)), while open area specialists were found exclusively in A2 (e.g.: *Rhynchotus rufescens* (Temminck 1815), *Colaptes campestris* (Vieillot 1818), *Xolmis velatus* (Lichtenstein 1823), *Ammodramus humeralis* (Bosc 1792), *Zonotrichia capensis* (Muller 1776)).

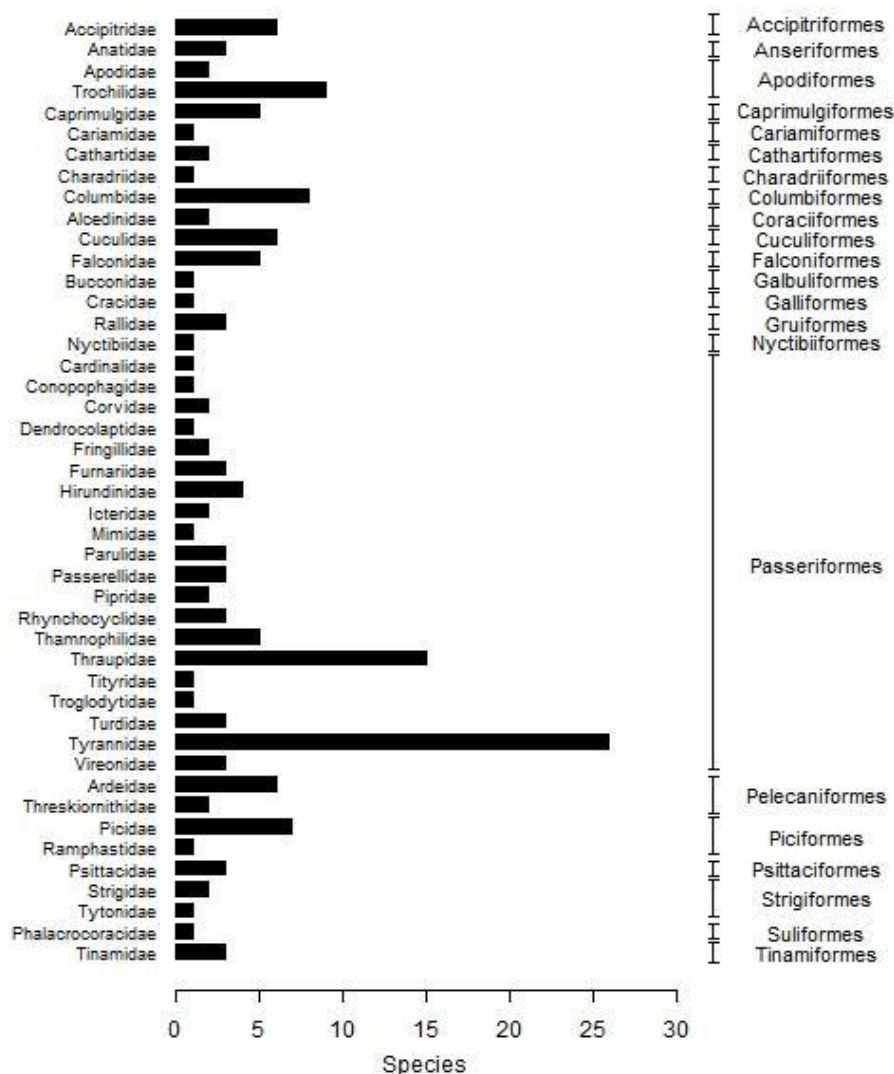


Figure 4. Number of recorded bird species in Assis State Forest, São Paulo, Brazil.

Figura 4. Número de espécies de aves registradas na Floresta Estadual de Assis, São Paulo, Brasil.

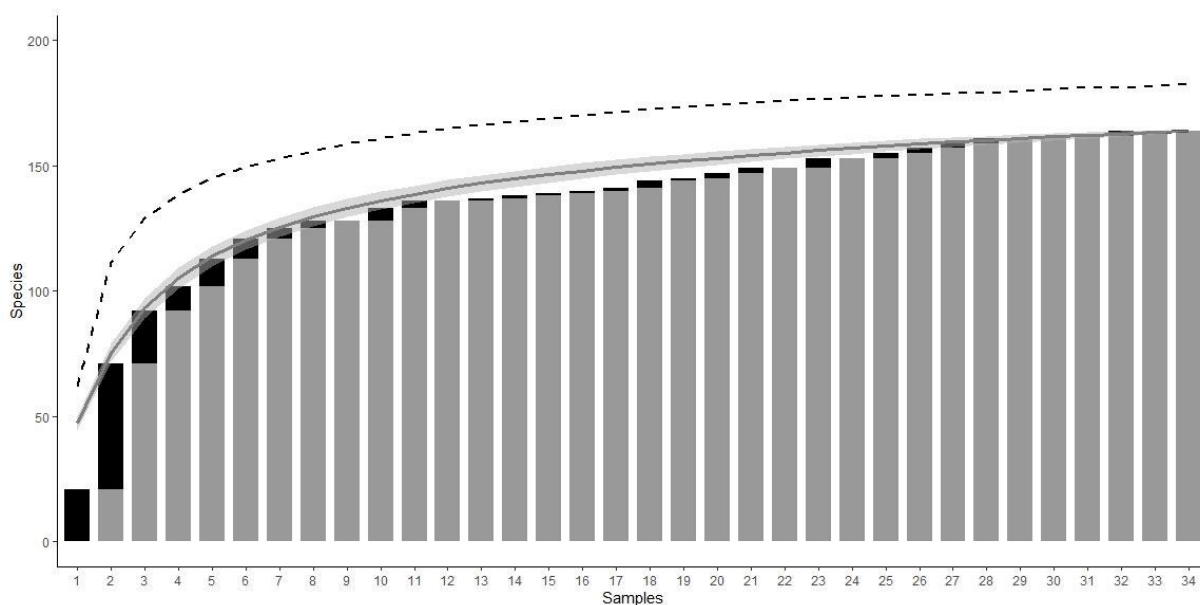


Figure 5. Rarefaction curve for estimated bird richness in Assis State Forest, São Paulo, Brazil. The dotted black line represents the estimated bird richness, the gray line the species accumulation curve and the gray shaded area represents the 95% confidence interval for the accumulation curve. Gray bars represent the number of species found in previous samples and black bars species added in each current sample.

Figura 5. Curva de rarefação da riqueza estimada de aves da Floresta Estadual de Assis, São Paulo, Brasil. A linha preta pontilhada representa a riqueza estimada de aves, a linha cinza a curva de acúmulo de espécies e a área sombreada cinza representa o intervalo de confiança de 95% para a curva de acúmulo. As barras cinzas representam o número de espécies acumulado e as barras pretas as espécies adicionadas em cada unidade amostral.

Concerning dietary guilds (Motta-Júnior, 1990; Marçal-Júnior et al., 2009), 39.5% of the recorded species were insectivorous, 29.9% omnivorous and 7.3% carnivorous. We already expected the dominance of insectivorous birds, because they usually are more abundant in tropical forests, along with frugivorous birds (O'Dea e Whittaker, 2007). The high number of generalist birds can be explained by the fact that they can easily acquire food in modified environments and in early successional stage vegetation (O'Dea e Whittaker, 2007). Two species appear on the local red list as near threatened (SMA 2018): *Neopelma pallescens* (Lafresnaye, 1853) and *Rhynchotus rufescens* (Temminck 1815). *Neopelma pallescens* is an endemic forest-dependent species that uses as habitats areas such as Cerradão and gallery forests (Figueiredo, 2009). *Rhynchotus rufescens* inhabits native open areas that have been suffering from the invasion of exotic species, such as *Urochloa* spp. and *Pinus* spp., or from densification, a process characterized by the replacement of Cerrado stricto sensu by other densely vegetated formations of the Cerrado. Besides habitat loss, this species is also

exploited by sport hunting or for their meat (Antunes, 2009).

Besides *Neopelma pallescens*, we found other two endemic species (Silva e Bates, 2002): *Antilophia galeata* (Lichtenstein 1823) and *Cyanocorax cristatellus* (Temminck 1823). *Antilophia galeata* is a species associated with gallery forests and buritizais, being highly dependent on forest habitats, and its distribution is currently expanding towards the Pantanal (Snow e de Juana, 2017; BirdLife International, 2020). *Cyanocorax cristatellus*, unlike *Antilophia galeata*, is an arboreal species with little forest dependency and it has been expanding its area of occurrence, colonizing disturbed areas (Mallet-Rodrigues et al., 2007). Another registered species, *Dromococcyx pavoninus*, can also be considered ecological indicator, mainly because it is highly sensitive to human disturbance (Stotz et al., 1996). *Dromococcyx pavoninus* is a rare bird that occurs in forests and in shrublands, but it tends to disappear in fragmented environments (Payne, 2017).

3.2 Herpetofauna

Our data collection resulted in 38 species registered for the herpetofauna, being 21 amphibians (five families) and 17 reptiles (three families for lizards and three for snakes; see the detailed list in Appendix 2), as shown in Figure 6. Rarefaction curves did not reach stability and Jackknife estimated 48.7 ± 4.0 species, while we recorded 38 species (85%), meaning that an additional sampling effort could have resulted in more rare species being found (Figure 7). Ribeiro-Júnior and Bertoluci (2009) also found 21 Anura

for ASF, but they found *Pseudopaludicola mystacalis* (Cope 1887) and *Chiasmocleis albopunctata* (Boettger, 1885), which were not registered in our survey, while we found *Boana caingua* (Carrizo 1991), *Physalaemus centralis* (Bokermann 1962) and *Phyllomedusa tetraploidea* (Pombal and Haddad 1992), absent in theirs. Many species from the herpetofauna recorded are generalists that use more than one habitat, transitioning between the forest and open areas to forage for food, including restoration areas and forest edges.

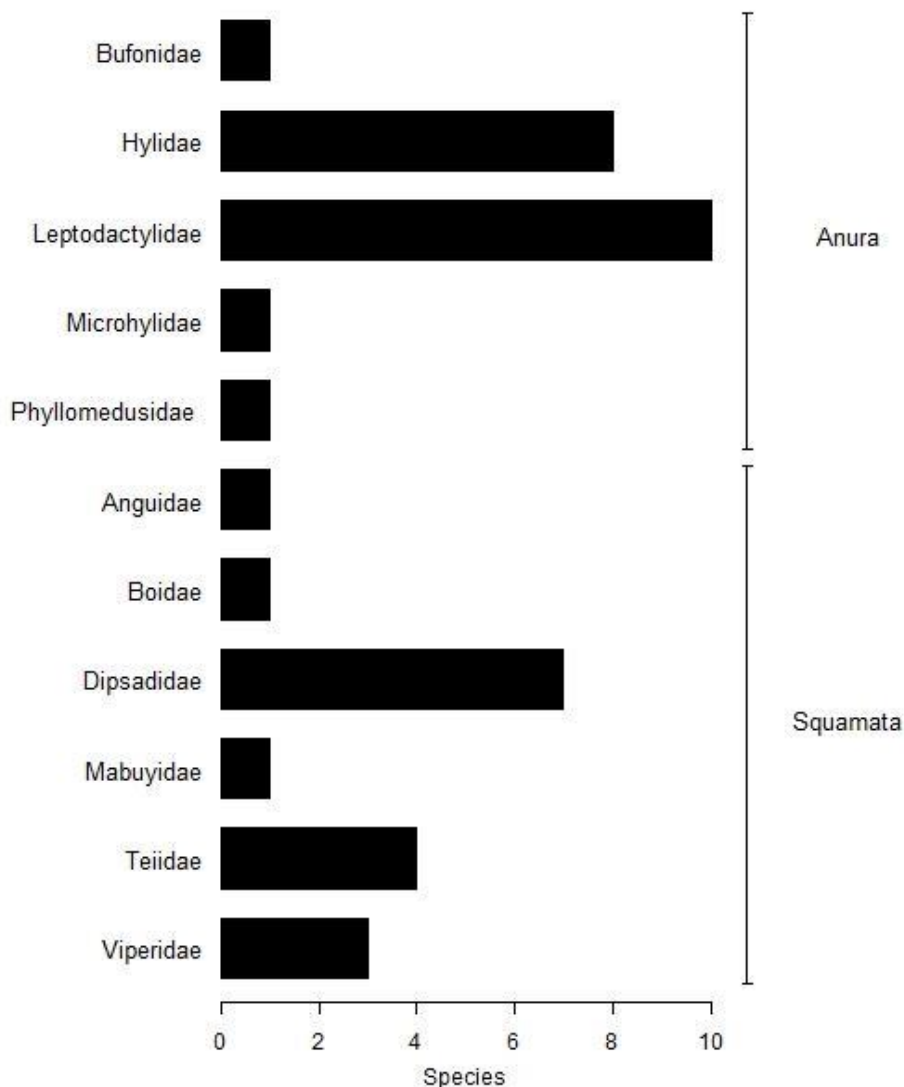


Figure 6. Number of inventoried herpetofauna (amphibians and reptiles) species in Assis State Forest, São Paulo, Brazil.

Figura 6. Número de espécies inventariadas de herpetofauna (anfíbios e répteis) na Floresta Estadual de Assis, São Paulo, Brasil.

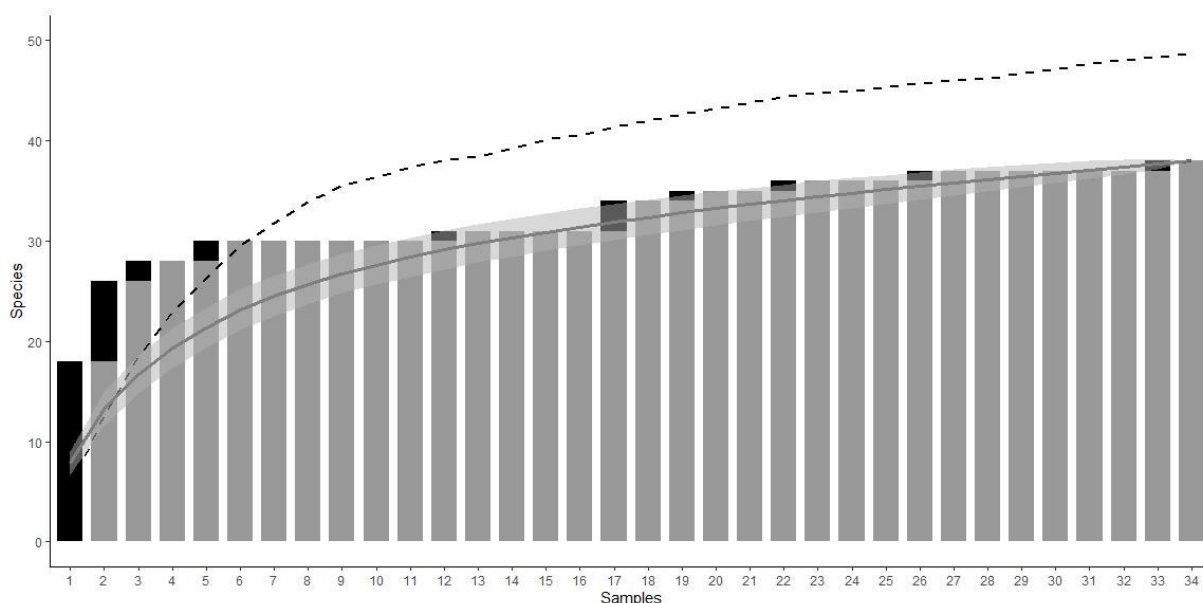


Figure 7. Rarefaction curve for estimated herpetofauna richness (amphibians and reptiles) in Assis State Forest, São Paulo, Brazil. The dotted black line represents the estimated herpetofauna richness, the gray line the species accumulation curve and the gray shaded area represents the 95% confidence interval for the accumulation curve. Gray bars represent the number of species found in previous samples and black bars species added in each current sample.

Figura 7. Curva de rarefação da riqueza estimada da herpetofauna (anfíbios e répteis) da Floresta Estadual de Assis, São Paulo, Brasil. A linha preta pontilhada representa a riqueza estimada, a linha cinza a curva de acúmulo de espécies e a área sombreada cinza representa o intervalo de confiança de 95% para a curva de acúmulo. As barras cinzas representam o número de espécies acumulado e as barras pretas as espécies adicionadas em cada unidade amostral.

There was no survey for the herpetofauna in ASF's Management Plan (Max et al., 2007). Comparing with records from AES's Management Plan species list, we added six new records to it: *Kentropyx paulensis* (Boettger 1893), *Dipsas indica* (Laurenti 1768), *Pseudoboa nigra* (Duméril e Bibron 1854), *Bothrops pauloensis* (Amaral 1925), *Physalaemus centralis* (Bokermann 1962) and *Erythrolamprus poecilogyrus* (Wied-Neuwied 1825), being that the first three are also not included in the secondary data from ASF we analyzed (Araujo e Almeida-Santos, 2011; Bertoluci et al., 2007 – Appendix 3). There were no threatened species in the international list (IUCN, 2020), but two species are in the local list (SMA, 2018): *Ameivula ocellifera* (Spix 1825) and *Kentropyx paulensis*, both classified as “endangered”. *Ameivula ocellifera* is widely distributed in South America, but it is probably a species complex, requiring further taxonomic studies (Rocha et al., 1997, 2000). *Kentropyx paulensis* is endemic to the Cerrado, with its distribution in the central-south part of the biome (Oliveira-Drummond et al., 2014). Two species of reptiles, *Boa constrictor* (Linnaeus

1758) and *Salvator merianae* (Duméril e Bibron 1839) are listed in Appendix II of CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) for reasons of trade control (CITES, 2018). They are common and abundant species throughout the national territory, whose exploitation in international trade can occur for the use of skin, as pets and/or meat, a situation that should not occur in the sampled region. Six species are endemic to the Cerrado: *Boana lundii* (Burmeister 1856), *Physalaemus centralis* (Bokermann 1962), *Physalaemus marmoratus* (Reinhardt e Lütken 1862), *Physalaemus nattereri* (Steindachner 1863), *Kentropyx paulensis* (Boettger, 1893) and *Bothrops pauloensis* (Amaral, 1925) (Nogueira et al., 2011; Valdujo et al., 2012), but most of them are widely distributed within the biome (Maffei e Ubaid, 2014; Costa e Bérnills, 2015).

Non-Volant Mammalian fauna

We recorded 23 species of medium-and large-sized mammal (Figure 8; see the detailed list in Appendix 3). From those species, 20 are native,

none of which are endemic to the Cerrado (Table 3). One specimen (*Leopardus* sp.) was only classified to genus level since we only found indirect evidence of its occurrence (tracks and feces). According to the rarefaction curve and the first order Jackknife, which estimated 25.9 ± 1.7 species, indicating sampling sufficiency (Figure 9). Two species are listed as classified in some threat category in São Paulo: *Leopardus pardalis* (Linnaeus 1758) - ocelot and *Puma concolor* (Linnaeus 1771) - cougar. *L. pardalis* is the largest Brazilian mesocarnivore, occurring in a wide variety of environments. Despite being found in agricultural areas, it occurs only if there are remnants of natural vegetation in the surroundings.

To a lesser extent, the population decline of the species is caused by human retaliation for the predation of poultry, roadkill (Abra et al., 2021) and the transmission of diseases by domestic animals, such as dogs and cats (Oliveira et al., 2013). *P. concolor* is a territorial and solitary species, occurring in a variety of habitat types, including anthropogenic areas, such as agricultural areas (Magioli et al., 2014, 2016) and reforestation of *Pinus* spp. and *Eucalyptus* spp. (Miotto et al., 2011), in search of food and shelter. Despite having great environmental plasticity (Magioli et al., 2014), the cougar suffers from several threats, including hunting, habitat loss and road mortality (Azevedo et al., 2013).

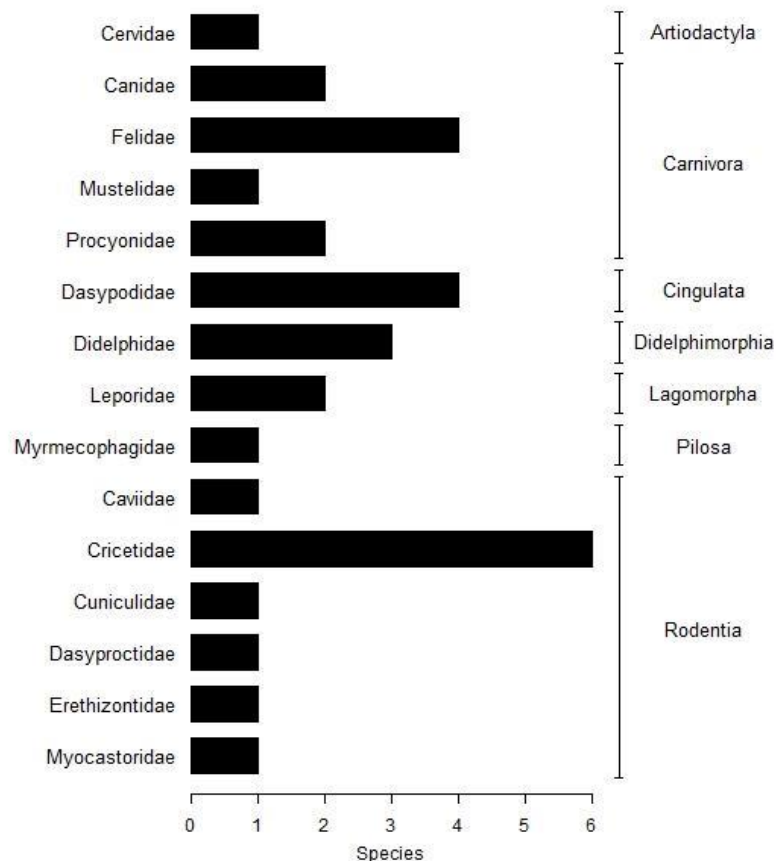


Figure 8. Number of recorded mammal species in Assis State Forest, São Paulo, Brazil.

Figura 8. Número de espécies de mamíferos registrada na Floresta Estadual de Assis, São Paulo, Brasil.

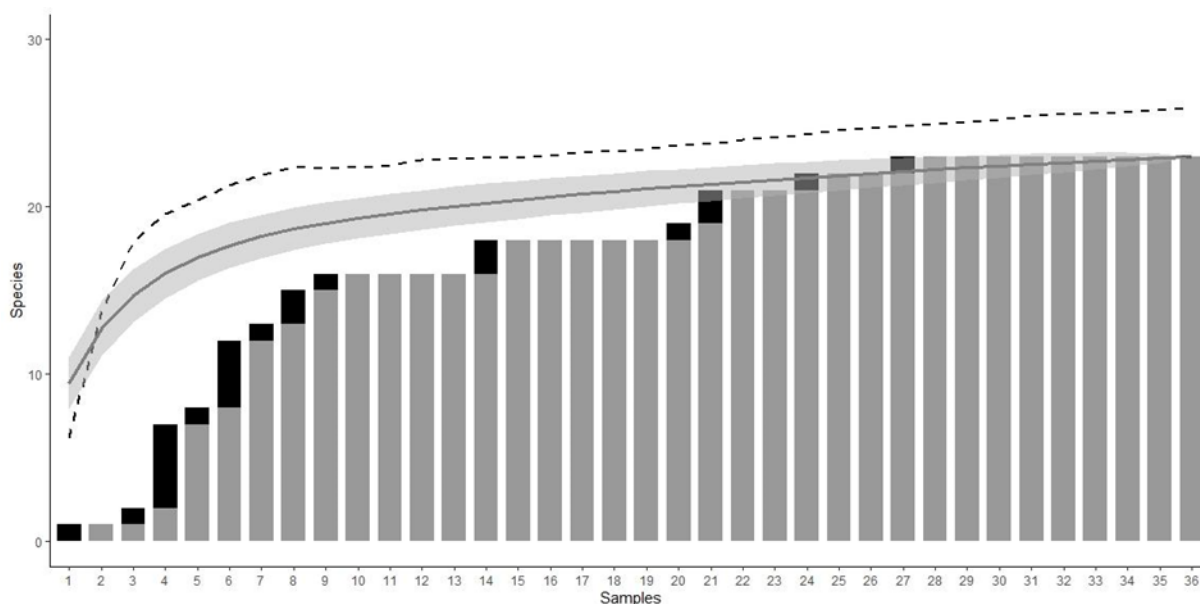


Figure 9. Rarefaction curve for estimated mammal richness in Assis State Forest, São Paulo, Brazil. The dotted black line represents the estimated mammal richness, the gray line the species accumulation curve and the gray shaded area represents the 95% confidence interval for the accumulation curve. Gray bars represent the number of species found in previous samples and black bars species added in each current sample.

Figura 9. Curva de rarefação da riqueza estimada para os mamíferos da Floresta Estadual de Assis, São Paulo, Brasil. A linha preta pontilhada representa a riqueza estimada, a linha cinza a curva de acúmulo de espécies e a área sombreada cinza representa o intervalo de confiança de 95% para a curva de acúmulo. As barras cinzas representam o número de espécies acumulado e as barras pretas as espécies adicionadas em cada unidade amostral.

We added six new species to the ASF's species list: four species of the family Dasypodidae - *Cabassous unicinctus* (Linnaeus 1758), *Dasypus novemcinctus* (Linnaeus 1758), *Dasypus septemcinctus* (Linnaeus 1758), *Euphractus sexcinctus* (Linnaeus 1758), *Puma concolor* (Linnaeus 1771) and *Procyon cancrivorus* (G. Cuvier 1798). It is important to remember that the mammalian species list present at ASF's Management Plan was built based on verbal reports from ASF's employees and neighbors and not a scientific survey, which may bias their results. We highlight the presence of *Dasypus septemcinctus*, similar to *Dasypus novemcinctus*, absent in AFS and AES's species lists. Their differences are the body size, and *D. septemcinctus* having seven bands on its carapace (Reis et al., 2006). Some species were present in the ASF list but were not detected in the present survey – tapir (*Tapirus terrestris*), margay (*Leopardus wiedii*), maned wolf (*Chrysocyon brachyurus*) and the pecari (*Pecary tajacu*), introduced at AES in 1991 (Max et al., 2007; São Paulo, 2010). The maned wolf for example, was last seen in 1993, and probably is locally extinct. The collared peccary and the tapir were seen in 2002 (Max et al., 2007), indicating that further sampling may still result in the detection of these species.

For the small mammals, we only identified five species at species level: *Calomys tener* (Winge 1887), *Cryptonanus cf. agricolai* (Moojen 1943), *Oligoryzomys nigripes* (Olfers 1818), *Oligoryzomys flavescens* (Waterhouse 1837) and *Necomys lasiurus* (Lund 1840). However, another 20 specimens were only identified to genus-level (i.e., *Akodon* spp., *Cerradomys* spp. and *Gracilinanus* spp.) (Figure 8). Since there were no previous studies with small mammals in ASF, these are the first official records documented (Max et al., 2007). None of the registered species are considered threatened or endemic. It is worth noting that if a greater number of live traps had been used, in a greater number of areas throughout the ASF, the number of species recorded would have been greater, and could include rarer and less common species. Still, as the objective of the study was not to capture and euthanize the animals, it was decided to keep the identification up to the generic level, which also decreased the species richness for this group.

The difference found between sampling areas for birds, a group with many species sensitive to habitat changes (Savard et al., 2000), shows that it is important to maintain the variety of phytophysionomies in Cerrado areas, which range from forests to grasslands, as well as to include all

of them in inventory studies. For other taxonomic groups, many species were inhabiting and transitioning between the different habitat types.

Two emblematic species from the Cerrado were neither registered on previous surveys nor on our study: *Chrysocyon brachyurus* (Illiger 1815) - maned-wolf and *Myrmecophaga tridactyla* (Linnaeus 1758) - giant-anteater. The local disappearance of these species may be related to roadkill, habitat loss and fragmentation, and the reduction of open areas phytophysionomies in the last decades (Abra et al., 2021; Durigan e Ratter 2015; Veldman et al. 2015). Although the FEA is a sustainable-use conservation unit, it was not the object of this research to try to understand the effects of its management type on the persistence of the species. However, given that most of the species found are mostly typical of Cerrado areas, it is expected that with the management of the areas planted with exotic species (i.e., logging) the fauna will actively use these areas. Care should be taken that this management is done little by little, with small areas being managed each time, to avoid a temporary frightening away of the fauna. There are studies that show that if the zoning and management plan of the Unit are respected, the conservation of the species present there can be maintained (Queiroz, 2005).

Given that the Cerrado is a biodiversity hotspot, protected areas such as the ASF are of great importance for the maintenance of its natural habitats and for the persistence of fauna, characterized by a high endemism level. Its importance is even greater in regions such as the São Paulo state, because it is South America's most urbanized region, and the anthropic influence is constantly increasing towards natural areas. This survey added several species to the protected area's list, which may serve as a basis for future scientific work, environmental consultancy and the Management Plan review. Furthermore, knowing the fauna of this protected area helps in the planning of more effective conservation strategies.

ACKNOWLEDGEMENTS

KMPMBF is funded by Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico research grant (#308632/2018-4). We would like to thank the manager and all the staff of the Assis State Forest for all the support during data collection. We also thank the Ibama/Sisbio authorization 54869-1 and the COTEC for the authorization nº 576/2017.

REFERENCES

- ABRA, FD. et al. An estimate of wild mammal roadkill in São Paulo state, Brazil. **Heliyon**, v. 7, n. 1, e06015, 2021.
- ABREU, E.F. et al. **Lista de Mamíferos do Brasil**. Comitê de Taxonomia da Sociedade Brasileira de Mastozoologia (CT-SBMz), 2021. Available in: <<https://www.sbmz.org/mamiferos-do-brasil/>>. Access in: 30 jun. 2021.
- ANTUNES, A.Z. *Tachornis squamata* (Cassin, 1853), Apodiformes, Apodidae. In: BRESSAN, P.M.; KIERULFF, M.C.M.; SUGIEDA, A.M. (Ed.) **Fauna ameaçada de extinção no estado de São Paulo: Vertebrados**. São Paulo: Fundação Parque Zoológico de São Paulo, Secretaria de Meio Ambiente. 2009. p. 648.
- _____. Avifauna. In: DURIGAN, G. (Ed.) **Plano de manejo da Estação Ecológica de Assis**. São Paulo: Instituto Florestal, 2010. 172 p.
- _____.; KANASHIRO, M.M.; ESTON, M.R. Aves registradas em 14 áreas protegidas no interior do estado de São Paulo, Brasil. **Revista do Instituto Florestal**, v. 28, n. 2, p. 135-157, 2016.
- ARAÚJO, C.O.; ALMEIDA-SANTOS, S.M. Herpetofauna de um remanescente de cerrado no estado de São Paulo, sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 3, p. 47-62, 2011.
- _____.; CORTEZ, T.H. Herpetofauna. In: DURIGAN, G. (Ed.) **Plano de manejo da Estação Ecológica de Assis**. São Paulo: Instituto Florestal, 2010. 172 p.
- AZEVEDO, F.C. et al. Avaliação do risco de extinção da onça-parda *Puma concolor* (Linnaeus 1771) no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 3, n. 1, p. 107-121, 2013.
- BERTOLUCI, J. et al. Species composition and similarities among anuran assemblages of forest sites in southeastern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 364-374, 2007.
- BETTS, M.G. et al. Global forest loss disproportionately erodes biodiversity in intact landscapes. **Nature**, v. 547, p. 441-444, 2017.

BIBBY, J.C.; BURGESS, N.D.; HILL, D.A. **Bird census techniques**. London: Academic Press, 1993. 280 p.

BIRDLIFE INTERNATIONAL. **Species factsheet: *Antilophia galeata***. 2020. Available in: <<http://www.birdlife.org>>. Access in: 21 Oct. 2020.

BLONDEL, J.; FERRY, C.; FROCHOT, B. La méthode des indices ponctuels d'abondance (IPA) ou des relevés d'avifaune par "stations d'écoute". **Alauda**, v. 38, p. 55-71, 1970.

BORLAUG, N.E. Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. In: BAILEY R. (Ed). **Global warming and other eco-myths**. Roseville: Competitive Enterprise Institute, 2002. p. 29-60.

BUCKLAND, S.T. et al. **Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations**. New York: Oxford University Press, 2001. 448 p.

CAMPBELL, H.W.; CRISTMAN, S.P. Field techniques for herpetological community analysis. In: SCOTT, N.J.JR. (Ed.) **Herpetological Communities: a Symposium of the Society for the Study of Amphibians and Reptiles and the Herpetologists' League**. Washington: Wildlife Research Report 13, U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, 1982. p. 193-200.

CECHIN, S.Z.; MARTINS, M. 2000. Eficiência de armadilhas de queda (*Pitfall traps*) em amostragens de anfíbios e répteis no Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 17, n. 3, p. 729-749, 2000.

CHASE, J.M. et al. Ecosystem decay exacerbates biodiversity loss with habitat loss. **Nature**, 584, p. 238-243, 2020.

CHIARELLO, A.G. Density and population size of mammals in remnants of Brazilian Atlantic Forest. **Conservation Biology**, v. 14, n. 6, p. 1649-1657, 2000.

CITES. 2018. **Appendices I, II and III**. Available in: <www.cites.org>. Access in: <last access on 20/10/2018>.

COLLI, G.R.; VIEIRA, C.R.; DIANESE, J.C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, p. 1465-1475, 2020.

COLWELL, R.K. 2013. EstimateS, Version 9.1: **Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples**. Available in: <purl.oclc.org/estimates>. Access in: 17 Jul. 2017.

COSTA, H.C.; BÉRNILS, R.S. Répteis brasileiros: Lista de espécies 2015. **Herpetologia Brasileira**, v. 4, n. 3, p. 75-93, 2015

DRUMMOND, J.A.; FRANCO, J.L.A.; OLIVEIRA, D. Uma análise sobre a história e a situação das unidades de conservação no Brasil. In:

GANEM, R.S. (Org.) **Conservação da Biodiversidade: Legislação e Políticas Públicas**. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2010. 437 p.

DURIGAN, G.; RATTER, J.A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 1, p. 11-15, 2015.

_____, SIQUEIRA, M.F.; FRANCO, G.A.D.C. Threats to the Cerrado remnants of the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 355-363, 2007.

ERIZE, F.; MATA, J.R.R.; RUMBOLL, M. **Birds of South America: Non-Passerines: Rheas to Woodpeckers**. New Jersey: Princeton University Press, 2006. 376 p.

FERRAZ, K.M.P.M.B. et al. Bridging the gap between researchers, conservation planners, and decision makers to improve species conservation decision-making. **Conservation Science and Practice**, v. 3, n. 2, e330, 2020.

FIGUEIREDO, L.F.A. *Neopelma pallescens* (Lafresnaye, 1853), Passeriformes, Pipridae. In: BRESSAN, P.M.; KIERULFF, M.C.M.; SUGIEDA, A.M. (Ed). **Fauna ameaçada de extinção no estado de São Paulo: Vertebrados**. São Paulo: Fundação Parque Zoológico de São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente, 2009. p.235.

FROST, D.R. **Amphibian Species of the World: an Online Reference**. Version 6.1 Available in: <<https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>>. Access in: <30 Jun. 2021>.

- FURLEY, P.A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, n. 3-4, p. 223-241, 2002.
- GALETTI, M. et al. Causes and consequences of large-scale defaunation in the Atlantic forest. In: Marques, M.C.M.; Grelle, C.E.V. **The Atlantic Forest: History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Megadiverse Forest**. Springer, Cham, 2021. p. 297-324.
- GREENWOOD, J.D. Basic techniques. In: SUTHERLAND, W.J. (Ed). **Ecological Census Techniques: a Handbook**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 11-110.
- HÄKKILÄ, M.; ABREGO, N.; OVASKAINEN, O.; MÖNKKÖNEN, M. Habitat quality is more important than matrix quality for bird communities in protected areas. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 8, p. 4019-4030, 2018.
- HELTSHE, J.F.; FORRESTER, N.E. Estimating Species Richness Using the Jackknife. **Biometrics**, v. 39, n. 1, p. 11, 1983.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 625 p.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE – IUCN. **Red List of Threatened Species**. Version 2020-3. Available in: <www.iucnredlist.org>.
- KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.
- MAFFEI, F.; UBAID, F.K. **Amphibians of Rio Claro Farm, Lençóis Paulista, São Paulo, Brazil**. São Paulo: Editora Canal 6, 2014. 128p.
- MAGIOLI, M.; FERRAZ, K.M.P.M.B.; RODRIGUES, M.G. Medium and large sized mammals of an isolated Atlantic Forest remnant, southeast São Paulo State, Brazil. **Check List**, v. 10, n. 4, p. 850–856, 2014.
- _____. et al. Connectivity maintain mammal assemblages' functional diversity within agricultural and fragmented landscapes. **European Journal of Wildlife Research**, v. 62, n. 4, p. 431–446, 2016.
- _____. et al. Human-modified landscapes alter mammal resource and habitat use and trophic structure. **PNAS**, n. 116, v. 37, p. 18466-18472, 2019.
- MALLET-RODRIGUES, F.; PARRINI, R.; PACHECO, J.F. Birds of the Serra dos Órgãos, State of Rio de Janeiro, Southeastern Brazil: a review. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 15, n. 1, p. 5-35, 2007.
- MAPBIOMAS. Coleção 5.0 da **Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Available: <<https://mapbiomas.org>>. Access in: 26/10/2020.
- MARÇAL-JUNIOR, O. et al. Levantamento da avifauna na Reserva Ecológica Panga (Uberlândia, MG, Brasil). **Bioscience Journal**, v. 25, v. 6, p.149-164, 2009.
- MARINHO-FILHO, J.; RODRIGUES, F.H.G.; JUAREZ, K.M. The Cerrado mammals: diversity, ecology, and natural history. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (Ed). **The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 266-284.
- MAX, J.C.M. et al. Plano de manejo da Floresta Estadual de Assis. **IF Série Registros**, n. 30, p. 1-80, 2007.
- MENDONÇA, R.C. et al. Flora vascular do Cerrado. In: SANO S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed). **Cerrado: Ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 288-556.
- MICHALSKI, F.; PERES, C.A. Disturbance-Mediated Mammal Persistence and Abundance-Area Relationships in Amazonian Forest Fragments. **Conservation Biology**, v. 21, n. 6, p. 1626-1640, 2007.
- MIOTTO, R.A. et al. Genetic diversity and population structure of pumas (*Puma concolor*) in southeastern Brazil: implications for conservation in a human-dominated landscape. **Conservation Genetics**, v. 12, n. 6, p. 1447-1455, 2011.

- MITTERMEIER, R.A. et al. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. In: **ZACHOS, F.E.; HABEL, J.C. Biodiversity hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas**. Berlin: Heidelberg, Springer, 2011. p. 3-22.
- MINISTRY OF ENVIRONMENT – MMA. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Fragmentação de Ecossistemas – Causas, Efeitos Sobre a Biodiversidade e Recomendações de Políticas Públicas**. Brasília-DF, 2003. 510 p.
- MOTTA-JÚNIOR, J.C. Estrutura trófica e composição das avifaunas de três habitats terrestres na região central do Estado de São Paulo. **Ararajuba**, n. 1, p. 65-71, 1990.
- NEWBOLD, T. et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature**, n. 520, p. 45–50, 2015.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989. 421 p.
- NOGUEIRA, C. et al. Vicariance and endemism in a Neotropical savanna hotspot: distribution patterns of Cerrado squamate reptiles. **Journal of Biogeography**, n. 38, p. 1907-1922, 2011.
- O'CONNELL, A.F.; NICHOLS, J.D.; KARANTH, K.U. Camera Traps in Animal Ecology. Page **Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses**. 1 ed. Springer Japan, 2011. 271 p.
- O'DEA, N.; WHITTAKER, R.J. How resilient are Andean montane forest bird communities to habitat degradation? **Biodiversity Conservation**, v. 16, n. 4, p. 1131-1159, 2007.
- OKSANEN, J. et al. **Vegan: Community Ecology Package Version 2.4-4**. Available in: <<https://cran.r-project.org>>. Access in: 03/05/2018.
- OLIVEIRA, T.G.; DE ALMEIDA, L.B.; DE CAMPOS, C.B. Avaliação do risco de extinção da Jaguaritica *Leopardus pardalis* (Linnaeus, 1758) no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 3, n. 1, p. 66-75, 2013.
- OLIVEIRA-DRUMMOND, L.A.J.R.C.; COSTA, H.C.; BRAGA, C.A.C. New records of the teiid lizards *Kentropyx paulensis* (Boettger, 1893) and *Tupinambis duseni* (Lönnberg, 1910) (Squamata: Teiidae) from the state of Minas Gerais, southeastern Brazil. **Check List**, v. 10, n. 6, p. 1549-1554, 2014.
- PAGLIA, A.P. et al. **Checklist of Brazilian Mammals**. 2 ed. Occasional Paper in Conservation Biology, 6. Arlington: Conservation International, 2012. 82 p.
- PARDINI, R. et al. The Role of structure, fragment size and corridors in maintaining abundance and diversity in an Atlantic Forest landscape. **Biological Conservation**, n. 124, p. 253-266, 2005.
- PARKER III, T.A.; STOTZ, D.E.; FITZPATRICK, J.W. Ecological and distribution databases. In: STOTZ, D.E. et al. (Ed.). **Neotropical birds: ecology and conservation**. Illinois: University of Chicago Press, 1996. p.131–436.
- PATTON, J.L.; PARDIÑAS, U.F.; D'ELÍA, G. **Mammals of South America**, Volume 2: Rodents. Illinois: University of Chicago Press, 2015. 1384 p.
- PAYNE, R. Pavonine Cuckoo (*Dromococcyx pavoninus*). In: DEL HOYO J.; ELLIOTT, A.; CHRISTIE, D.A.; DE JUANA, E. (Ed). **Handbook of the Birds of the World Alive**. Lynx Editions, Barcelona, 2017. Available in: <<http://www.hbw.com/node/54912>>. Access in: 16 Sept. 2017.
- PERES, C.A. General Guidelines for standardizing line-transect surveys of tropical forest primates. **Neotropical Primates**, v. 7, n. 1, p. 11-16, 1999.
- PIACENTINI, V.Q. et al. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee. **Revista Brasileira de Ornitologia**, n. 23, p. 91–298, 2015.
- PIVELLO, V.R.; VARANDA, E.M. **O cerrado Pé-de-Gigante: ecologia e conservação - Parque Estadual de Vassununga**. SMA, São Paulo, 2006. 256 p.
- PORT-CARVALHO, M.; GARRIDO, C.A.G. 2010. Mastofauna. In: DURIGAN, G. (Ed.) **Plano de manejo da Estação Ecológica de Assis**. São Paulo: Instituto Florestal. 172 p.

QUEIROZ, H.L. **A reserva de desenvolvimento sustentável Mamirauá.** Dossiê Amazônia Brasileira II. Estudos Avançados, v. 19, n. 54, 2005.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing. Available in: <<https://www.R-project.org/>>. Access in: 03/05/2019.

RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, n. 3, p. 223–230, 1997.

REDFORD, K.H.; DA FONSECA, G.A.B. The role of gallery forests in the zoogeography of the Cerrado's non-volant mammalian fauna. **Biotropica**, v. 18, n. 2, p. 126-135, 1986.

REIS, N.R.; PERACCHI, A.L.; PEDRO, W.A.; LIMA, I.P. **Mamíferos do Brasil.** Londrina: Nelio R. dos Reis, 2006. 437 p.

RIBEIRO-JÚNIOR, J.W.; BERTOLUCI, J. Anuros do cerrado da Estação Ecológica e da Floresta Estadual de Assis, sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 1, p. 207-2016, 2009.

RIDGELY, R.S.; TUDOR, G. **Field Guide to the songbirds of South America: The passerines.** Austin, University of Texas Press, 2009. 760 p.

RÍOS-SALDAÑA, C.A.; DELIBES-MATEOS, M.; FERREIRA, C.C. Are fieldwork studies being relegated to second place in conservation science? **Global Ecology and Conservation**, v. 14, e00389, 2018.

ROCHA, C.F.D.; BERGALLO, H.G.; PECCININI-SEALE, D. Evidence of an unisexual population of the Brazilian whiptail lizard genus *Cnemidophorus* (Teiidae), with description of a new species. **Herpetologica**, v. 53, n. 3, p. 374-382, 1997.

_____. et al. New *Cnemidophorus* (Squamata: Teiidae) from coastal Rio de Janeiro State, Southeastern Brazil. **Copeia**, v. 2000, n. 2, p. 501-509, 2000.

ROSSA-FERES, D.C et al. Anfíbios do Estado de São Paulo, Brasil: Conhecimento Atual e Perspectivas. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, 2011.

SANO, E.E. et al. Mapeamento semi-detalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 43, p. 153–156, 2008.

SANTOS-FILHO, M. et al. Trap efficiency evaluation for small mammals in the Southern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 2, p. 187-194, 2015.

SÃO PAULO (ESTADO) - Secretaria do Meio Ambiente. **Plano de Manejo da Estação Ecológica de Assis.** São Paulo: Instituto Florestal, 2010. 172 p.

SAVARD, J.L.; CLERGEAU, P.; MENNECHEZ, G. Biodiversity concepts and urban ecosystems. **Landscape and Urban Planning**, v. 48, n. 3-4, p. 131-142, 2000.

SCOTT JR., N.J.; WOODWARD, B.D. Standard techniques for inventory and monitoring: Surveys at Breeding Sites. In: HEYER, W.R. et al. (Ed). **Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibians.** Washington: Smithsonian Institution Press, 1994. p.118-125.

SEGALLA, M.V. et al. Brazilian amphibians - List of species. **Herpetologia Brasileira**, v. 5, n. 2, p. 34-46, 2014.

SILVA, J.M.C. Birds of the Cerrado Region, South America. **Steenstrupia**, v. 21, n. 2, p. 69-92, 1995.

_____.; BATES, J.M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna Hotspot. **BioScience**, v. 52, n. 3, p. 225-233, 2002.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE – SMA. 2018. Decreto nº 68.853, de 27 de novembro de 2018. Declara as espécies da fauna Silvestre ameaçadas de extinção, as quase ameaçadas e as deficientes de dados para avaliação no Estado de São Paulo e dá providências correlatas. Available in: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/dec reto/2018/decreto-63853-27.11.2018.html>. Access in: 03/05/2019.

SNOW, D.; DE JUANA, E. Helmeted Manakin (*Antilophia galeata*). In: DEL HOYO, J; ELLIOTT, A.; SARGATAL, J.; CHRISTIE, D.A.; DE JUANA, E. (Ed). **Handbook of the Birds of the World Alive**. Lynx Editions, Barcelona, 2017. Available in: <<http://www.hbw.com/node/54912>>. Access in: 16 Sept. 2017.

SOMENZARI, M. et al. An overview of migratory birds in Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, n. 58, p. 2-66, e20185803, 2018.

SOUZA, C.M. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, 2735, 2020.

STOTZ, D. et al. **Neotropical Birds: Ecology and Conservation**. Chicago: The University of Chicago Press, 1996. 502 p.

VALDUJO, P.H. et al. Anuran species composition and distribution patterns in Brazilian Cerrado, a neotropical hotspot. **Journal of Herpetology**, v. 7, n. 2, p. 63-78, 2012.

VANDERMEER, J.; CARVAJAL, R. Metapopulation Dynamics and the Quality of the Matrix. **The American Naturalist**, v. 158, n. 3, p. 211–220, 2001.

VELDMAN, J.W. et al. Where Tree Planting and Forest Expansion are Bad for Biodiversity and Ecosystem Services. **BioScience**, v. 65, n. 10, p. 1011–1018, 2015.

VIEILLARD, J.M.; SILVA, W.R. Nova metodologia de levantamento quantitativo da avifauna e primeiros resultados no interior do Estado de São Paulo, Brasil. In: Anais do IV Encontro Anual de Avifauna, 1990. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, p.117-151.

VIEIRA, A.L.M. et al. Efficiency of small mammal trapping in Atlantic Forest fragmented landscape. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 3, p. 538-544, 2014.

VOSS, R.S.; EMMONS, L.H. Mammalian Diversity in Neotropical Lowland Rainforests: A Preliminary Assessment. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 230, p. 1–115, 1996.

_____. et al. The six opossums of Félix de Azara: identification, taxonomic history, neotype designations, and nomenclatural recommendations. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 331, p. 406–433, 2009.

WARD, M. et al. Just ten percent of the global terrestrial protected area network is structurally connected via intact land. **Nature Communications**, n. 11, p. 4563, 2020.

WICKHAM H. **Ggplot2: elegant graphics for data analysis**. Springer International Publishing, 2016. doi:10.1007/978-0-387-98141-3. 90 p.

WILSON, D.E.; REEDER, D.M. **Mammal Species of the World**. A Taxonomic and Geographic Reference. 3 ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2005. 2000 p.

ZAHER, H. et al. Répteis do Estado de São Paulo: Conhecimento Atual e Perspectivas. **Biota Neotropica**, v.11, n. 1A, p. 67-81, 2011.

Appendix 1. Bird species registered on Assis State Forest (taxonomy according to Piacentini et al., 2015), in each campaign (1 - August 2017; 2 - May 2018; 3 - October 2018; 4 - January and February 2019), for each sampling area (A1 - Cerradao; A2 - One year restoration; A3 - Five-year restoration). Migr. Status = Migratory status (MPG = migratory; MPR = partially migratory; ND = migratory movements not defined; * = more information required). Endemism (CE = endemic to the Cerrado; BR = endemic to Brazil). Mgmt. Plan = Recorded on (AES) Assis Ecological Station's (Antunes, 2010) or on (AFS) Assis State Forest's (Max et al., 2007) Management Plan. Sens. = Sensibility to human disturbances according to Parker III et al. (1996) (L = low; M = medium; H = high). Diet = main feeding guild (OMN = omnivore; NEC = nectarivore; FRU = frugivorous; CAR = carnivore; INS = insectivorous; GRA = granivore; DET = detritivore; PIS = piscivore). Cons. status = Conservation status: SP/IUCN= LC = least concerned; NT = near threatened; EN = endangered.

Apêndice 1. Espécies de aves registradas na Floresta Estadual de Assis (taxonomia de acordo com Piacentini et al., 2015), em cada campanha (1 - agosto 2017; 2 - maio 2018; 3 - outubro 2018; 4 - janeiro e fevereiro 2019), para cada área de amostragem (A1 - Cerradão; A2 - Restauração com um ano; A3 - Restauração com cinco anos). Status Migr. = Status migratório (MPG = migratório; MPR = parcialmente migratório; ND = movimentos migratórios não definidos; * = mais informações necessárias). Endemismo (CE = endêmico para o Cerrado; BR = endêmico para o Brasil). Mgmt. Plano = Registrado na Estação Ecológica de Assis (AES) (Antunes, 2010) ou no Plano de Manejo da Floresta Estadual de Assis (Max et al., 2007). Sensibilidade = Sensibilidade a distúrbios humanos segundo Parker III et al. (1996) (L = baixo; M = médio; H = alto). Dieta = principal grêmio alimentar (OMN = omnívoro; NEC = nectarívoro; FRU = frugívoro; CAR = carnívoro; INS = insetívoro; GRA = granívoro; DET = detritívoro; PIS = piscívoro). Cons. status = estado de conservação: SP/IUCN = menos preocupado; NT = quase ameaçado; EN = ameaçado.

Estado de conservação: SP/IUCN – menos preocupado, NT – quase ameaçado, LV – ameaçado.													
Taxon	Camp.	Migr. status	End.	Mgmt. Plan		Area			Sens	Diet	Cons. status		
				AES	ASF	A1	A2	A3			SP	IUCN	
Tinamiformes													
Tinamidae													
<i>Crypturellus parvirostris</i> (Wagler 1827)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	OMN		LC	
<i>Crypturellus tataupa</i> (Temminck 1815)	1,2			X	X	X			L	OMN		LC	
<i>Rhynchotus rufescens</i> (Temminck 1815)	1,2,3,4			X	X		X		L	OMN	AM	LC	
Anseriformes													
Anatidae													
<i>Dendrocygna viduata</i> (Linnaeus 1766)	3								L	OMN		LC	
<i>Cairina moschata</i> (Linnaeus 1758)	1,3								M	OMN		LC	
<i>Amazonetta brasiliensis</i> (Gmelin 1789)	1,3,4								L	OMN		LC	
Galliformes													
Cracidae													
<i>Penelope supercilialis</i> (Temminck 1815)	1,2,3,4			X	X	X	X		M	FRU		LC	
Suliformes													
Phalacrocoracidae													
<i>Nannopterum brasilianus</i> (Gmelin 1789)	3,4			X					L	PISC		LC	
Pelecaniformes													
Ardeidae													
<i>Tigrisoma lineatum</i> (Boddaert 1783)	1								M	PISC		LC	
<i>Nycticorax nycticorax</i> (Linnaeus 1758)	4			X					L	PISC		LC	
<i>Butorides striata</i> (Linnaeus 1758)	4								L	PISC		LC	
<i>Bubulcus ibis</i> (Linnaeus 1758)	1			X					L	INS		LC	
<i>Ardea alba</i> (Linnaeus 1758)	1			X					L	PISC		LC	
<i>Syrigma sibilatrix</i> (Temminck 1824)	1,2,3,4			X			X		M	INS		LC	
Threskiornithidae													
<i>Mesembrinibis cayennensis</i> (Gmelin 1789)	1,2,3,4								M	OMN		LC	
<i>Theristicus caudatus</i> (Boddaert 1783)	1,4								L	OMN		LC	

to be continued
continua

continuation – Appendix 1
 continuação – Apêndice 1

Taxon	Camp.	Migr. status	End.	Mgmt. Plan		Area			Sens ·	Diet	Cons. status		
				AES	ASF	A1	A2	A3			SP	IUCN	
Cathartidae													
Cathartiformes													
<i>Cathartes aura</i> (Linnaeus 1758)	1,2,3,4						X			L	DET		LC
<i>Coragyps atratus</i> (Bechstein 1793)	1,2,3,4			X	X	X	X			L	DET		LC
Accipitriformes													
Accipitridae													
<i>Leptodon cayanensis</i> (Latham 1790)	1,3						X			M	CAR		LC
<i>Ictinia plumbea</i> (Gmelin 1788)	3,4	MPR		X			X			M	INS		LC
<i>Geranoospiza caerulescens</i> (Vieillot 1817)	1							X		M	CAR		LC
<i>Rupornis magnirostris</i> (Gmelin 1788)	1,2,3,4			X	X	X	X	X		L	CAR		LC
<i>Geranoaetus albicaudatus</i> (Vieillot 1816)	1,4						X			L	CAR		LC
<i>Buteo brachyurus</i> (Vieillot 1816)	2,3,4			X	X	X				M	CAR		LC
Gruiformes													
Rallidae													
<i>Aramides cajaneus</i> (Muller 1776)	1,2,3,4			X			X	X		H	OMN		LC
<i>Amaurolimnas concolor</i> (Gosse 1847)	1,3,4									M	OMN		LC
<i>Mustelirallus albicollis</i> (Vieillot 1819)	1,3			X	X			X		M	OMN		LC
Charadriiformes													
Charadriidae													
<i>Vanellus chilensis</i> (Molina 1782)	1,3,4			X	X			X		L	OMN		LC
Columbiformes													
Columbidae													
<i>Columbina talpacoti</i> (Temminck 1810)	1,2,3,4			X	X	X	X	X		L	GRA		LC
<i>Columbina squammata</i> (Lesson 1831)	1,2,3,4			X	X	X	X			L	GRA		LC
<i>Claravis pretiosa</i> (Ferrari-Perez 1886)	2,4						X			L	FRU		LC
<i>Patagioenas picazuro</i> (Temminck 1813)	1,2,3,4			X	X	X	X	X		M	FRU		LC
<i>Patagioenas cayennensis</i> (Bonnaterre 1792)	1,2,3			X	X	X				M	FRU		LC
<i>Zenaida auriculata</i> (Des Murs 1847)	2,3			X	X	X	X	X		L	GRA		LC
<i>Leptotila verreauxi</i> (Bonaparte 1855)	1,2,3,4			X	X	X	X	X		L	FRU		LC
<i>Leptotila rufaxilla</i> (Richard & Bernard 1792)	2,3,4						X			M	FRU		LC
Cuculiformes													
Cuculidae													
<i>Piaya cayana</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4			X	X	X	X	X		L	INS		LC
<i>Coccyzus melacoryphus</i> (Vieillot 1817)	3	MGT							X	L	INS		LC
<i>Crotophaga ani</i> (Linnaeus 1758)	1,2,3,4			X	X			X	X	L	INS		LC
<i>Guira guira</i> (Gmelin 1788)	1,2,3,4			X	X			X		L	INS		LC
<i>Tapera naevia</i> (Linnaeus 1766)	1,3,4							X		L	INS		LC
<i>Dromococcyx pavoninus</i> (Pelzeln 1870)	1,2			X			X			H	INS		LC
Strigiformes													
Tytonidae													
<i>Tyto furcata</i> (Temminck 1827)	4			X	X					L	CAR		LC

to be continued
 continua

continuation – Appendix 1
 continuação – Apêndice 1

Taxon	Camp.	Migr. status	End.	Mgmt. Plan		Area			Sens ·	Diet	Cons. status		
				AES	ASF	A1	A2	A3			SP	IUCN	
Strigidae													
Megascops choliba (Vieillot 1817)	1,3,4			X	X	X			L	INS		LC	
Athene cunicularia (Molina 1782)	1,2			X	X	X	X		M	CAR		LC	
Nyctibiiformes													
Nyctibiidae													
Nyctibius griseus (Gmelin 1789)	3,4			X		X			L	INS		LC	
Caprimulgiformes													
Caprimulgidae													
Antrostomus rufus (Boddaert 1783)	1,2,3,4			X		X	X	X	L	INS		LC	
Lurocalis semitorquatus (Gmelin 1789)	3,4	MPR		X					M	INS		LC	
Nyctidromus albicollis (Gmelin 1789)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	INS		LC	
Hydropsalis parvula (Gould 1837)	1,2,3,4	MPR		X		X	X		L	INS		LC	
Hydropsalis torquata (Gmelin 1789)	1,2,4			X	X	X			L	INS		LC	
Apodiformes													
Apodidae													
Chaetura meridionalis (Hellmayr 1907)	3	MGT*		X	X		X		L	INS		LC	
Tachornis squamata (Cassin 1853)	1					X			L	INS	EN	LC	
Trochilidae													
Phaethornis pretrei (Lesson & Delattre 1839)	4			X	X		X		L	NEC		LC	
Eupetomena macroura (Gmelin 1788)	1,2,3			X	X	X	X		L	NEC		LC	
Florisuga fusca (Vieillot 1817)	3	MPR*		X					L	NEC		LC	
Anthracothorax nigricollis (Vieillot 1817)	3	MPR		X					L	NEC		LC	
Chlorostilbon lucidus (Shaw 1812)	2,3			X	X	X		X	L	NEC		LC	
Hylocharis chrysura (Shaw 1812)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	M	NEC		LC	
Leucochloris albicollis (Vieillot 1818)	2								L	NEC		LC	
Amazilia lactea (Lesson 1832)	1,2,3,4					X	X		L	NEC		LC	
Heliomaster squamosus (Temminck 1823)	3								M	NEC		LC	
Coraciiformes													
Alcedinidae													
Megaceryle torquata (Linnaeus 1766)	1,3,4			X	X				L	PISC		LC	
Chloroceryle amazona (Latham 1790)	2,4			X					L	PISC		LC	
Galbuliformes													
Bucconidae													
Nystalus chacuru (Vieillot 1816)	2,3			X	X		X		M	INS		LC	
Piciformes													
Ramphastidae													
Ramphastos toco (Muller 1776)	1,2,4					X	X		M	OMN		LC	
Picidae													
Picumnus albosquamatus (d'Orbigny 1840)	1,3,4			X		X	X		L	INS		LC	
Melanerpes candidus (Otto 1796)	1,2,3			X	X	X		X	L	OMN		LC	

to be continued
 continua

continuation – Appendix 1
 continuação – Apêndice 1

Taxon	Camp.	Migr. status	End.	Mgmt. Plan		Area			Sens ·	Diet	Cons. status	
				AES	ASF	A1	A2	A3			SP	IUCN
<i>Veniliornis passerinus</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4			X		X		X	L	INS		LC
<i>Colaptes melanochloros</i> (Gmelin 1788)	1,2,3,4			X		X			L	INS		LC
<i>Colaptes campestris</i> (Vieillot 1818)	1,2,3,4			X	X		X	X	L	INS		LC
<i>Celeus flavescens</i> (Gmelin 1788)	1,2,3,4			X	X	X			M	INS		LC
<i>Dryocopus lineatus</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4			X		X	X		L	INS		LC
Cariamiformes												
Cariamidae												
<i>Cariama cristata</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	M	OMN		LC
Falconiformes												
Falconidae												
<i>Caracara plancus</i> (Miller 1777)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	CAR		LC
<i>Milvago chimachima</i> (Vieillot 1816)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	CAR		LC
<i>Herpetotheres cachinnans</i> (Linnaeus 1758)	2,3,4					X			L	CAR		LC
<i>Micrastur semitorquatus</i> (Vieillot 1817)	2,3,4					X			M	CAR		LC
<i>Falco femoralis</i> (Temminck 1822)	1,2,3			X		X	X		L	CAR		LC
Psittaciformes												
Psittacidae												
<i>Psittacara leucophthalmus</i> (Muller 1776)	1,2,3,4			X	X	X		X	L	FRU		LC
<i>Brotogeris chiriri</i> (Vieillot 1818)	1,2,3,4			X		X	X		M	FRU		LC
<i>Amazona aestiva</i> (Linnaeus 1758)	3					X			M	FRU	NT	NT
Passeriformes												
Thamnophilidae												
<i>Formicivora rufa</i> (Wied 1831)	1,2,3,4			X	X	X	X		L	INS		LC
<i>Thamnophilus doliatus</i> (Linnaeus 1764)	1,2,3,4			X	X	X	X		L	INS		LC
<i>Thamnophilus pelzelni</i> (Hellmayr 1924)	1,2,3,4			X		X		X	L	INS		LC
<i>Thamnophilus caerulescens</i> (Vieillot 1816)	2,3,4			X		X			L	INS		LC
<i>Taraba major</i> (Vieillot 1816)	2,3,4			X		X			L	INS		LC
Conopophagidae												
<i>Conopophaga lineata</i> (Wied 1831)	1			X	X	X			M	INS		LC
Dendrocolaptidae												
<i>Lepidocolaptes angustirostris</i> (Vieillot 1818)	1,2,3,4			X		X	X	X	M	INS		LC
Furnariidae												
<i>Furnarius rufus</i> (Gmelin 1788)	1,2,3,4			X	X	X	X		L	INS		LC
<i>Synallaxis frontalis</i> (Pelzelin 1859)	1,3,4			X	X	X			L	INS		LC
<i>Synallaxis albescens</i> (Temminck 1823)	1						X		L	INS	NT	LC
Pipridae												
<i>Neopelma pallescens</i> (Lafresnaye 1853)	1,2,3,4		CE			X			M	INS	EN	LC
<i>Antilophia galeata</i> (Lichtenstein 1823)	1,2,3,4		CE	X	X	X			M	FRU	NT	LC
Tityridae												
<i>Pachyramphus polychopterus</i> (Vieillot 1818)	1,2,3,4					X			L	INS		LC

to be continued
 continua

continuation – Appendix 1
 continuação – Apêndice 1

Taxon	Camp.	Migr. status	End.	Mgmt. Plan		Area			Sens ·	Diet	Cons. status		
				AES	ASF	A1	A2	A3			SP	IUCN	
Rhynchocyclidae													
<i>Todirostrum cinereum</i> (Linnaeus 1766)	1,2,4			X	X	X	X		L	INS		LC	
<i>Poecilotriccus plumbeiceps</i> (Lafresnaye 1846)	1,3			X	X	X			M	INS		LC	
<i>Hemitriccus margaritaceiventer</i> (d'Orbigny & Lafresnaye 1837)	1,2,3,4			X	X	X		X	M	INS		LC	
Tyrannidae													
<i>Hirundinea ferruginea</i> (Gmelin 1788)	1,2,3						X	X	L	INS		LC	
<i>Euscarthmus meloryphus</i> (Wied 1831)	1,2,3,4			X	X	X			L	INS		LC	
<i>Camptostoma obsoletum</i> (Temminck 1824)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	INS		LC	
<i>Elaenia flavogaster</i> (Thunberg 1822)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	OMN		LC	
<i>Elaenia chiriquensis</i> (Lawrence 1865)	1,3,4	MPR		X	X	X	X	X	L	OMN		LC	
<i>Myiopagis viridicata</i> (Vieillot 1817)	3	MPR					X		M	OMN		LC	
<i>Phaeomyias murina</i> (Spix 1825)	1,2,3,4	ND		X	X	X			L	INS		LC	
<i>Phyllomyias fasciatus</i> (Thunberg 1822)	4			X			X		M	INS		LC	
<i>Serpophaga subcristata</i> (Vieillot 1817)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	INS		LC	
<i>Myiarchus swainsoni</i> (Cabanis & Heine 1859)	2,3	MPR		X		X		X	L	OMN		LC	
<i>Myiarchus ferox</i> (Gmelin 1789)	1,2,3,4			X		X	X	X	L	OMN		LC	
<i>Myiarchus tyrannulus</i> (Muller 1776)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	OMN		LC	
<i>Casiornis rufus</i> (Vieillot 1816)	1,2,3,4			X	X	X	X		M	INS	NT	LC	
<i>Pitangus sulphuratus</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4	MPR*		X	X	X	X	X	L	OMN		LC	
<i>Machetornis rixosa</i> (Vieillot 1819)	3,4			X	X				L	INS		LC	
<i>Myiodynastes maculatus</i> (Muller 1776)	1,3,4	MPR		X	X	X	X	X	L	OMN		LC	
<i>Megarynchus pitangua</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	OMN		LC	
<i>Myiozetetes similis</i> (Spix 1825)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	OMN		LC	
<i>Tyrannus melancholicus</i> (Vieillot 1819)	1,2,3,4	MPR		X	X	X	X	X	L	INS		LC	
<i>Tyrannus savana</i> (Daudin 1802)	1,2,3	MPR		X		X	X	X	L	INS		LC	
<i>Empidonomus varius</i> (Vieillot 1818)	1,3,4	MPR*		X	X	X	X	X	L	OMN		LC	
<i>Colonia colonus</i> (Vieillot 1818)	1						X		L	INS		LC	
<i>Myiophobus fasciatus</i> (Muller 1776)	1,2,3	MPR*		X	X	X	X		L	INS		LC	
<i>Cnemotriccus fuscatus</i> (Wied 1831)	1,2,3,4			X	X	X			L	INS		LC	
<i>Lathrotriccus euleri</i> (Cabanis 1868)	1	MPR		X			X		M	INS		LC	
<i>Xolmis velatus</i> (Lichtenstein 1823)	1,2							X	M	INS		LC	
Vireonidae													
<i>Cyclarhis gujanensis</i> (Gmelin 1789)	1,2,3,4			X			X		L	OMN		LC	
<i>Hylophilus amaurocephalus</i> (Nordmann 1835)	1,2,3			X			X		L	OMN		LC	
<i>Vireo chivi</i> (Vieillot 1817)	1,3,4	MPR		X	X	X			M	INS		LC	
Corvidae													
<i>Cyanocorax cristatellus</i> (Temminck 1823)	1,2,3,4		CE	X	X	X	X	X	M	OMN		LC	
<i>Cyanocorax chrysops</i> (Vieillot 1818)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	OMN		LC	
Hirundinidae													
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i> (Vieillot 1817)	1,2,3,4			X	X	X	X		L	INS		LC	

to be continued
 continua

continuation – Appendix 1
 continuação – Apêndice 1

Taxon	Camp.	Migr. status	End.	Mgmt. Plan		Area			Sens	Diet	Cons. status	
				AES	ASF	A1	A2	A3			SP	IUCN
<i>Stelgidopteryx ruficollis</i> (Vieillot 1817)	1,2,3,4	MPR		X	X	X	X		L	INS		LC
<i>Progne tapera</i> (Vieillot 1817)	1	MPR		X	X		X		L	INS		LC
<i>Hirundo rustica</i> (Linnaeus 1758)	4	MGT		X	X		X		L	INS		LC
Troglodytidae												
<i>Troglodytes musculus</i> (Naumann 1823)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	INS		LC
Turdidae												
<i>Turdus leucomelas</i> (Vieillot 1818)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	OMN		LC
<i>Turdus amaurochalinus</i> (Cabanis 1850)	1,3,4	MPR		X	X	X	X	X	L	OMN		LC
<i>Turdus subalaris</i> (Seeböhm 1887)	1,3	MPR		X		X			L	OMN		LC
Mimidae												
<i>Mimus saturninus</i> (Lichtenstein 1823)	1,2,3,4			X	X		X		L	OMN		LC
Passerellidae												
<i>Zonotrichia capensis</i> (Müller 1776)	1,2,3,4			X	X		X	X	L	GRA		LC
<i>Ammodramus humeralis</i> (Bosc 1792)	1,2,3,4			X			X		L	GRA		LC
<i>Arremon flavirostris</i> (Swainson 1838)	1,2,3,4			X	X	X			M	INS		LC
Parulidae												
<i>Setophaga pitiauyumi</i> (Vieillot 1817)	1,2,3,4			X	X	X		X	M	INS		LC
<i>Basileuterus culicivorus</i> (Deppe 1830)	1,2,3,4			X	X	X		X	M	INS		LC
<i>Myiothlypis flaveola</i> (Baird 1865)	1,2,3,4			X	X	X		X	M	INS		LC
Icteridae												
<i>Icterus pyrrhopterus</i> (Vieillot 1819)	2,3,4			X			X		M	OMN		LC
<i>Molothrus bonariensis</i> (Gmelin 1789)	1,4			X					L	OMN		LC
Thraupidae												
<i>Pipraeidea melanonota</i> (Vieillot 1819)	1			X		X			L	OMN		LC
<i>Tangara sayaca</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	OMN		LC
<i>Tangara cayana</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	M	OMN		LC
<i>Nemosia pileata</i> (Boddaert 1783)	1,2,3,4			X		X		X	L	OMN		LC
<i>Conirostrum speciosum</i> (Temminck 1824)	1,2,3,4			X		X	X		L	OMN		LC
<i>Sicalis flaveola</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4						X		L	OMN		LC
<i>Sicalis luteola</i> (Sparman 1789)	1,4						X		L	OMN		LC
<i>Hemithraupis guira</i> (Linnaeus 1766)	1,2,4			X		X			L	OMN		LC
<i>Volatinia jacarina</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4			X	X		X	X	L	GRA		LC
<i>Coryphospingus cucullatus</i> (Müller 1776)	1,2,3,4			X	X	X	X		L	GRA		LC
<i>Tersina viridis</i> (Illiger 1811)	3	MPR*		X					L	OMN		LC
<i>Dacnis cayana</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4			X		X	X		L	OMN		LC
<i>Sporophila lineola</i> (Linnaeus 1758)	4	MPR		X	X		X		L	GRA		LC
<i>Sporophila caerulea</i> (Vieillot 1823)	1,3,4	MPR*		X	X	X	X	X	L	GRA		LC
<i>Emberizoides herbicola</i> (Vieillot 1817)	1,3						X		L	OMN		LC
Cardinalidae												
<i>Piranga flava</i> (Vieillot 1822)	1,3			X			X	X	L	OMN		LC
Fringillidae												
<i>Spinus magellanicus</i> (Vieillot 1805)	4						X			GRA		LC
<i>Euphonia chlorotica</i> (Linnaeus 1766)	1,2,3,4			X	X	X	X	X	L	OMN		LC

Appendix 2. Amphibians and reptiles registered on Assis State Forest in each campaign (1 - August 2017; 2 - May 2018; 3 - October 2018; 4 - January and February 2019), for each sampling area (A1 - Cerradão; A2 - One year restoration; A3 - Five-year restoration; A0 - Occasional encounters and anthropic areas). Endemism (CE = endemic to the Cerrado). Secondary Data (Mgmt. Plan = Recorded on Assis Ecological Station's (AES) Management Plan (Araujo e Cortez, 2010); AA = Araujo e Almeida-Santos (2011); BE = Bertoluci et al. (2007). Cons. status = Conservation status (SP/IUCN= EN = Ameaçado; LC = least concerned).

Apêndice 2. Anfíbios e répteis registrados na Floresta Estadual de Assis em cada campanha (1 - agosto 2017; 2 - maio 2018; 3 - outubro 2018; 4 - janeiro e fevereiro 2019), para cada área de amostragem (A1 - Cerradão; A2 - Restauração com um ano; A3 - Restauração com cinco anos; A0 - Encontros ocasionais e áreas antrópicas). Endemismo (CE = endêmico para o Cerrado). Dados secundários (Mgmt. Plano = Registrado no Plano de Gerenciamento da Estação Ecológica de Assis (AES) (Antunes Araujo e Cortez, 2010); AA = Araujo e Almeida-Santos (2011); BE = Bertoluci et al. (2007). Cons. status = Status de conservação (SP/IUCN= PT = Ameaçado; LC = menos preocupado).

Taxon	Camp.	End.	Area				Secondary Data			Cons. Status	
			A1	A2	A3	A0	Mgmt. Plan (AES)	AA	BE	SP	IUCN
Anura											
Bufonidae											
Rhinella diptycha (Cope 1862)	1, 3, 4		X		X	X	X	X	X		LC
Hylidae											
Dendropsophus minutus (Peters 1872)	1, 2, 3, 4			X		X	X	X	X		LC
Dendropsophus nanus (Boulenger 1889)	3, 4					X	X	X	X		LC
Boana albopunctata (Spix 1824)	1, 2, 3, 4			X		X	X	X	X		LC
Boana caingua (Carrizo 1991)	2					X	X	X			LC
Boana faber (Wied-Neuwied 1821)	3, 4					X	X	X	X		LC
Boana lundii (Burmeister 1856)	2, 3, 4	CE		X		X	X	X	X		LC
Scinax fuscomarginatus (Lutz 1925)	1, 3					X	X	X	X		LC
Scinax fuscovarius (Lutz 1925)	1, 2, 3, 4		X	X	X	X	X	X	X		LC
Leptodactylidae											
Leptodactylus furnarius (Sazima and Bokermann 1978)	1, 2, 3, 4	CE		X		X	X	X			LC
Leptodactylus fuscus (Schneider 1799)	3, 4		X	X		X	X	X	X		LC
Leptodactylus labyrinthicus (Spix 1824)	1, 3, 4			X		X	X	X	X		LC
Leptodactylus latrans (Steffen 1815)	1, 3, 4					X	X	X			LC
Leptodactylus mystacinus (Burmeister 1861)	1, 3, 4			X		X	X	X	X		LC
Leptodactylus podicipinus (Cope 1862)	1, 3, 4			X	X	X	X	X	X		LC
Physalaemus centralis (Bokermann 1962)	1, 3	CE				X		X			LC
Physalaemus cuvieri (Fitzinger 1826)	1, 3, 4					X	X	X	X		LC
Physalaemus marmoratus (Reinhardt & Lütken 1862)	1, 2, 3	CE			X		X	X	X		LC
Physalaemus nattereri (Steindachner 1863)	1, 3, 4	CE	X	X	X	X	X	X	X		LC
Microhylidae											
Elachistocleis bicolor (Guérin-Meneville 1838)	3				X	X	X	X	X		LC
Phyllomedusidae											
Phyllomedusa tetraploidea (Pombal and Haddad 1992)	1, 3, 4					X	X	X	X		LC
Phyllomedusa tetraploidea (Pombal and Haddad 1992)	1, 3, 4					X	X	X	X		LC

to be continued
continua

continuation – Appendix 2
 continuação – Apêndice 2

Taxon	Camp.	End.	Area				Secondary Data			Cons. Status	
			A1	A2	A3	A0	Mgmt. Plan (AES)	AA	BE	SP	IUCN
Reptilia											
Squamata											
Anguidae											
Ophiodes striatus (Spix 1824)	1, 2, 3, 4		X	X	X		X	X			LC
Mabuyidae											
Notomabuya frenata (Cope 1862)	4		X				X	X			LC
Teiidae											
Ameiva ameiva (Linnaeus 1758)	1, 2, 3, 4		X	X	X	X	X	X			LC
Ameivula gr. ocellifera (Spix 1825)	3, 4			X			X	X		EN	LC
Kentropyx paulensis (Boettger 1893)	4	CE		X						EN	LC
Salvator merianae (Duméril & Bibron 1839)	3, 4		X		X		X	X			LC
Boidae											
Boa constrictor (Linnaeus 1758)	4		X				X	X			LC
Dipsadidae											
Dipsas indica (Laurenti 1768)	1			X							LC
Erythrolamprus poecilogyrus (Wied-Neuwied 1825)	4				X			X			NE
Oxyrhopus petola (Linnaeus 1758)	3					X	X	X			LC
Phalotris mertensi (Hoge 1955)	3					X	X	X			NE
Philodryas olfersii (Lichtenstein 1823)	1					X	X	X			LC
Philodryas patagoniensis (Girard 1858)	3			X			X	X			LC
Pseudoboa nigra (Duméril Bibron & Duméril 1854)	2					X					LC
Viperidae											
Bothrops moojeni (Hoge 1966)	1, 3		X				X	X			NE
Bothrops pauloensis (Amaral 1925)	2, 3	CE	X			X		X			LC
Crotalus durissus (Linnaeus 1758)	2, 3, 4		X			X	X	X			LC

Appendix 3. Mammals registered on Assis State Forest in each campaign (1 - August 2017; 2 - May 2018; 3 - October 2018; 4 - January and February 2019), for each sampling area (A1 - Cerradao; A2 - One year restoration; A3 - Five-year restoration; A0- Occasional encounters). Endemism (CE = endemic to the Cerrado; BR = endemic to Brazil). Mgmt. Plan = Recorded on (AES) Assis Ecological Station's (Port-Carvalho e Garrido, 2010) or on (AFS) Assis State Forest's (Max et al., 2007) Management Plan. Diet = main feeding guild according to Paglia et al. (2012) (OMN = omnivore; FRU = frugivorous; CAR = carnivore; HER = herbivore; INS = insectivore; GRA = granivore). CITES appendices (I, II, III). Cons. status = Conservation status (SP/IUCN; LC = least concern; NT = near threatened; DD = data deficient). * = small mammal (adult weighing less than one kilogram); † = exotic or invasive species.

Apêndice 3. Mamíferos registrados na Floresta Estadual de Assis em cada campanha (1 - agosto 2017; 2 - maio 2018; 3 - outubro 2018; 4 - janeiro e fevereiro 2019), para cada área de amostragem (A1 - Cerradão; A2 - Restauração com um ano; A3 - Restauração com cinco anos; A0 - Encontros ocasionais). Endemismo (CE = endêmico para o Cerrado; BR = endêmico para o Brasil). Mgmt. Plano = registrado no Plano de Manejo da Estação Ecológica de Assis (AES) (Port-Carvalho e Garrido 2010) ou da Floresta Estadual de Assis (AFS) (Max et al., 2007). Dieta = principal guilda alimentar segundo Paglia et al. (2012) (OMN = omnívoro; FRU = frugívoro; CAR = carnívoro; HER = herbívoro; INS = insetívoro; GRA = granívoro). Apêndices da CITES (I, II, III). Cons. status = Conservation status (SP/IUCN; LC = least concern; NT = near threatened; DD = data deficient). * = mamífero pequeno (adulto pesando menos de um quilograma); † = espécies exóticas ou invasoras.

Taxon	Camp.	End.	Mgmt. Plan		Area			Diet	CITES	Cons. status	
			AES	ASF	A1	A2	A3/ A0			SP	IUCN
Didelphimorphia											
Didelphidae											
<i>Cryptonanus agricolai</i> (Moojen 1943)*	2					X		FRU/ OMN			DD
<i>Didelphis albiventris</i> (Lund 1840)	1, 2, 4		X	X	X	X	X	FRU/ OMN			LC
<i>Gracilinanus</i> spp.*	4				X	X					
Cingulata											
Dasypodidae											
<i>Cabassous unicinctus</i> (Linnaeus 1758)	1, 2, 3, 4		X		X	X	X	INS			LC
<i>Dasypus novemcinctus</i> (Linnaeus 1758)	1, 2, 3, 4		X		X	X	X	INS/ OMN			LC
<i>Dasypus septemcinctus</i> (Linnaeus 1758)	3, 4				X	X	X	INS/ OMN			LC
<i>Euphractus sexcinctus</i> (Linnaeus 1758)	1, 2, 3, 4		X			X	X	INS/ OMN			LC
Pilosa											
Myrmecophagidae											
<i>Tamandua tetradactyla</i> (Linnaeus 1758)	1, 2, 3, 4		X	X	X	X		INS			LC
Rodentia											
Caviidae											
<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i> (Linnaeus 1766)	1, 2, 3, 4		X	X		X	X	HER			LC
Cricetidae											
<i>Akodon</i> spp.*	1, 2, 3					X	X				
<i>Calomys tener</i> (Winge 1887)*	1					X		FRU/ OMN			LC
<i>Cerradomys</i> spp.*	3, 4				X						
<i>Necomys lasiurus</i> (Lund 1840)*	1, 3						X	GRA/ INS			LC
<i>Oligoryzomys flavescens</i> (Waterhouse 1837)*	1				X	X		GRA/ INS			LC
<i>Oligoryzomys nigripes</i> (Olfers 1818)*	1				X			GRA/ INS			LC
Dasyproctidae											
<i>Dasyprocta azarae</i> (Lichtenstein 1823)	1, 4		X	X	X		X	FRU/ GRA			DD

to be continued
continua

continuation – Appendix 3
 continuação – Apêndice 3

Taxon	Camp.	End.	Mgmt. Plan		Area			Diet	CITES	Cons. status	
			AES	ASF	A1	A2	A3/ A0			SP	IUCN
Myocastoridae											
Myocastor coypus (Molina 1782)	1, 3			X			X	FRU/ OMN			LC
Lagomorpha											
Leporidae											
Lepus europaeus (Pallas 1778)†	1, 2, 3, 4		X		X	X	X	HER			LC
Sylvilagus brasiliensis (Linnaeus 1758)	2, 3, 4			X		X	X	HER			EN
Carnivora											
Felidae											
Felis cattus (Linnaeus 1758)†	3, 4					X	X	CAR			
Leopardus pardalis (Linnaeus 1758)	1, 2		X	X	X	X		CAR	I	VU	LC
Leopardus spp.	3, 4				X	X	X	CAR			
Puma concolor (Linnaeus 1771)	1, 3, 4		X		X	X	X	CAR	I	VU	LC
Canidae											
Canis lupus familiaris (Linnaeus 1758)†	1, 2, 3, 4		X		X	X	X	CAR/ OMN			
Cerdocyon thous (Linnaeus 1766)	1, 2, 3, 4		X	X	X	X	X	INS/ OMN	II		LC
Procyonidae											
Nasua nasua (Linnaeus 1766)	1, 2, 3, 4		X	X	X	X	X	FRU/ OMN			LC
Procyon cancrivorus (G. Cuvier 1798)	3, 4		X		X	X	X	FRU/ OMN			LC
Mustelidae											
Eira barbara (Linnaeus 1758)	2, 3, 4		X	X	X	X	X	FRU/ OMN			LC
Artiodactyla											
Cervidae											
Mazama gouazoubira (G. Fischer 1814)	1, 2, 3, 4		X	X	X	X	X	FRU/ HER			LC



IPA
INSTITUTO DE
PESQUISAS AMBIENTAIS


SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO

| Secretaria de
Infraestrutura e Meio Ambiente