ROBSON JOSÉ DE OLIVEIRA
(Organizador)

PLANEJAMENTO

INTEGRAÇÃO LAVOURA - PECUÁRIA - FLORESTA

desafios, perspectivas, retrocessos e avanços

editora
científica digital

ROBSON JOSÉ DE OLIVEIRA
(Organizador)

ILPDE

INTEGRAÇÃO LAVOURA - PECUÁRIA - FLORESTA

desafios, perspectivas, retrocessos e avanços

1ª EDIÇÃO

editora
científica digital

2021 - GUARUJÁ - SP

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

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

Parecer e revisão por pares

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

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

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

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

I61

ILPF – Integração Lavoura Pecuária Floresta [livro eletrônico] : desafios, perspectivas, retrocessos e avanços / Organizador Robson José de Oliveira. – Guarujá, SP: Científica Digital, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-89826-88-0

DOI 10.37885/978-65-89826-88-0

1. Agroindústria. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Agricultura. I. Oliveira, Robson José de.

CDD 338.1

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

E-BOOK
ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2021

CORPO EDITORIAL

Direção Editorial

Reinaldo Cardoso

João Batista Quintela

Editor Científico

Prof. Dr. Robson José de Oliveira

Assistentes Editoriais

Erick Braga Freire

Bianca Moreira

Sandra Cardoso

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior - CRB6/2422

Jurídico

Dr. Alandelon Cardoso Lima - OAB/SP-307852

CONSELHO EDITORIAL

MESTRES, MESTRAS, DOUTORES E DOUTORAS

Robson José de Oliveira

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Eloisa Rosotti Navarro

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Rogério de Melo Grillo

Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Carlos Alberto Martins Cordeiro

Universidade Federal do Pará, Brasil

Ernane Rosa Martins

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

Rossano Sartori Dal Molin

FSG Centro Universitário, Brasil

Domingos Bombo Damião

Universidade Agostinho Neto, Angola

Carlos Alexandre Oelke

Universidade Federal do Pampa, Brasil

Patrício Francisco da Silva

Universidade CEUMA, Brasil

Reinaldo Eduardo da Silva Sales

Instituto Federal do Pará, Brasil

Dalízia Amaral Cruz

Universidade Federal do Pará, Brasil

Susana Jorge Ferreira

Universidade de Évora, Portugal

Fabricao Gomes Gonçalves

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Erival Gonçalves Prata

Universidade Federal do Pará, Brasil

Gevair Campos

Faculdade CNEC Unaí, Brasil

Flávio Aparecido De Almeida

Faculdade Unida de Vitória, Brasil

Mauro Vinicius Dutra Girão

Centro Universitário Ita, Brasil

Clóvis Luciano Giacomet

Universidade Federal do Amapá, Brasil

Giovanna Moraes

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

André Cutrim Carvalho

Universidade Federal do Pará, Brasil

Silvani Verruck

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Auristela Correa Castro

Universidade Federal do Pará, Brasil

Osvaldo Contador Junior

Faculdade de Tecnologia de Jahu, Brasil

Claudia Maria Rinhel-Silva

Universidade Paulista, Brasil

Dennis Soares Leite

Universidade de São Paulo, Brasil

Silvana Lima Vieira

Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Cristina Berger Fadel

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Graciete Barros Silva

Universidade Estadual de Roraima, Brasil

Juliana Campos Pinheiro

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Cristiano Marins

Universidade Federal Fluminense, Brasil

Silvio Almeida Junior

Universidade de Franca, Brasil

Raimundo Nonato Ferreira Do Nascimento

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva

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

Carlos Roberto de Lima

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

editora
científica digital

Daniel Luciano Gevehr

Faculdades Integradas de Taquara, Brasil

Maria Cristina Zago

Centro Universitário UNIFAAT, Brasil

Wesley Viana Evangelista

Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil

Samylla Maira Costa Siqueira

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Gloria Maria de Franca

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Antônio Marcos Mota Miranda

Instituto Evandro Chagas, Brasil

Carla da Silva Sousa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Dennys Ramon de Melo Fernandes Almeida

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Francisco de Sousa Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Reginaldo da Silva Sales

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

Mário Celso Neves De Andrade

Universidade de São Paulo, Brasil

Maria do Carmo de Sousa

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Mauro Luiz Costa Campello

Universidade Paulista, Brasil

Sayonara Cotrim Sabioni

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Ricardo Pereira Sepini

Universidade Federal de São João Del-Rei, Brasil

Flávio Campos de Moraes

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Sonia Aparecida Cabral

Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, Brasil

Jonatas Brito de Alencar Neto

Universidade Federal do Ceará, Brasil

Moisés de Souza Mendonça

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

Pedro Afonso Cortez

Universidade Metodista de São Paulo, Brasil

Iara Margolis Ribeiro

Universidade do Minho, Brasil

Juliano Pizzano Ayoub

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

Vitor Afonso Hoeflich

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Bianca Anacleto Araújo de Sousa

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

Bianca Cerqueira Martins

Universidade Federal do Acre, Brasil

Daniela Remião de Macedo

Faculdade de Belas Artes da Universidade de Lisboa, Portugal

Dioniso de Souza Sampaio

Universidade Federal do Pará, Brasil

Rosemary Laís Galati

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Maria Fernanda Soares Queiroz

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Leonardo Augusto Couto Finelli

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

Thais Ranielle Souza de Oliveira

Centro Universitário Euroamericano, Brasil

Alessandra de Souza Martins

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Claudiomir da Silva Santos

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

Fabício dos Santos Ritá

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

Danielly de Sousa Nóbrega

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

Livia Fernandes dos Santos

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

Liege Coutinho Goulart Dornellas

Universidade Presidente Antônio Carlos, Brasil

Ticiano Azevedo Bastos

Secretaria de Estado da Educação de MG, Brasil

Walmir Fernandes Pereira

Miami University of Science and Technology, Estados Unidos da América

Jónata Ferreira De Moura

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Camila de Moura Vogt

Universidade Federal do Pará, Brasil

José Martins Juliano Eustaquio

Universidade de Uberaba, Brasil

Adriana Leite de Andrade

Universidade Católica de Petrópolis, Brasil

Francisco Carlos Alberto Fonteles Holanda

Universidade Federal do Pará, Brasil

Bruna Almeida da Silva

Universidade do Estado do Pará, Brasil

Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco

Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Brasil

Ronei Aparecido Barbosa

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

Julio Onésio Ferreira Melo

Universidade Federal de São João Del Rei, Brasil

Juliano José Corbi

Universidade de São Paulo, Brasil

Thadeu Borges Souza Santos

Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho

Universidade Federal do Cariri, Brasil

Francine Náthalie Ferraresi Rodrigues Queluz

Universidade São Francisco, Brasil

Maria Luzete Costa Cavalcante

Universidade Federal do Ceará, Brasil

Luciane Martins de Oliveira Matos

Faculdade do Ensino Superior de Linhares, Brasil

Rosenery Pimentel Nascimento

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Irlane Maia de Oliveira

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Lívia Silveira Duarte Aquino

Universidade Federal do Cariri, Brasil

Xaene Maria Fernandes Mendonça

Universidade Federal do Pará, Brasil

Thaís de Oliveira Carvalho Granado Santos

Universidade Federal do Pará, Brasil

Fábio Ferreira de Carvalho Junior

Fundação Getúlio Vargas, Brasil

Anderson Nunes Lopes

Universidade Luterana do Brasil, Brasil

Carlos Alberto da Silva

Universidade Federal do Ceará, Brasil

Keila de Souza Silva

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

Francisco das Chagas Alves do Nascimento

Universidade Federal do Pará, Brasil

Réia Sílvia Lemos da Costa e Silva Gomes

Universidade Federal do Pará, Brasil

Arinaldo Pereira Silva

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil

Laís Conceição Tavares

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

Ana Maria Aguiar Frias

Universidade de Évora, Brasil

Willian Douglas Guilherme

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Evaldo Martins da Silva

Universidade Federal do Pará, Brasil

Biano Alves de Melo Neto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Antônio Bernardo Mendes de Seica da Providência Santarém

Universidade do Minho, Portugal

Valdemir Pereira de Sousa

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Sheylla Susan Moreira da Silva de Almeida

Universidade Federal do Amapá, Brasil

Miriam Aparecida Rosa

Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil

Rayme Tiago Rodrigues Costa

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

Priscyla Lima de Andrade

Centro Universitário UniFBV, Brasil

Andre Muniz Afonso

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

Gabriel Jesus Alves de Melo

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

Deise Keller Cavalcante

Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro

Larissa Carvalho de Sousa

Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal

Daniel dos Reis Pedrosa

Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil

Wiaslan Figueiredo Martins

Instituto Federal Goiano, Brasil

Lênio José Guerreiro de Faria

Universidade Federal do Pará, Brasil

Tamara Rocha dos Santos

Universidade Federal de Goiás, Brasil

Marcos Vinicius Winckler Caldeira

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Gustavo Soares de Souza

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

Adriana Cristina Bordignon

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Norma Suely Evangelista-Barreto

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil

Larry Oscar Chañi Paucar

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Peru

Pedro Andrés Chira Oliva

Universidade Federal do Pará, Brasil

Daniel Augusto da Silva

Fundação Educacional do Município de Assis, Brasil

Aleteia Hummes Thaines

Faculdades Integradas de Taquara, Brasil

Elisângela Lima Andrade

Universidade Federal do Pará, Brasil

Reinaldo Pacheco Santos

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil

Cláudia Catarina Agostinho

Hospital Lusíadas Lisboa, Portugal

Carla Cristina Bauermann Brasil

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Humberto Costa

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Ana Paula Felipe Ferreira da Silva

Universidade Potiguar, Brasil

Ernane José Xavier Costa

Universidade de São Paulo, Brasil

Fabricia Zanelato Bertolde

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Eliomar Viana Amorim

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Nássarah Jabur Lot Rodrigues

Universidade Estadual Paulista, Brasil

José Aderval Aragão

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

Caroline Muñoz Cevada Jeronymo

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

Aline Silva De Aguiar

Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil

Renato Moreira Nunes

Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil

Júlio Nonato Silva Nascimento

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

Cybelle Pereira de Oliveira

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Cristianne Kalinne Santos Medeiros

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Fernanda Rezende

Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Estudo em Educação Ambiental, Brasil

Clara Mockdece Neves

Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil

APRESENTAÇÃO

Esta obra constituiu-se a partir de um processo colaborativo entre professores, estudantes e pesquisadores que se destacaram e qualificaram as discussões neste espaço formativo. Resulta, também, de movimentos interinstitucionais e de ações de incentivo à pesquisa que congregam pesquisadores das mais diversas áreas do conhecimento e de diferentes Instituições de Educação Superior públicas e privadas de abrangência nacional e internacional. Tem como objetivo integrar ações interinstitucionais nacionais e internacionais com redes de pesquisa que tenham a finalidade de fomentar a formação continuada dos profissionais da educação, por meio da produção e socialização de conhecimentos das diversas áreas do Saberes.

Agradecemos aos autores pelo empenho, disponibilidade e dedicação para o desenvolvimento e conclusão dessa obra. Esperamos também que esta obra sirva de instrumento didático-pedagógico para estudantes, professores dos diversos níveis de ensino em seus trabalhos e demais interessados pela temática.

Robson José de Oliveira

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01

ASSESSING THE DEPENDENCE AND PRESSURE ON FOREST RESOURCES IN LIMPOPO NATIONAL PARK (MOZAMBIQUE): THE CASE OF MOPANE WOODLANDS

Vilela João de Sousa; Cristiano Pires; Coert J. Geldenhuys; Albano Figueiredo

doi 10.37885/210504745..... 12

CAPÍTULO 02

ATIVIDADE BIOQUÍMICA DO SOLO É AFETADA PELA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA, PECUÁRIA E FLORESTA

Patrícia Martins Gomes; Leciana de Menezes Sousa Zago; Samantha Salomão Caramori

doi 10.37885/211106809..... 32

CAPÍTULO 03

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA PALMA FORRAGEIRA CV. ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE PLANTAS NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE

Francisca Emanuela Rodrigues de Abreu; Wanderson Fiares de Carvalho; Daniel Medeiros de Noronha Albuquerque; Marcos Neves Lopes; Maria do Socorro de Souza Menezes; Kátia Regina Ferreira Sousa; Átila Nogueira Holanda; Thayane Sterffany Barbosa da Silva

doi 10.37885/211106637..... 48

CAPÍTULO 04

DESMATAMENTO E POLÍTICAS CLIMÁTICAS NO BRASIL: O PAPEL DO INCENTIVO A UMA AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO

Jonathan Gonçalves da Silva; Roselaine Bonfim de Almeida; Juliano dos Santos Cardoso

doi 10.37885/211006306..... 62

CAPÍTULO 05

INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SOB SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Pedro Luan Ferreira da Silva; Flávio Pereira de Oliveira; Adriana Ferreira Martins; André Julio do Amaral; Danillo Dutra Tavares; Alison José da Silva

doi 10.37885/211106837..... 86

SUMÁRIO

CAPÍTULO 06

INTERAÇÃO ENTRE ENDOMICORRIZAS E MYRTACEAE NATIVAS NO RIO GRANDE DO SUL

Daiane Silva Lattuada; Sandra Rieth; Marina Martinello Back; Paulo Vitor Dutra de Souza

10.37885/211106686 99

CAPÍTULO 07

SUPERAÇÃO DA DORMÊNCIA DE SEMENTES DE CEDRO ROSADO (*ACROCARPUS FRAXINIFOLIUS* WIGHT ET. ARN.)

Flávio Pereira Silva; Robson José de Oliveira; Giovani Levi Sant'anna; Paula Barbosa dos Santos

10.37885/210604979 112

CAPÍTULO 08

TERMOTERAPIA NA SUPERAÇÃO DE DORMÊNCIA DE SEMENTES DE FLAMBOYANT (*DELONIX REGIA*) (BOJER EX HOOK) RAF.

Raphael Barbosa Lobo; José Teodoro Silva Novaes; Mateus Pereira dos Santos; Beatriz Sousa Coelho; Gisele Brito Rodrigues

10.37885/211106742 121

SOBRE O ORGANIZADOR 127

ÍNDICE REMISSIVO 128

Assessing the dependence and pressure on forest resources in Limpopo National Park (Mozambique): the case of Mopane woodlands

| Vilela João de Sousa

| Cristiano Pires

| Coert J. Geldenhuys

| Albano Figueiredo

ABSTRACT

Mopane woodland is dominated by Mopane, *Colophospermum mopane* (Kirk ex Benth ex J. Leonard), a strongly light-demanding tree species. This study was carried out in Limpopo National Park (LNP), Mozambique, where communities living under extremely low socio-economic conditions, depend on Mopane woodland for fuel wood and poles, and other traditional activities such as agriculture. This study focused on assessing how resource use dependence and pressure affect the structural composition and regeneration status of Mopane woodland across different identified species associations under different land use and stand development stages. An inventory was carried out to collect data from 50 temporary plots covering four stand development stages. Population structure of Mopane and other species showed variation related to different land use practices, even-aged stand development stages, canopy and sub-canopy tree species and regeneration. Mopane and other canopy tree species in stand development stages 3 and 4 showed a good spread of stems from 9 cm DBH and larger. Stand development stages 1 and 2 showed a higher concentration of trees in sizes <4m height (good regeneration) with few larger stems. Identified ecosystem dynamics of Mopane woodland provide a basis for sustainable resource use management strategies for harvesting Mopane products for building material and firewood and clearing for crop cultivation. Areas need to be zoned for each activity to allow for a quick system recovery and to contribute to woodland productivity, quality products and reducing used areas.

Keywords: *Colophospermum Mopane*, Sustainability, Conservation, Distribution, Diversity.

■ INTRODUCTION

The general perception is that rural resource use and changed land use can cause the degradation and loss of resources and biodiversity, and fragmentation of the resource base (Campbell, 1996, Burgess *et al.*, 2004, Chidumayo & Gumbo, 2010, Ribeiro *et al.*, 2015, Syampungani *et al.*, 2016, Chichinye *et al.*, 2019). However, seasonal woodlands (dry forests) in Africa contribute to the livelihoods of millions of rural people, which reinforces the need for sustainable resource use management (Kowero, 2011). Such woodlands cover extensive areas within the Zambezian Center of Endemism in southern Africa: Mopane woodland, Miombo woodland and Undifferentiated Zambezian woodland are the three main components of the Zambezian woodlands (White, 1983, Geldenhuys & Golding, 2008, Geldenhuys, 2015).

Mopane woodland is dominated by *Colophospermum mopane*, one of the best-known and valuable tree species indigenous to Southern Africa. It extends over 550.000 km² within the Zambezian woodlands, and forms one of 11 eco-regions in Mozambique. Mopane plays a major ecological and social-economic role in the region. It is a unique species which grows in pure stands in hot and dry landscapes and soils (Chidumayo, 2013). It can occur as tall trees of up to 20 m or shorter trees of 2-5 to 10 m, or as Shrubland Mopane within the Zambezi valley (Timberlake, 1996; Marzoli, 2007, Sitoe *et al.*, 2012). The leaves release a sweet substance known as *Arytaina mopane* that attracts endangered and vulnerable species such as baboons, monkeys, birds, and large herbivores such as elephant, black rhino and kudu (Makhado *et al.*, 2014). It is also used as fodder for livestock. The Mopane worm (*Imbrasia belina*) is used as supplementary diet resource and supports over 10,000 people with income exceeding \$3000 per annum (Ghazoul *et al.* 2016). The medicinal benefits are also significant. The *C. mopane* protects the dry and clay-rich soils from erosion (Ribeiro *et al.*, 2015).

In the Limpopo National Park (LNP) in Mozambique, Mopane woodland, dominated by *Colophospermum mopane*, is one of the main vegetation formations. People depend on traditional slash and burn agriculture, and extensive areas of Mopane woodland are cut to open agricultural areas. In these areas all trees are burned to fertilize the areas and increase crop production. Crop production is good during the early years, but over time production declines, fields are abandoned, and new areas are opened (Geldenhuys, 2015). The unremoved rootstocks regenerate and regrow a vegetation system with trees at different stages of development. In the early stages, the vegetation looks degraded or deforested. Four general stand development stages for woodlands (a fifth stage, preceding Stage 1, can be considered) were defined based on factors such as stand height, stem density, number of stems per plant, crown shape, and dominant species, and relate to the use value of the stems in each development stage (Geldenhuys, 2014; see Figure 4 for Mopane woodland). Each stage may have sub-stages present (Geldenhuys & Monareng, 2020):

Stage 1 is the initial recovery stage of Mopane in abandoned cultivation areas, with many small trees and multiple stems developing on cut stumps and rootstocks. Tree height is up to 2 m and stem diameter is generally <2 cm. Stage 2 is an intermediate stage, with many small dead stems and focus of growth in stronger growing stems and fewer stems per plant. Stand height varies between 2.5 m and 4 m and mean stem diameter is 2 to 5 cm. Stage 3 is advanced secondary woodland with young trees in a wide range of stem diameters between stage 2 and stage 4 and up to about 25 cm, and fewer stems per plant. Tree height varies from 4.5 m to 6 m. Tree crowns still show a cone shape. Stage 4 is a mature woodland with canopy trees developing spreading, umbrella-shaped crowns, with stem diameter >25 cm and canopy height >7 m.

Forest degradation is a temporary or permanent change in species composition, stand structure, and biomass through different uses such as logging, hunting, and opening of agricultural areas, or fires (Chazdon, 2016). Most forest systems in southern Africa can recover and adapt after cessation of a disturbance through regeneration from seed or vegetative sprouting from cut stumps and rootstocks, contributing to the presence of a mosaic of habitats and a more diversified landscape (Chidumayo & Gumbo, 2010; Chirwa *et al.*, 2015, De Carvalho, 2016). Geldenhuys (2015) indicated that what looks good, such as mature woodland in protected areas, may be ecologically bad, but what looks bad, such as a fragmented landscape in different stages of clearing and recovery, may be ecologically very good. Woodland areas in recovery over a period of 15+, showed the best recovery of plant diversity, productivity and resource use value after charcoal production and traditional slash-and-burn agriculture, when compared to single-tree timber harvesting and protection (Syamopungani *et al.*, 2016; Chichinye *et al.* 2019).

Successful regeneration varies with the magnitude and impact of different anthropogenic and natural disturbances (Rutherford *et al.*, 2012; Chazdon, 2016, Makhado *et al.*; 2018) that contribute to differences in stem size class distribution (Profile) of dominant tree species and the system. The general shapes are the Bell-shaped and Negative exponential or Inverse J-shaped profiles (Geldenhuys, 2010, Syampungani *et al.*, 2016, Chichinye *et al.*, 2019). The bell-shaped profile represents a low density of stems in the smaller and larger size classes, with a higher density in the intermediate size classes. Such profiles represent sporadic good conditions for regeneration, such as large gaps for strongly light demanding species, or cessation of fire for fire-sensitive species. Stems in such sporadic regeneration events are even-aged, but some stems grow much faster than the average stems, and some become suppressed and may not grow and die. The Inverse J-shaped profile represents a high density of stems in the smaller size classes, through regular regeneration, with a continuous decline

in stem density towards the larger size classes. A Static profile has few stems in most size classes because of irregular regeneration (Geldenhuys, 2010).

Excessive protectionism inhibit the regeneration of the many light-demanding tree species of these woodlands (Geldenhuys, 2010, 2015). This was shown in a time series study in Zambian Miombo woodland over a period of 15 years after specific land uses were abandoned (Syampungani *et al.*, 2016). Recovery of regeneration of canopy tree species, biodiversity and system productivity was better in charcoal and slash-and-burn agricultural areas, because many species are strongly light-demanding. Similar findings were reported by Gondwe (2020) in a study in Malawian Miombo woodland, comparing recovery of species composition between co-managed and government managed (protected) reserves. Recovery through regeneration of the many lighth-demanding canopy species were best in areas disturbed through collection of trees for firewood and construction material, and abandoned cultivation areas. In Zimbabwean Undifferentiated Zambebian Woodland, Chichinye *et al.* (2019) showed that some light-demanding species, such as *Pterocarpus angolensis*, regenerated more effectively in disturbed areas after harvesting of timber, poles and firewood.

The population status of individual species and floristic-structural composition of the tree system are affected by the natural and anthropogenic disturbance-recovery processes operating in the system. The three main anthropogenic drivers of perceived woodland degradation in southern Africa are the harvesting of poles and fuel wood and clearing of woodland for growing of crops. It is important to understand how such practices affect the structural composition of Mopane woodland and its dominant species. Most such studies focused on Miombo woodland but very few studies were done on the impact of resource use and land use changes on Mopane woodland. Little is known of the factors that determine the biodiversity (species composition), eco-physiological characteristics (foliage nutrient quality, and phenology) and structure (stem density, height,) of Mopane woodlands in Mozambique. No studies were done on the impact of land use activities on species composition, stand structure and regeneration dynamics of Mopane woodlands in Mozambique. The assumption is that the biodiversity and regeneration of Mopane woodlands in LNP in Mozambique is affected by both natural factors (sites factors such as climate, topography and soils, and disturbance-recovery processes), and anthropogenic factors (resource use, clearing). This variation in vertical structure is unclear although some studies point to landscape, soil type, moisture and anthropogenic activities (Ribeiro, *et al.*, 2015). Observations suggest that Mopane is a strongly light-demanding species and successful regeneration requires large gaps (Geldenhuys & Monareng, 2020).

Therefore, there is need for detailed studies on *C. mopane* distribution, diversity and population structure to provide policy direction on management and conservation of Mopane

woodland. Other knowledge gaps include studies on biomass and carbon recovery in Mopane woodland to predict the stock density and ecosystem resilience (Ribeiro *et al.*, 2015), together with studies on land use land cover change, to help to understand the effects of anthropogenic activities on biodiversity, structure and spatial characteristics of Mopane under different land use regimes and stage of recovery development. Mopane has many uses (exploration of biofuels, timber, agriculture, food, etc.) which reflect a certain socio-economic and cultural dynamics, but with few studies (Musvato *et al.*, 2007; Makhado *et al.*, 2012; Makhado *et al.*, 2014, Ryan *et al.*, 2016) and with few analyses in the context of Mopane woodland biodiversity and stand dynamics (Sitoe *et al.*, 2010). Understanding the relationship between the dependence of local communities on mopane woodland resources and the composition and structure of Mopane woodlands, will provide a basis for sustainable use management and conservation of Mopane woodland.

The objective of this study is to assess the dependence of local communities on Mopane woodland and how this affects the structural composition of the identified species associations within Mopane woodland. This is addressed through the following questions:

- (1) How does the stem size class distribution of Mopane, other canopy tree species and sub-canopy tree species vary across the identified tree species associations at community level?
- (2) How does the stem size class distribution of Mopane, other canopy tree species and sub-canopy tree species vary across the sub-communities of communities dominated by Mopane?
- (3) What is the relationship between the variation in stem size class distributions across the communities and sub-communities, and the associated land use practices and stand development stages?
- (4) How can the results from this study be used to develop guidelines towards an integrated and sustainable resource use management system of Mopane woodland in the LNP?

■ MATERIAL AND METHODS

Study area

This study was conducted in the Limpopo National Park (LNP), Massingir district, Gaza Province in Mozambique. It falls within the Zambebian Regional Center of Endemism biogeographical zone (White, 1983; Geldenhuys, 2015). The total area covers about 11,235 km² (Cambule *et al.*, 2014, Mitader, 2018). It is located between the parallels 22° 25' 00" 'and 24° 10' 00" south and between the meridians 31° 20' 00" ' and 32° 40' 00" east.

LNP is a conservation area established in 2001 and since 2002 it forms a part of the Great Limpopo Transfrontier Conservation Area (GLTFCA). Before the establishment of the conservation area, this part was occupied by more than 35.000 people, with about 25,000 people (close to 3,500 families) living in the Tampa area and around 10,000 people (1,800 families) living along the Shingwedzi Valley. In 2003, the population resettlement program was drawn up because it was considered that they conflict with some conservation activities and 485 families were resettled.

Figure 1. Geographic location map of the study area.

Non-timber forest products (NTFPs) such as firewood and poles for construction, are collected from Mopane woodland in the LNP in Mozambique, using axes to cut trees at different heights. Trees of good quality, without deformation, cut for use as poles in house construction, range in DBH (stem diameter at breast height, i.e. at 1.3 m above ground level) between 5 to 25 cm. People collect firewood and construction material in one area, and when

the resource is exhausted, they move to new areas. For cultivation of crops, they cut all trees and burn all cut trees (Figure 2). Since LNP is a conservation area, charcoal production is illegal, but only sporadically applied (because people fear the conservation authorities).

Figure 2. Mopane trees are cut to open cultivation areas (a), with trees piled in heaps for drying and burning (b) and burned, without using the stems for poles for construction or firewood (c).

The species data collected on the 50 sampled plots for this study (see next section), were used to group the sampled stands into 5 communities and 10 sub-communities based on the number of stems per species per plot (Figure 3; De Sousa, in preparation). A total of 1745 stems of 29 species were recorded. The most dominant species were *Colophospermum mopane* (1477 stems), *Combretum apiculatum* (107 stems), *Boscia albitrunca* (49 stems), *Combretum* sp (22 stems), *Acacia* sp (19 stems), *Acacia nigrescens* (13 stems), *Euclea divinorum* (9 stems) and *Dichrostachys cinerea* (6 stems). The total dominance of Mopane stems required that four Mopane surrogate species be used in the classification of the sampled stands, to differentiate stand composition by stem size of Mopane trees, as follows: Mopane species 1 = <5.0 cm DBH; Mopane species 2 = 5.0 - 14.9 cm DBH; Mopane species 3 = 15.0 - 24.9 cm DBH; and Mopane species 4 = >25.0 cm DBH. The Mopane communities and sub-communities were associated with land use regime and stage of development (Figure 4). Communities 1 and 2 were mostly associated with abandoned cultivation areas (ACA). Most other sub-communities were associated with Mopane tree harvesting (MHT) and re-settlement of abandoned areas (RAA), except for sub-community 5.2 in which all sampled plots occurred on RAA sites. Communities 1 and 2, and sub-community 3.1 were associated with stand development stage 1, sub-community 3.2 with stage 2, and communities 4 and 5 and sub-community 3.22 with stage 3 (even though in reality some of the stage stands could be in early stage 4).

Figure 3. Dendrogram of subdivisions of plots sampled in LNP, Mozambique, into communities and subcommunities (De Sousa, in preparation).

Figure 4. Mopane woodland stand development stages identified in LNP.

Sampling design and data collection

The sampling was designed to cover ten sites considered to be under greatest pressure, such as areas with tree harvesting, areas abandoned by resettlement and abandoned

cultivation areas, and to cover four woodland stand development stages (Figure 4). The height categories for stand development stages were not strictly applied, because the same area may include transitional states between two stages (mainly between stages 2 and 3). A total of 50 temporary nested circular plots were sampled. In each selected site, five plots were located 100 m apart on a wandering line transect (not straight) to cover homogenous points in the vegetation.

Each nested circular plot consisted of 3 circles around the same midpoint (Figure 5): the main plot with a radius of 25.2 m (0.2 ha), to record stems >25 cm DBH; the intermediate subplot with 11.3 m radius (0.04 ha) to record trees 5 to 25 cm DBH; and an inner plot of 5.65 m radius (0.01 ha) to record regeneration stems in three size categories based on height as the main criterion: seedlings up to 0.5 m height, saplings of 0.5-0.9 m height, and poles of 1.0 m height to 4.9 cm DBH. Stems ≥ 5 cm DBH were recorded by stem sequence number, species, DBH and height. Stems < 5 cm DBH were counted by the three regeneration size categories. Stem diameter (DBH) was measured using a tape measure, while heights were measured by a graduated pole (Geldenhuys, 2005). For trees with more than one stem ≥ 5 cm DBH, the DBH was recorded separately for each stem, but the same stem sequence number was used for all the stems of that tree. The advantages of circular plots are that they are easy to lay out and provide fewer errors in recording boundary trees. Additional information was recorded for each plot: Geographic coordinates, by GPS; Stand development stage (Figure 4), Geomorphology (ridge, upper slope, middle slope, foot slope, valley bottom, stream gallery); Soil / substrate geology (clay, rock, sand); Stand canopy condition (smooth, uneven, rough, no gaps, small gaps, large gaps) and general comments of plot.

Figure 5. Nested plot design for collecting data of different size.

Data processing and structural analysis

Field data were electronically captured in Excel (version 2016). All recorded species were identified by their scientific names, according to Van Wyk & Van Wyk (2013). The sampled plots were grouped into more uniform species associations (5 communities and 10 sub-communities) based on the number of stems per species per plot (Section 2.1, Figure 3). The most dominant species were *Colophospermum mopane* (1477 stems), *Combretum apiculatum* (107 stems), *Boscia albitrunca* (49 stems), *Combretum* sp (22 stems), *Acacia* sp (19 stems), *Acacia nigrescens* (13 stems), *Euclea divinorum* (9 stems) and *Dichrostachys cinerea* (6 stems).

Population structure of a species was compared across communities or sub-communities. It was based on the number of stems per ha of a species across eight size class categories: 1 = stems <1.5 m height; 2 = 1.5 m height to <5 cm DBH; 3 = 5.0 - 8.9 cm DBH; 4 = 9.0-12.9 cm DBH, 5 = 13.0-16.9 cm DBH; 6 = 17.0-20.9 cm DBH; 7 = 21.0-24.9 cm DBH; and 8 = ≥ 25 cm DBH. The calculation of stem density per ha per size class was based on the number of plots in a community or sub-community and the plot size in the nested plot used for the specific plant size, i.e. 0.01 ha for stems <5 cm DBH; 0.04 ha for stems 5.0 to 24.9 cm DBH, and 0.2 ha for stems ≥ 30 cm DBH. Comparisons included canopy and sub-canopy tree species.

■ RESULTS

Size class distributions were compared for different species and species groups across communities and sub-communities.

Variation in the size-class distributions across communities

The size class distribution for the regeneration (stems <5 cm DBH) and trees (stems ≥ 5 cm DBH) were compared for Mopane, other canopy species and sub-canopy species, across the communities (Figure 6). Community 1 is dominated by the regeneration and small-sized trees of other canopy species (mainly *Combretum apiculatum* and *Boscia albitrunca*), with low presence of Mopane and sub-canopy tree species. Community 2 is dominated by regeneration of Mopane, sub-canopy tree species and some other canopy tree species, with no Mopane trees and few trees of other species. Communities 3 to 5 are dominated by Mopane but vary in stem density within the two regeneration categories (mostly stem <1.5 m height) and the dominant stem diameter category. Community 3 almost lack other tree species, and particularly other canopy tree species. Community 4 has a relatively higher stem density of

regeneration and trees <9 cm DBH of sub-canopy species, which almost lack in Community 5. However, Community 5 has a good range of tree sizes particularly of Mopane but also of other canopy tree species.

Figure 6. Comparison of stem size class distribution (regeneration and trees) of Mopane, other canopy tree species and sub-canopy tree species across communities.

Variation in size class distributions across sub-communities of communities 3 and 5

The density of Mopane stems shows a general lack of regeneration ≥ 1.5 m height, a decreasing density of regeneration stems < 1.5 m height, and an increasing density and size range of trees of Mopane, from sub-community 3.11 (almost no trees) to sub-community 3.22 (with a strong inverse J-shaped stem diameter class distribution across all size classes of trees) (Figure 7). Sub-communities 3.11 and 3.12 have no regeneration or trees of other canopy tree species, but sub-communities 3.21 and 3.22 have more regeneration (particularly < 1.5 m height) but few tree stems. Stem density of Mopane is relatively low in sub-communities of community 5, but regeneration of other canopy tree species decreases in stems < 1.5 m height from sub-community 5.11 to sub-community 5.2. Only sub-community 5.2 has regeneration stems ≥ 1.5 m height at a relatively high density for other canopy tree species. Stem density of Mopane trees show a typical inverse J-shaped distribution across all stem diameter classes that are generally similar across the three sub-communities. The difference between the three sub-communities is the variation in the stem density of other canopy tree species across the stem diameter classes, with sub-community 5.12 having relatively fewer stems than the other two sub-communities.

Figure 7. Comparison of stem size class distribution (regeneration and trees) of Mopane and other canopy tree species across sub-communities of communities 3 and 5.

■ DISCUSSION

Size class distribution of species and species groups across communities and sub-communities

The good regeneration of canopy species other than Mopane, and poor regeneration of Mopane and sub-canopy tree species in community 1 (considered as stage 1) can be related to the resource use practices. This community occurs in the Mavodze village with extensive open areas due the felling of trees for agriculture and cattle grazing. The high regeneration of other canopy tree species may be an indication of recruitment of shoots or regrowth of trunks not removed during the opening of fields, also noted by Chidumayo (2013). The poor regeneration of Mopane may be linked to practices of cutting trees followed by the removal of the trunks and their burning for the fertilization of fields, aimed at increasing crop productivity. Geldenhuys (2015) and Syampungani *et al.* (2016) indicated that with slash-and-burn agriculture, good crop harvesting is obtained in the early years due to the increase in nutrients in the soil, which then decline over time. The high density of stems 5-9 cm DBH may indicate rapid regrowth and recovery. This is also shown by Syampungani *et al.* (2016), Chichinye *et al.* (2019) and Geldenhuys & Monareng (2020) in which practices of slash-and-burn agriculture, charcoal production, firewood collection and cutting poles for construction that are generally perceived to degrade the woodlands, rather contribute to a rapid recovery and maintenance of biodiversity (De Sousa, in prep) and productivity, better than protection and conservative tree harvesting practices.

The abundant regeneration of Mopane and sub-canopy tree species and the general lack of trees of Mopane and other tree species in Community 2 relate to the situation in the Macavane area. This area was abandoned after population resettlement and shows Mopane in recovery. The high density of Mopane stems <5 cm DBH shows good recovery of Mopane woodland after being disturbed by human activities, such as harvesting Mopane, opening agricultural areas, burning and other activities. The few stems >5 cm DBH may be trees that had been left in the fields during clearing of fields for cropping. Opening of small clearings and stem thinning to reduce stem density of regeneration can be a management strategy to reduce competition for light, moisture and nutrients, to maintain good regeneration and stimulate fast tree development with desired quality, as suggested by Chichinye *et al.* (2019).

Community 4.0 shows a development within stand development stage 3, dominated by smaller to intermediate sized trees of Mopane (stems >9.0 cm DBH), and some other canopy tree species. This community occurs near the village of Bingo with little disturbance of Mopane woodland.

The stem size class distributions of communities 3 and 5 are discussed here in terms of their sub-communities. Community 3 is found in the buffer zone of Chibotane Village and the southern part of Macavane and Canhane Villages, where communities freely harvest Mopane products. The few stems of other canopy and sub-canopy tree species may relate to the density of Mopane with reduced light and moisture conditions. The high density of stems <5 cm DBH and of stems 5-9 cm DBH of Mopane but few stems of other canopy and sub-canopy tree species in Community 3 may relate to resource use activities. The strong decrease in stem density of Mopane regeneration <1.5 m height and strong increase in stem density of particularly trees <9 cm DBH, but also larger tree sizes may indicate stand development from sub-community 3.11 to 3.22. Initially there are no regeneration of other canopy tree species (sub-communities 3.1), but then there is an increase in regeneration of other canopy species in sub-communities 3.2, with added density of the larger regeneration (≥ 1.5 m height) in sub-community 3.22, but with very few trees of other canopy tree species. Community 5 has a good range of tree sizes of Mopane but has low stem density of Mopane regeneration, most likely because of the shady conditions.

Stem density of Mopane is relatively low in sub-communities of community 5, but regeneration of other canopy tree species decreases in stems <1.5 m height from sub-community 5.11 to sub-community 5.2, but a relatively high regeneration density in stems ≥ 1.5 m height. This suggests an increasing development of stand development stage 3 towards stage 4, from sub-community 5.11 to 5.2, but with variable contribution in terms of density and size range of the other canopy tree species, which differentiate the three sub-communities of community 5, occurring in the villages of Machamba and Bingo. The sub-communities show a trend towards mature stands, and the regeneration and small stems may be suppressed stems of mature Mopane trees.

The variation in size class distributions from community 1 to community 5 show how this can be used to determine the success or failure of different land use practices in terms of the regeneration and development of tree species in the tree systems (Geldenhuys, 2010). It shows the importance of the regeneration of species towards species recovery and maintenance of biodiversity and productivity to supply of products of use value (Batistella & Moran 2005; Akinyemi & Kgomo 2019). Mopane structure is strongly influenced by anthropogenic activities that influence recovery through stand development stages with associated species composition. These results give an opposing view of the general perception that agricultural practices, charcoal production and other resource use activities contribute to negative changes in forest cover and composition of tree species (Mansour *et al.*, 2017).

General discussion

The information obtained from this study has relevance for better resource management from Mopane woodland. It has to be incorporated into the resource harvesting practices of the rural farmers within Mopane woodland. Species developed regeneration strategies to survive disturbances from stochastic events and land use, and associated changes in vegetation cover influencing vegetation structure, complexity and functionality (Mazon *et al.* 2019). Regeneration is an important factor in maintaining biodiversity and productivity of forests for the sustainable supply of products and services of desired value. Singh *et al.* (2017) emphasized this and indicated that 20-40% of land is lost in conversion to other types of land use, such as agriculture and grazing, and affects the structure and composition of vegetation. In conservation areas, such as the LNP, with large herbivores such as elephant, kudu and giraffe present, and on rural farms with cattle and goats present, the browsers impact on the sprouting response of cut Mopane stems.

Field observations showed a variation in the regeneration response of Mopane to different resource harvesting strategies. In some areas trees are cut and burnt to prepare fields for cultivating crops (Figure 2). In resettlement areas, Mopane regenerates by seedlings from dispersed seeds (Figure 8a), followed by seedling establishment. However, regeneration from seed is relatively poor because of drought and seed removal by birds for food. Sometimes sprouting develops when roots below the ground are damaged (Figure 8b). In many areas, people harvest Mopane products by cutting trees between 40 cm and 60 cm above ground level (Figure 8c). In such stumps, regeneration occurs by vegetative sprouting at different positions on the remaining stems (Figure 8c). Silvicultural thinning could be applied to improve the development of remaining trees or developing shoots from cut stems. Some trees do not sprout or the stems are eaten by termites (Figure 9a). Some stems of bad form or quality should be removed by thinning or pruning of branches (Figure 9b) and suppressed stems. Sprouting from cut stumps can be thinned to reduce competition and focus growth on the better shoots (Figure 9c).

Figure 8. Regeneration strategies of Mopane in different situations: Regeneration from seed (a); Sprouting from spreading rootstocks below the ground (b); Sprouting at different positions on cut stumps (c).

Figure 9. Resource harvesting practices: Some trees show no signs of sprouting and cut stumps are eaten by termites (a); Stems of poor form and quality in trees with multiple stems need to be cut (b); Sprouting stems on cut stems can be thinned to remove stems of

Rural communities use forest products from preferred species. In the study area, *Colophospermum mopane* and *Combretum apiculatum*, species with high importance values in this Mopane study, are preferred species for fuelwood, charcoal production and building material. This study has shown that after different resource use practices, the natural vegetation and the preferred species regenerate abundantly and develop through the stand development stages. Such recovery needs to be silviculturally managed to facilitate a faster recovery of the system through the identified stand development stages.

■ CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Mopane resources have extremely high socio-economic, cultural and traditional values. Local communities depend on wood harvested from Mopane woodland for infrastructure and firewood collection, and as a main source of income, and clearing for crop cultivation.

The first perception about the condition of *Colophospermum mopane* woodland in NLP was that the woodland system is degraded due to the high pressure and dependence for clearing for crop cultivation and harvesting for fuel wood and of poles for construction, and that this leads to faster depletion of biodiversity, with implications for conservation. However, this study showed that there is good recovery through regeneration dynamics of Mopane woodland. This happened despite the socio-economic dynamics and challenges within the LNP, which is characterized by extreme dependence on slash and burn agriculture and consumption of wood for construction poles and biomass for energy, and low levels of education. The recovery of Mopane woodland via stand development stages maintains species diversity (De Sousa in prep), viable population structures, productivity and use value of the system.

The development of environmental forest resource management policies should include feasible resource management strategies by the communities. This should include capacity development amongst community resource managers in simple silvicultural management techniques such as selective stem thinning in developing stands in stages 1 to 3, and cutting

of stands in stage 4 in groups to facilitate rapid sprouting of the cut stems with adequate light conditions. This would require the zonation of the LNP into areas for the main resource use activities of the communities that would guarantee their socio-economic development. The zoning could include areas for agricultural crop cultivation, for the collection of firewood and construction material, or integration of all three main resource use activities to maintain productive stand dynamics in line with the natural disturbance-recovery processes of Mopane woodland.

■ ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the Pedagogical University of Maputo and Dora Consultores for financial support, the Limpopo National Park and district of Massingir leaders for all support provided during the data collection.

■ REFERENCES

1. Akinyemi, F. O., & Kgomo, M. O. Vegetation dynamics in African drylands: an assessment based on the Vegetation Degradation Index in an agro-pastoral region of Botswana. *Regional Environmental Change*, 19(7), 2027-2039. 2019.
2. Batistella, M., & Moran, E. F. Dimensoes humanas do uso e cobertura da terra na Amazonia uma contribuicao do IBA. *Acta Amazonica*, 239-247. 2005
3. Burgess, N., Hales, J. A., Underwood, E., Dinerstein, E., Olson, D., Itoua, I., Newman, K. Terrestrial ecoregions of Africa and Madagascar: a conservation assessment: Island Press. 2004
4. Cambule, A., Rossiter, D., Stoorvogel, J., & Smaling, E. J. G. Soil organic carbon stocks in the Limpopo National Park, Mozambique: Amount, spatial distribution and uncertainty. 213, 46-56. 2014.
5. Campbell, B. The miombo transition: woodlands and welfare in Africa. Bogor: CIFOR-Center for International Forest Research. 1996
6. Chazdon, R.L. Renascimento de florestas: regeneração na era do desmatamento. Sao Paulo. 2016
7. Chichinye, A., Geldenhuys, C. J., & Chirwa, P. W. Land-use impacts on the composition and diversity of the *Baikiaea*–*Guibourtia*–*Pterocarpus* woodlands of north-western Zimbabwe. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 1-15. 2019
8. Chidumayo, E. N. Forest degradation and recovery in a miombo woodland landscape in Zambia: 22 years of observations on permanent sample plots. *Forest Ecology and Management*, 291, 154-161. 2013.
9. Chidumayo, E. N., & Gumbo, D. J. The dry forests and woodlands of Africa: managing for products and services: Earthscan. 2010.

10. Chirwa, P., Larwanou, M., Syampungani, S., & Babalola, F. Management and restoration practices in degraded landscapes of Southern Africa and requirements for up-scaling. *International Forestry Review*, 17(3), 31-42. 2015.
11. De Carvalho Araújo, F., dos Santos, R. M., & Coelho, P. A. O papel do distúrbio na regeneração natural dos ecossistemas florestais. *Revista de Ciências Agroambientais*, 14(1). 2016.
12. Geldenhuys, C. J. Sustainable resources use. PFM guideline commissioned by Ramboll, funded by Danida. Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria. 2005.
13. Geldenhuys, C. J. Managing forest complexity through application of disturbance–recovery knowledge in development of silvicultural systems and ecological rehabilitation in natural forest systems in Africa. *Journal of forest research*, 15(1), 3-13. 2010.
14. Geldenhuys, C.J. Sustainable use of Miombo woodlands: Simple silvicultural practices the key to sustainable use of Miombo fuel wood and poles. *SA Forestry Magazine* April 2014, p.20-21. 2014.
15. Geldenhuys, C. J. Ecological Basis for integrated Multiple-use Management of Mozambique forest & Woodland areas. SESA Report to deal with REDD+. Report FW-04/15, FORESTWOOD cc, Pretoria. 52 pp. 2015.
16. Geldenhuys, C. J., & Golding, J. S. Resource use activities, conservation and management of natural resources of African savannas. In: Faleiro, F.G. & Neto, A.L.de F. (eds): *Savannas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, Brazil. pp 225-260. 2008.
17. Geldenhuys, C. J. & Monareng, T. Developing a sound ecological basis for sustainable fuel wood and pole harvesting management systems for natural broad-leaved woodlands, Limpopo Province, South Africa. 1. Implementation of early rainy season treatments. Report FW-02/20, FORESTWOOD cc, Pretoria. 51 pp. 2020.
18. Ghazoul, J., Wessels, D., Mushongohande, M., Gardiner, A., Pearce, J., Stack, J., Knell, R. Mopane woodlands and Mopane worm. Enhancing rural livelihoods and resources sustainability. Final Technical report. 2006.
19. Gondwe, M. F. K., Geldenhuys, C. J., Chirwa, P. W. C., Assédé, E. S. P., Syampungani, S., & Cho, M. A. J. Tree species composition and diversity in Miombo woodlands between co-managed and government-managed regimes. *African Journal of Ecology*, Malawi. 2020. DOI: 10.1111/aje.12799 pp 1-16 2020 *Afr. J. Ecol.* 2020;00:1–16.
20. Kowero, G. The dry forests of sub-Saharan Africa: Making their case. In: Geldenhuys, C. J., Ham, C., & Ham, H. (eds.). *Sustainable Forest Management in Africa: Some Solutions to Natural Forest Management Problems in Africa*. Proceedings of the Sustainable Forest Management in Africa Symposium. Stellenbosch, 3 – 7 November 2008, pp 2-21. 2011.
21. Makhado, R., Potgieter, J., Wessels, D., Saidi, A., & Masehela, K. Use of mopane woodland resources and associated woodland management challenges in rural areas of South Africa. 2012.
22. Makhado, R. A., Mapaure, I., Potgieter, M. J., Luus-Powell, W. J., & Saidi, A. T. Factors influencing the adaptation and distribution of *Colophospermum mopane* in southern Africa's mopane savannas-A review. *Bothalia-African Biodiversity & Conservation*, 44(1), 1-9. 2014.

23. Makhado, R., Potgieter, M., & Luus-Powell, W. *Colophospermum mopane* Leaf Production and Phenology in Southern Africa's Savanna Ecosystem-A Review. *Insights For Res*, 2(1), 84-90. 2018.
24. Mansour, M., Zorillas-Miras, P., Verweij, P., Siteo, A., Ryan, C., Pantenaude, G., Baumert, S. Understanding Land use and land cover and woodland-Based Ecosystem services changes, Mabalane, Mozambique. *Energy and Environment reserach*. 2017.
25. Marzoli, A. Inventário florestal nacional: avaliação integrada das florestas de Moçambique. Direcção Nacional de Terras e Florestas, Ministério de Agricultura, Maputo & Agriconsulting, Roma. (2007).
26. Mazon, J. A., Silva, R. A. R., & Watzlawick, L. F. Estrutura e composição da regeneração natural em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista secundária. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 39(1). 2019.
27. Mitader (Ministerio da Terra, A. e. D. R. Mozambique). Forest Reference Emission level for Reducing Emission from Deforestation in natural forest. Retrieved from Maputo . 2018
28. Musvoto, C., Mapaure, I., Gondo, T., Ndeinoma, A., & Mujawo, T. J. Reality and preferences in community mopane (*Colophospermum mopane*) woodland management in Zimbabwe and Namibia. 1(3), 173-177. 2007 .
29. Ribeiro, N. S., Syampungani, S., Matakala, N. M., Nangoma, D., & Ribeiro-Barros, A. I. Miombo woodlands research towards the sustainable use of ecosystem services in Southern Africa. In *Biodiversity in Ecosystems-Linking Structure and Function: InTech*. 2015.
30. Rutherford, M., Powrie, L., & Thompson, D. (2012). Impacts of high utilisation pressure on biodiversity components in *Colophospermum mopane* savanna. *African journal of range & forage science*, 29(1), 1-11. 2012.
31. Ryan, C. M., Pritchard, R., McNicol, I., Owen, M., Fisher, J. A., & Lehmann, C. Ecosystem services from southern African woodlands and their future under global change. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 371(1703), 20150312. 2016.
32. Singh, R., Sagar, R., Srivastava, P., Singh, P., & Singh, J. Herbaceous species diversity and soil attributes along a forest-savanna-grassland continuum in a dry tropical region. *Ecological Engineering*, 103, 226-235. 2017
33. Siteo, A., Salomão, A., & Wertz-Kanounnikoff, S. O contexto de REDD+ em Moçambique. Causas, actores e instituições. CIFOR-Center for International Forest Research. 2012.
34. Syampungani, S., Geldenhuys, C. J., & Chirwa, P. W. Regeneration dynamics of miombo woodland in response to different anthropogenic disturbances: forest characterisation for sustainable management. *Agroforestry systems*, 90(4), 563-576. 2016.
35. Timberlake, J. *Colophospermum mopane*: an overview of current knowledge. Paper presented at the African plants: biodiversity, taxonomy and uses: proceedings of the 1997 AETFAT congress, Harare, Zimbabwe. Kew: Royal Botanic Gardens, Kew. 1999.
36. Van Wyk, B., & Van Wyk, P. Field guide to trees of southern Africa: Penguin Random House South Africa. 2013.
37. White, F. The vegetation of Africa. A descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO. Paris: UNESCO. 1983.

Atividade bioquímica do solo é afetada pela implantação de sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta

| **Patrícia Martins Gomes**
UEG

| **Leciana de Menezes Sousa Zago**
UEG

| **Samantha Salomão Caramori**
UEG

RESUMO

O sistema de integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF) é uma estratégia que busca otimizar o uso do solo, com a recuperação de áreas de pastagem degradada, redução do desmatamento, aumentando a produtividade, dentre outros aspectos que buscam o aumento da sustentabilidade do ecossistema. **Objetivo:** Identificar se há mudanças na composição química e atividade bioquímica do solo de sistema ILPF em comparação com uma área de Cerrado Nativo. Adicionalmente, avaliamos a influência da sazonalidade sobre a atividade microbiana do solo. **Método:** Amostras de solo foram coletadas em um sistema ILPF e uma área de Cerrado nativo, na estação seca e chuvosa. Foram realizadas análises químicas do solo. As análises bioquímicas consistiram na quantificação do carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), e determinação da atividade enzimática de β -glicosidase, fosfatase ácida, glicina aminopeptidase, arilsulfatase e fenoloxidase, usando métodos colorimétricos. **Resultados:** Os valores de atividade de β -glicosidase, fosfatase ácida e o carbono da biomassa microbiana foram mais elevados em áreas de Cerrado nativo. Dentro do sistema ILPF, houve incremento de atividade enzimática entre as linhas de eucalipto (renque). A atividade de glicina aminopeptidase foi semelhante nos dois ecossistemas avaliados. O CBM foi mais elevado na estação chuvosa e as enzimas hidrolases aumentaram a atividade catalítica nesse período. **Conclusão:** O CBM e as enzimas hidrolases são sensíveis a variações ocasionadas em decorrência dos ciclos de chuva e seca, da mudança na cobertura vegetal e implantação de sistemas agropecuários.

Palavras-chave: Enzimas de Solo, Hidrolases, Bioindicadores, Sazonalidade, Uso do Solo.

■ INTRODUÇÃO

A transformação de ambientes naturais em sistemas de produção agropecuários tem se tornado uma preocupação constante (GOMES *et al.*, 2015). A utilização de recursos naturais, o desmatamento, os processos erosivos, a degradação do solo e os resíduos originados dos processos de produção contribuem para a diminuição da capacidade de funcionamento do ecossistema solo (TSCHARNTKE *et al.*, 2012).

Diante do cenário de degradação que trouxe perdas na produtividade agropecuária foi necessário desenvolver técnicas agrícolas para reduzir os impactos ambientais, garantir a qualidade do solo e aumentar a sustentabilidade dos agroecossistemas. Diante disso, os sistemas de integração lavoura (ILPF), pecuária, floresta foram criados principalmente, para recuperar áreas de pastagem degradada e sob a perspectiva de melhoria das condições ambientais e aumento da sustentabilidade de sistemas agropecuários (MAPA, 2020).

No sistema ILPF, uma mesma área é utilizada para criação de gado, cultivo agrícola e cultivo de floresta. A integração de diferentes atividades permite maior diversificação de produtos, como carne, leite, grãos, fibras, madeira e celulose, além da deposição de resíduos orgânicos no solo (ASSIS *et al.*, 2015; ASSIS *et al.*, 2017; GAZOLA *et al.*, 2015).

Desse modo, o sistema ILPF contribui para o aumento da produção de alimentos, recuperação de áreas degradadas, redução da pressão do desmatamento, ampliação dos serviços ecossistêmicos, diminuição das emissões de gases de efeito estufa, aumento da diversidade de organismos e consequentemente, aumento da sustentabilidade do ecossistema (LEMAIRE *et al.*, 2014; MENDES *et al.*, 2015).

Contudo, a diversificação de espécies vegetais e o componente animal aumentam o grau de complexidade de interações dentro do sistema ILPF (MORAES *et al.*, 2014a). Alguns autores discutem que a utilização simultânea (componente arbóreo e componente animal) e intensificada do solo no sistema ILPF, modificam as propriedades físico-químicas do solo, incluindo a quantidade e composição da matéria orgânica (STIEVEN *et al.*, 2014; ASSIS *et al.*, 2015).

Essas transformações implicam em perturbações e influenciam diretamente os microrganismos, atividade de enzimas hidrolases e a ciclagem de nutrientes no solo (NANNIPIERI *et al.*, 2012; VINHAL-FREITAS *et al.*, 2017; ZAGO *et al.*, 2019), e podem causar alterações na qualidade do solo (ZAGO *et al.*, 2018; ZAGO *et al.*, 2020; SEKARAN, 2021). Portanto, é necessário entender o impacto da implantação de sistema ILPF sobre as propriedades bioquímicas do solo, como as enzimas extracelulares que participam do processo de ciclagem de nutrientes e podem refletir as condições ambientais do agroecossistema (ZAGO *et al.*, 2018).

A alta taxa de criação de novos ILPF no Brasil demanda novos conhecimentos sobre o efeito do uso do solo na capacidade funcional da microbiota. Assim, o objetivo do presente

estudo foi identificar se há mudanças na composição química e atividade bioquímica do solo de sistema ILPF em comparação com uma área de Cerrado Nativo. Adicionalmente, avaliamos a influência da sazonalidade sobre a atividade microbiana do solo.

■ MÉTODO

Descrição da área de amostragem

As amostras de solo foram na Fazenda Boa Vereda (18°27'43" S, 49°35'58" W), localizada no município de Cachoeira Dourada- Goiás. O local de estudo está localizado a uma altitude de 484 m acima do nível do mar, com declives entre 0 e 15%. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região de amostragem é Aw, que corresponde ao clima tropical com inverno seco. A estação chuvosa se concentra na Primavera e no Verão (outubro a abril) e a estação seca no Outono e Inverno (maio a setembro).

A precipitação média anual é de 1.200 a 1.500 mm, concentrada entre a estação chuvosa de outubro a abril. Quanto à distribuição das chuvas, a precipitação média anual está entre 1.200 e 1.600 mm, concentrando-se nos meses de outubro a abril (período chuvoso), variando em média entre 100 e 350 mm. Já na estação seca, que ocorre de abril a setembro, o índice pluviométrico médio varia de 0 a 100 mm. A temperatura média anual é de 24,8 °C, registrando um máximo de 35 °C em setembro e um mínimo de 21,9 °C em junho (PRATES *et al.*, 2019; WEATHER SPARK, 2020).

A área de ILPF possui 15 ha de comprimento, com três linhas de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*), a 14 m de distância da outra linha, totalizando um conjunto de linhas triplas (renques). Os renques apresentam capim a 2 m das linhas de eucalipto e a 3 m entre linhas.

A implantação do sistema ILPF em substituição a áreas de pastagem degradada ocorreu em três anos. No primeiro ano, o solo foi preparado com aração e calagem, com linhas de eucalipto e entre linhas com soja (*Glycine max* L.). Após 20 dias de plantio, a adubação foi realizada por planta com NPK (8-30-10) e no final da estação chuvosa com ácido bórico (10 g planta⁻¹) e super simples (0-18-0) (150 g planta⁻¹). No segundo ano de plantio, após a colheita da soja, o milho (*Zea mays* L.) foi plantado no mesmo local da safra anterior, mas em um sistema conhecido como Santafé, no qual as sementes do capim *Urochloa brizantha* (BRS Piatã e Marandú) e capim Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) já foram plantados mais profundamente. Para adubação, foram utilizados 200 kg ha⁻¹ de uréia, sendo 100 kg ha⁻¹ de uréia e 100 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico. A partir do terceiro ano, quando o eucalipto atingiu tamanho suficiente para não sofrer danos com o gado e a pastagem já em formação, foi introduzido o Nelore bovino.

A propriedade também dispõe de uma área que é usada para pastejo de gado, configurando uma área de pastagem convencional. A área de pastagem é usada como pasto por 10 anos, tem uma área total de 5,7 ha e composta de capim (*Brachiaria brizantha*). A propriedade apresenta uma área de Cerrado nativo, que foi usada como controle. O solo da fazenda é caracterizado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2013).

Amostragem do solo

A amostragem de solo foi realizada em uma área de ILPF. As amostras de solo foram recolhidas na profundidade de 0-0,1 m, dentro do renque e entre renques de Eucalipto (Figura 1), em duas estações do ano (estação seca - outubro/2016 e chuvosa - janeiro/2017). Amostras de solo também foram recolhidas em uma área de Cerrado Nativo, na Fazenda Boa Vereda.

Figura 1. Sistema de Integração lavoura, pecuária e floresta localizado na fazenda Boa Vereda, em Cachoeira Dourada, Goiás. O entre-renque consiste na área de pastagem composta por capim. O renque é composto por fileiras múltiplas de Eucalipto.

Fonte: autoria própria.

As amostras foram coletadas manualmente usando uma pá, abrindo valas com 0,1 m² de largura e 0,1 m de profundidade. As amostras compostas foram constituídas da junção de três subamostras de solo, coletadas na profundidade de 0,1 m.

No ILPF foram recolhidas seis amostras compostas, sendo três amostras provenientes do entre-renque e três amostras provenientes do renque. No Cerrado nativo foram recolhidas três amostras compostas.

As nove amostras compostas foram peneiradas (<2 mm) para remover raízes, paus, pedras e gravilha e foram colocadas em sacos de polietileno a 4 ° C. Determinamos o teor de umidade secando 5 g de solo a 105 ° C por 48 h (SINSABAUGH *et al.*, 1999). A porcentagem de água presente nas amostras foi calculada pela diferença entre o peso final e o inicial e todos os ensaios enzimáticos foram realizados com base na quantidade de solo (massa seca).

Propriedades químicas do solo

A avaliação das propriedades físico-químicas foi realizada pelo Laboratório Terra de Análises Agropecuárias de solo, utilizando as metodologias descritas por EMBRAPA (2013),

conforme alguns detalhes descritos abaixo. O teor de argila, silte e areia foi medido pelo método do densímetro. O pH do solo foi medido pelo eletrodo de suspensão do solo e CaCl_2 . O fósforo e o potássio foram extraídos por Mehlich I; cálcio e magnésio extraídos em KCl e determinados por titulação com EDTA. O alumínio trocável foi determinado por extração com solução de KCl. A capacidade de troca catiônica, saturação de base e saturação de alumínio foram calculadas a partir desses dados.

O carbono orgânico total (COT) e a matéria orgânica do solo (MOS) foram determinados pelo método de oxidação do dicromato e por leituras espectrofotométricas. O nitrogênio total (NT) foi avaliado pelo método de destilação a vapor.

Atividade de enzimas hidrolases de solo

Três enzimas do solo (β -glicosidase, fosfatase ácida e glicina aminopeptidase) foram determinadas no presente estudo. As atividades de β -glicosidase (EC 3.2.1.21) e fosfatase ácida (EC 3.1.3.2) foram avaliadas como descrito por Baldrian *et al.* (2005). Para determinação da atividade da glicina aminopeptidase (EC 3.4.11), foi utilizado o método de Allison e Vitousek (2005) com algumas modificações (Zago *et al.*, 2018). Resumidamente, 0,1 g de massa seca do solo foram incubados a 37 °C por 60 min, usando 900 μL de *p*-nitroanilida preparada em tampão de acetato de sódio a pH 5,0 como descrito no método original. Para os controles, o tampão acetato de sódio substituiu o volume do substrato. Os resultados foram expressos em μg de *p*-nitrofenol ou *p*-nitroanilina g^{-1} no solo h^{-1} a 400 ou 405 nm.

Carbono da Biomassa Microbiana

Para determinar o carbono da biomassa microbiana, as amostras de solo foram avaliadas pelo método de irradiação-incubação (FERREIRA *et al.*, 1999). Os resultados foram expressos em microgramas de carbono por grama de solo ($\mu\text{g C g}^{-1}$).

Análise de dados

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade (Shapiro-Wilk), utilizando o software Sigma Plot versão 12.0. Os dados foram avaliados via análise de variância (ANOVA) no programa Assistat 7.7 e os gráficos foram plotados no Sigma Plot 12.0.

As análises estatísticas foram realizadas, considerando um delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos (tipo de uso do solo: ILPF e Cerrado), dois locais de amostragem (renque e entre renque) e duas repetições (sazonalidade: chuva e seca).

O teste de Tukey (análise post-hoc) foi aplicado para avaliar as diferenças entre cada atributo químico, carbono da biomassa microbiana e as médias de cada atividade

enzimática, entre o ILPF e Cerrado, nos dois períodos de amostragem (chuva e seca), considerando $p < 0,05$.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades químicas do solo

A remoção da pastagem degradada para implantação do sistema ILPF promoveu alterações nas propriedades químicas dos solos amostrados (Tabela 1). As propriedades químicas do solo também apresentaram valores distintos no período de chuva e seca (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades químicas de solos coletados em áreas de Cerrado nativo e dentro do renque e entre renque do sistema ILP, na profundidade 0-1 m.

Características químicas do solo	Tipos de uso do solo/ Períodos do ano					
	Cerrado		ILPF (entre renque)		ILPF (renque)	
	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva
Ca (cmolc/dm ³)	7,4	10	2,5	3,9	3,0	4,5
Mg (cmolc/dm ³)	3,4	2,9	2,1	1,4	1,5	2,5
P (cmolc/dm ³)	4	4	8	2	9	11
K (cmolc/dm ³)	0,56	0,43	0,11	0,19	0,18	0,32
NT (%)	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3
COT (%)	3,1	2,26	1,6	2,2	1,8	2
MOS (%)	5,3	3,9	2,7	3,9	3,1	3,1

* Ca: cálcio; Mg: magnésio; P: fósforo; K: potássio; NT: nitrogênio total; COT: carbono orgânico total; MOS: matéria orgânica do solo.

O teor de fósforo, foi mais elevado nas duas subáreas do sistema ILPF (entre renques; renque) no período da seca. A quantidade de cálcio, magnésio e potássio foram mais elevados no Cerrado Nativo, no período chuvoso. A quantidade de magnésio, potássio e os teores de nitrogênio total, carbono orgânico total e matéria orgânica do solo encontram-se maiores no ecossistema natural (Cerrado) no período da seca (Tabela 1).

No presente estudo, os níveis de matéria orgânica, carbono orgânico total e nitrogênio total foram mais elevados em áreas de Cerrado nativo (Tabela 1). O teor de matéria orgânica consiste num parâmetro químico essencialmente importante para a comunidade microbiana pois fornece nutrientes para o crescimento de populações de microrganismos, além de plantas (CARNEIRO *et al.*, 2009).

Os maiores teores de matéria orgânica e carbono orgânico total encontrados nas áreas nativas estão associadas ao maior aporte de resíduos vegetais presentes na camada superficial do solo. A quantidade mais elevada, assim como a diversidade de substratos está associada a ausência da ação antrópica, o que por sua vez afeta a qualidade do solo (GAZOLA *et al.*, 2015). Dessa forma, as diferenças encontradas nos teores de matéria

orgânica e carbono orgânico em diferentes tipos de uso do solo evidenciam o impacto da ação antrópica sobre tais atributos do solo.

Atividade de enzimas hidrolases de solo

No presente estudo, avaliamos a atividade de hidrolases relacionadas ao ciclo do carbono (β -glicosidase), fósforo (fosfatase ácida) e nitrogênio (glicina aminopeptidase) em um sistema ILPF e uma área de Cerrado nativo. Os dados obtidos com a amostragem de solos nos diferentes ecossistemas (ambiente preservado e agroecossistema) apontou variações na atividade enzimática de hidrolases. A avaliação da enzima β -glicosidase mostrou diferenças significativas para todos os fatores avaliados (tipo de uso de solo e sazonalidade) e a interação entre esses fatores também influenciou a atividade enzimática (Figura 2).

Figura 2. Valores de média atividade enzimática de β -glicosidase em áreas de Cerrado, renques (ILPFL) e entre renques (ILPFC) dentro do sistema ILPF. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre os diferentes tipos de uso do solo e diferentes maiúsculas representam variações significativas entre os períodos do ano ($p < 0,05$, ANOVA e teste de post-hoc Tukey).

Fonte: autoria própria.

A atividade de β -glicosidase é significativamente maior no Cerrado nativo ($78,3 \mu\text{mol pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$) em relação ao ILPF ($27,6 \mu\text{mol pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$; $21,3 \mu\text{mol pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$), no período de chuva (Figura 2).

A enzima β -glicosidase atua na etapa final do processo de decomposição da celulose e é responsável pela hidrólise dos resíduos de celobiose, um dissacarídeo de rápida decomposição no solo, liberando como produto a glicose, que atua como importante fonte de energia para os microrganismos. A presença de elevadas quantidades de matéria orgânica na área de Cerrado (Tabela 1) poderia explicar a elevada atividade da enzima β -glicosidase,

pois a abundância de elementos orgânicos no solo influencia positivamente a produção de hidrolases relacionadas ao ciclo de carbono no solo (ZAGO *et al.*, 2018).

Foram observadas variações significativas entre os períodos de chuva e seca dentro dos ecossistemas avaliados. No Cerrado, notamos que a atividade de β -glicosidase foi 6,4 vezes maior no período de chuva ($78,3 \mu\text{mol pNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) quando comparado com o período de seca ($12,3 \mu\text{mol pNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). No renque do sistema ILPF, a atividade de β -glicosidase no período de chuva ($27,6 \mu\text{mol pNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) foi 1,9 vezes maior do que no período de seca ($14,3 \mu\text{mol pNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Figura 2).

As variações na atividade catalítica de β -glicosidase entre a estação chuvosa e estação seca nos diferentes ambientes avaliados (Cerrado e ILPF) podem ser explicadas pelas variações nos fatores abióticos, como a temperatura, pH, precipitação e umidade, que influenciam o metabolismo de microrganismos e consequentemente causam mudanças na atividade enzimática (ZAGO *et al.*, 2016; MENDES *et al.*, 2012). Segundo Burns *et al.* (2013) a junção desses dois fatores estimula um aumento da atividade enzimática através do acréscimo quantitativo de enzimas e difusão dos substratos.

Notamos que no Cerrado, a variação da atividade de β -glicosidase em virtude da variação sazonal é significativamente maior do que a variação da atividade enzimática dentro do sistema ILPF (Figura 2). No período chuvoso, a alta umidade e temperatura favorecem o crescimento de fungos e actinomicetos que são organismos produtores de β -glicosidase. Nos ambientes preservados (Cerrado nativo), a serapilheira costuma ser mais espessa, o que contribui para que o solo apresente maior teor de matéria orgânica, quando comparado ao ILPF (Tabela 1). A matéria orgânica é fonte de substrato para a atividade catalítica das enzimas de solo. Portanto, tais fatores abióticos contribuíram para que houvesse maior variação da atividade catalítica de β -glicosidase no Cerrado. Embora o sistema ILPF pareça promover melhoria na qualidade do solo em relação a outros tipos de agroecossistemas (ZAGO *et al.*, 2020), esses ambientes apresentam menor diversidade de espécies vegetais, animais e de microrganismos, quando comparados com áreas de Cerrado Nativo.

A atividade da enzima fosfatase ácida variou significativamente entre os ecossistemas avaliados (Cerrado e ILPF), apenas no período de chuva. No que se refere aos ecossistemas, houve variação significativa apenas dentro do renque no sistema ILPF (Figura 3).

Figura 3. Valores de atividade enzimática de fosfatase ácida em áreas de Cerrado, renque (ILPFL) e entre renques (ILPFC) dentro do sistema ILPF. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre os diferentes tipos de uso do solo e diferentes maiúsculas representam variações significativas entre os períodos do ano ($p < 0,05$, ANOVA e teste de post-hoc Tukey).

Fonte: autoria própria.

A atividade de fosfatase ácida mais elevada no Cerrado ($210,7 \mu\text{mol}$ de p-nitrofenol $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$) em comparação com o sistema ILPF (Figura 3), pode estar associado ao teor de fosfato orgânico que foi relativamente menor no solo de Cerrado (Tabela 1). As enzimas fosfatases são sintetizadas e exportadas para o meio extracelular quando as concentrações de fósforo solúvel atingem níveis limitantes para planta crescimento e microrganismos do solo. Assim, a síntese de fosfatases é controlada pela concentração de fosfato inorgânico (Pi) e regulado por mecanismos de auto-repressão por fosfato inorgânico que veio de fosfato orgânico (NAHAS, 2015; ZAGO *et al.*, 2019).

A síntese da fosfatase depende também da demanda de plantas e microrganismos por Pi , disponibilidade de água, carbono e nitrogênio (MARKLEIN; HOULTON, 2012). Além disso, a atividade da fosfatase também pode ser alterada pelo tipo de cultura agrícola cultivada no solo (ZAGO *et al.*, 2019; ZAGO *et al.*, 2020). No presente estudo, nitrogênio total, carbono orgânico total e os níveis de matéria orgânica do solo foram, em média, mais altos nas áreas do Cerrado nativo do que no ILPF (Tabela 1), corroborando com os estudos acima mencionados. Assim, conforme a pesquisa realizada por Zago *et al.* (2019), o conjunto de analisadas variáveis (químicas e bioquímicas) exerceu influência na ação enzimática de fosfatase.

No presente estudo, detectamos mudanças na atividade enzimática de fosfatase ácida no renque do sistema ILPF. No período de chuva, a atividade de fosfatase ácida foi mais elevada do que no período de seca (Figura 3).

O aumento da temperatura e da umidade do solo aumenta o nível de atividade microbiana. A atividade microbiana é regulada principalmente por fatores químicos do solo e tem

sua atividade aumentada na estação chuvosa em função da umidade que cria um ambiente mais favorável para o crescimento microbiano e de plantas, aumentando a demanda de fósforo (PITON *et al.*, 2020).

No presente estudo, a atividade da enzima glicina aminopeptidase não foi influenciada pelo tipo de uso do solo (Figura 4A). Não houve diferenças significativas da atividade de glicina aminopeptidase entre as áreas de estudo (ILPF e Cerrado). Esse fato pode ser um indicativo de que as condições para atividade da enzima glicina aminopeptidase são semelhantes nas áreas amostradas. Além disso, o teor de nitrogênio, que é utilizado como substrato pela enzima, é baixo e semelhante em todas as áreas avaliadas (Tabela 1).

Figura 4. Valores de média atividade enzimática de glicina aminopeptidase em solos de Cerrado nativo e entre árvores (ILPFL) e entre renques (ILPFC) dentro do sistema ILPF (4A) e em períodos de chuva e seca (4B). Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre períodos do ano.

Fonte: autoria própria.

A atividade de glicina aminopeptidase foi influenciada apenas pela sazonalidade (Figura 4B). Os valores foram maiores no período chuvoso ($135,2 \mu\text{mol pNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em relação que no período seco ($7,87 \mu\text{mol pNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

No presente estudo, o incremento na atividade da glicina aminopeptidase indicou que o teor de umidade do solo é um fator que altera a atividade extracelular das aminopeptidases (LEMAIRE *et al.*, 2014; ZAGO *et al.*, 2017). A atividade catalítica de enzimas de solo depende de fatores abióticos, como o regime de chuvas, a disponibilidade e composição química de substratos orgânicos presentes no solo (PITON *et al.*, 2020).

As diferentes estações do ano provocam alterações na precipitação e temperatura, causando mudanças nas condições de sobrevivência de microrganismos, como bactérias e fungos, que secretam enzimas extracelulares (BOROWIK; WYSZKOWSKA, 2016, BURNS *et al.*, 2013).

Em condições de maior umidade, os fungos que tem sua produção de enzimas orientada preferencialmente, para a aquisição de nitrogênio, apresenta maiores taxas de desenvolvimento. Portanto, no período chuvoso é esperado que haja maior taxa de produção de enzimas e consequentemente, maiores níveis de atividade enzimática (PITON, 2020).

Carbono da Biomassa Microbiana

A determinação do carbono da biomassa microbiana nos solos avaliados no presente estudo, evidenciam diferenças entre áreas nativas de Cerrado e o sistema ILPF. Os maiores valores de Carbono da biomassa microbiana foram encontrados nas áreas com vegetação típica do Cerrado $74,9 \mu\text{g C g}^{-1}$ e se diferiu significativamente entre a área de integração (ILPF), que apresentou $29 \mu\text{g C g}^{-1}$ entre árvores e $27,9 \mu\text{g C g}^{-1}$ entre renques (Figura 5).

Figura 5. Valores de média de Carbono da biomassa microbiana de solos coletados em áreas de Cerrado nativo e subáreas (entre renques e entre árvores) dentro do sistema ILPF, na profundidade 0-1 m.

Fonte: autoria própria.

A avaliação dos atributos bioquímicos mostrou que a atividade biológica é maior em ecossistemas naturais (Cerrado) quando comparados a áreas antropizadas (ILPF). A atividade metabólica do solo depende de vários fatores e inclui o tipo de cobertura vegetal presente no solo (ZAGO *et al.* 2020), o tipo e qualidade nutricional da matéria orgânica. A suposta qualidade nutricional proporcionada pela diversidade de plantas do Cerrado reflete os valores elevados de atividade metabólica (CBM) observados nesse ambiente (SIMÕES *et al.*, 2010).

Os solos de Cerrado apresentam suprimento contínuo de matéria orgânica mais susceptível à decomposição. O solo permanece coberto, o que implica em menor variação e níveis mais adequados de temperatura e umidade, favorecendo a atividade microbiana (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

A manutenção dos estoques de carbono do solo é essencial para a atividade microbiana. Hoffmann *et al.* (2018) observaram que nas áreas de vegetação nativa, onde há maior diversidade vegetal e menor manejo do solo, há também maior acúmulo de carbono associado a biomassa microbiana, em virtude da maior disponibilidade de matéria orgânica. O aumento de carbono associado a biomassa microbiana impulsiona o aumento da microbiota do solo e consequentemente a ciclagem de nutrientes dentro do ecossistema.

■ CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que as propriedades bioquímicas do solo são capazes de refletir as mudanças que ocorrem no ecossistema devido ao manejo do solo. Foram observadas variações nas propriedades químicas e bioquímicas entre solos antropizados e solos com vegetação nativa de Cerrado.

As enzimas envolvidas na ciclagem de carbono (β -glicosidase) e fósforo (fosfatase ácida) são sensíveis às mudanças ocasionadas pelo uso do solo. As enzimas β -glicosidase e fosfatase ácida apresentaram incrementos de atividade enzimática em ambientes preservados. De modo distinto, a enzima glicina aminopeptidase apresentou valores semelhantes de atividade enzimática nos diferentes ambientes (Cerrado e ILPF) devido aos baixos teores de nitrogênio.

As enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e glicina aminopeptidase são influenciadas pela sazonalidade. O período de chuva provocou incrementos na atividade enzimática, mostrando que a quantidade de água no solo é um fator positivo a produção dessas enzimas.

É possível concluir que hidrolases são sensíveis a variações ocasionadas em decorrência dos ciclos de chuva e seca, da mudança na cobertura vegetal e implantação de sistemas agropecuários. Esses achados reafirmam que parâmetros biológicos e bioquímicos podem ser usados para indicar mudanças ambientais decorrentes do uso do solo, ou seja, podem ser utilizadas como indicadores de qualidade dos solos de Cerrado.

■ AGRADECIMENTO E FINANCIAMENTO

Universidade Estadual de Goiás; UEG/CAPES N. 817164/2015 – PROAP.

■ REFERÊNCIAS

1. ALLISON, S.D.; VITOUSEK, P.M. Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrient inputs. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, n. 5 p. 937-944, 2005.
2. ASSIS, P.C.R.; STONE, L.F.; MEDEIROS, J.C.; MADARI, B.E.; OLIVEIRA, J.M.; WRUCK, F.J. Physical attributes of soil in integrated crop-livestock-forest systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4. p.309–316, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316>. Acesso em: 20 fev. 2019.
3. ASSIS, P.C.R.; STONE, L.F.; SILVEIRA, A.L.R.; OLIVEIRA, J.M.; WRUCK, F.J.; MADARI, B.E. Biological Soil Properties in Integrated Crop-Livestock-Forest Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 41, s.n., p. 1-12, 2017. Disponível em: <https://doi:10.1590/18069657rbcs20160209>. Acesso em: 22 jan. 2019.
4. BALDRIAN, P. et al. Degradation of lignocellulose by *Pleurotus ostreatus* in the presence of copper, manganese lead and zinc. **Research Microbiology**, v.156, n. 5, p. 670-676, 2005.
5. BOROWIK, A.; WYSZKOWSKA, J. Soil moisture as a factor affecting the microbiological and biochemical activity of soil. **Plant Soil and Environment**, v. 62, n. 6, p. 250–255, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17221/158/2016-PSE>. Acesso em: 23 maio 2017.
6. CARNEIRO, M.A.C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n. 1, p. 147-157, 2009.

7. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de método de análise de solo**. 3ª ed., Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro: 2013.
8. FERREIRA, A.S. et al. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 23, n. 4 p. 991-996, junho, 1999.
9. BURNS, R.G. et al. Soil enzymes in changing environment: current knowledge and future directions. **Soil Biology & Biochemistry**, n. 58. p. 216-234, 2013.
10. GAZOLA, P.R.; GUARESCHI, R.F.; PERIN, A.; PEREIRA, M.G.; ROSSI, C.Q. Fractions of soil organic matter under pasture, tillage system and crop-livestock integration. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.
11. GOMES, S.S.; GOMES, M.S.; GALLO, A.S.; MERCANTE, F.M.; BATISTOTE, M. E SILVA, R.F. Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. **Revista de La Facultad de Agronomia**, v. 114, n. 3, p. 30-37, 2015.
12. GUIMARÃES, N.F.; GALLO, A.S.; FONTANETTI, A.; MENEHIN, S.P.; SOUZA, M.D.B.; MORINIGO, K.P.G.; SILVA, R.F. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/RCA16041>
13. HOFFMANN, R.B., MOREIRA, E.E.A.; HOFFMANN, G.S.S.; ARAÚJO, N.S.F. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v.1, n.1, p. 168-178, jul/set.2018.
14. LEMAIRE, G. et al. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 4-8, 2014.
15. MARKLEIN, A.R.; HOULTON, B.Z. Nitrogen inputs accelerate phosphorus cycling rates across a wide variety of terrestrial ecosystems. **New Phytologist**, v. 193, n. 3, p. 696-704. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03967.x>.
16. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Integração lavoura, pecuária e floresta promove recuperação de áreas de pastagem degradada**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/integracao-lavoura-pecuaria-e-floresta-ilpf>
17. MENDES, I.C. et al. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Caderno de Ciência e Tecnologia**, v. 32. n. 1/2. p.185-203. 2015.
18. MORAES, A. et al. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 54, p.4-9, 2014a.
19. NAHAS, E. Control of Acid Phosphatases Expression from *Aspergillus niger* by Soil Characteristics. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 58, n. 5, p. 658-666, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132015050485>
20. NANNIPIERI, P.; GIAGNONI, L.; RENELLA, G.; PUGLISI, E.; CECCANTI, B.; MASCIANDARO, G.; FORNAISER, F.; MOSCATELLI, M.C.; MARINARI, S. Soil enzymology: classical and molecular approaches. **Biology and Fertility Soils**. v. 48, p. 473-762, 2012.
21. PRATES, N.C.C.; BARBOSA, M.L.; PRATES, P.R.; OLIVEIRA, F.P. Final report of the municipal plan for Basic sanitation from Cachoeira Dourada, GO. 2019. Disponível em: http://cachoeira-dourada.go.gov.br/portal/wp-content/uploads/2019/09/PMSB_CACHOEIRA-DOURADA_RELAT%C3%93RIO-FINAL_otimizado.pdf. Accessed 19 may 2020.

22. PITON, G.; FOULQUIER, A.; MARTÍNEZ-GARCÍA, L. B.; LEGAY, N.; HEDLUND, K.; MARTINS DA SILVA, P.; CLEMENT, J. C. Disentangling drivers of soil microbial potential enzyme activity across rain regimes: An approach based on the functional trait framework. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 148, p.107881, p. 2020. Disponível em: doi:10.1016/j.soilbio.2020.107881
23. SEKARAN, U.; KUMAR, S.; GONZALEZ-HERNANDEZ, J.L. Integration of crop and livestock enhanced soil biochemical properties and microbial Community structure. **Geoderma**, v. 381, n. 114586, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114686>
24. SIMÕES, S.M.O.; ZILLI, J.E.; COSTA, M.C.G.; TONINI, H.; BALIEIRO, F.C. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de *Acacia mangium* no Cerrado de Roraima. **Acta Amazônica**. v. 40, n. 1, p. 23 – 30, 2010.
25. SINSABAUGH, R.L.; KLUG, M.J.; COLLINS, H.P.; YEAGER, P.E.; PETERSEN, S.O. Characterizing soil microbial communities, In: ROBERTSON, G.P.; COLEMAN, D.C.; BLEDSOE, C.S.; SOLLINS, P. (Eds.). **Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research Long-term ecological research**. Oxford University Press, New York: 1999. p. 318-348.
26. STIEVEN, A.C., OLIVEIRA, D.A., SANTOS, J.O., WRUCK, F.J., CAMPOS, D.T.A. Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 53-58, 2014.
27. TSCHARNTKE, T.; CLOUGH, Y.; WAGER, T.C.; JACKSON, L.; MOTZKE, I.; PERFECTO, I.; VANDERMEER, J.; WHITBREAD, A. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. **Biological Conservation**. v. 151, s.n., p. 53-59, 2012.
28. VINHAL-FREITAS, I.C.; CORRÊA, G.F.; WENDLING, B.; BOBUL'SKÁ, L.; FERREIRA, A.S. Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. **Ecology Indicators**, v. 74, p. 182–190, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.020>. Acesso em: 19 out. 2019.
29. WEATHER SPARK. Graphical weather reports from anywhere in the world. 2020. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/> Accessed 19 may 2020.
30. ZAGO, L.M.Z. et al. Enzimas extracelulares de solo de Cerrado como bioindicadores de qualidade em áreas agriculturáveis em Goiás, Brasil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environment Science**, v. 5, n. 1, 104-127, 2016.
31. ZAGO, L.M.S. et al. Biochemical indicators as parameters of changes in the fertility of Brazilian Cerrado soils. **International Current Research**. v.9, n.5, p.50979-50985, 2017.
32. ZAGO, L.M.S.; MOREIRA, A.K.O.; SILVA-NETO, C.M.; NABOUT, J.C.; FERREIRA, M.E.; CARAMORI, S.S. Biochemical activity in Brazilian Cerrado soil differentially affected by perennial and annual crops. **Australian Journal of crop Science**, v. 12, n. 02, p. 235-242, 2018.
33. ZAGO, L.M.S.; RAMALHO, W.P.; CARAMORI, S.S. Does Crop-Livestock-Forest Systems contribute to soil quality in Brazilian Savannas?. **Floresta e Ambiente**. v. 26, n.e20180343. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.034318>
34. ZAGO, L.M.S.; RAMALHO, W.P.; SILVA-NETO, C.M.; CARAMORI, S.S. Biochemical indicators drive soil quality in integrated crop-livestock-forestry systems. **Agroforest systems**. v. 94, p. 2249-2260, 2020.

Crescimento e produtividade da palma forrageira cv. orelha de elefante mexicana em função da densidade de plantas no semiárido piauiense

Francisca Emanuela Rodrigues de Abreu
EMATER - PI	Maria do Socorro de Souza Menezes
UESPI
Wanderson Fiares de Carvalho
IFPI - Campus Valença	Kátia Regina Ferreira Sousa
UFPI
Daniel Medeiros de Noronha Albuquerque
IFPI - Campus Valença	Átila Nogueira Holanda
IFPI - Campus Valença
Marcos Neves Lopes
IFPI - Campus Valença	Thayane Sterffany Barbosa da Silva
IFPI - Campus Valença

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da densidade de plantas sobre o crescimento e produtividade da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana no Semiárido piauiense. O experimento foi conduzido na Unidade de Aulas Práticas e Pesquisa do Setor de Agropecuária do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Campus de Valença do Piauí. Os tratamentos consistiram em quatro densidades de plantio (12.500, 25.000, 50.000 e 100.000 plantas ha^{-1}) avaliados em um delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Observou-se efeito positivo das densidades de plantas sobre a produção de biomassa de forragem fresca, obtendo-se produção de 200.000 kg ha^{-1} na densidade de 100.000 plantas ha^{-1} . Essa produtividade está associada principalmente aos maiores volumes, área e índices de área de cladódios das plantas nas maiores densidades, conforme a forte correlação entre a BFF e índice de área de cladódio. O aumento da densidade de plantas modifica as características morfofisiológicas da palma cv. Orelha de Elefante Mexicana, com impacto na produção de biomassa de forragem fresca. Com índices pluviométricos semelhantes ao deste estudo ou uso de irrigação, pode-se adotar densidade de 100.000 plantas ha^{-1} no cultivo da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana.

Palavras-chave: Cactáceas, Espaçamento, Índice de Área de Cladódio, Produção de Forragem.

■ INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro é uma região caracterizada por apresentar escassez e irregularidades de chuvas, elevada evaporação anual e solos rasos com baixa capacidade de retenção hídrica, o que influencia a disponibilidade e qualidade de forragem anualmente (SILVA *et al.*, 2014a) e, conseqüentemente, limita a produção de alimentos para o rebanho.

Nesse contexto, a palma forrageira surge como importante alternativa, pois é uma planta adaptada às condições edafoclimáticas das regiões semiáridas e pode constituir-se em importante reserva de forragem. A presença de espinhos em vez de folhas, caules do tipo cladódio, classificados como suculentos e processo fotossintético do tipo CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), no qual a fixação do CO₂ ocorre à noite (BRITO *et al.*, 2018), são os mecanismos pelos quais torna a palma forrageira resistente ao déficit hídrico. Por apresentar essas características, possui alta eficiência no uso de água (SILVA *et al.*, 2014). Vale mencionar que a palma forrageira cv. 'Gigante' manejada com colheita bianual na região semiárida de Tejuçuoca apresentou eficiência no uso da chuva de 19,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹, sob doses de 190,0 e 130,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e P₂O₅, respectivamente (LOPES *et al.*, 2018).

Outras vantagens da palma forrageira são a facilidade no plantio, alta produção de biomassa de forragem, elevado coeficiente de digestibilidade da matéria seca e o alto teor de umidade do cladódio, importante característica para o suprimento de parte da necessidade de água do rebanho, principalmente no período seco do ano (AGUIAR *et al.*, 2015). A palma forrageira é uma importante fonte de forragem comprovadamente adaptada às condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro, o que contribui para uma maior sustentabilidade da produção de forragem durante o ano para os rebanhos dessa região do Brasil (CÂNDIDO *et al.*, 2013).

A pecuária, no Nordeste brasileiro, caracteriza-se pela exploração extensiva de bovinos, ovinos e caprinos. A vegetação de caatinga, típica do Semiárido brasileiro, constitui a base da alimentação desses animais. Por outro lado, trata-se de uma pastagem que apresenta baixa capacidade de suporte, com produção de biomassa de forragem bastante variável ao longo do ano, sendo observada produção média de 4.000 kg ha⁻¹, no período chuvoso, e até menos de 2000 kg ha⁻¹, no período seco (ANDRADE *et al.*, 2010). Assim, vale ressaltar que a palma forrageira é um alimento estratégico que pode contribuir para aumentar a oferta de alimento em quantidade e com qualidade, principalmente durante o período de estiagem no Nordeste (ANDRADE *et al.*, 2010).

A utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes deve ser associada com outros alimentos volumosos e proteicos em formulações de dietas (AGUIAR *et al.*, 2015; MARQUES *et al.*, 2017). Apesar da necessidade de associação da palma forrageira com fontes de fibra e de proteína, na prática, a forma mais comum de fornecimento é picada no

cocho, sem a mistura de qualquer outro alimento, o que pode influenciar no funcionamento das atividades do trato gastrointestinal dos animais, como a ruminação, movimentação ruminal e salivação, causando problemas como diarreias (ALMEIDA, 2012).

Diversos fatores de manejo podem influenciar a produtividade da palma forrageira, como o espaçamento e densidade de plantio, que podem alterar a interceptação luminosa e eficiência fotossintética da planta. O espaçamento tradicionalmente utilizado no cultivo da palma forrageira no Nordeste brasileiro é de 1 m x 1 m entre linhas e entre plantas, totalizando 10.000 plantas ha⁻¹ (RAMOS *et al.*, 2017). Por outro lado, o cultivo mais adensado de palma forrageira tem proporcionado maiores ganhos de produtividade por área (SILVA *et al.*, 2014).

Alguns estudos foram realizados no Brasil com a finalidade de se definir a distância entre linhas e plantas que se ajuste melhor aos sistemas de produção adotados pelos produtores rurais (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2009; NASCIMENTO *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014a; CAVALCANTE *et al.*, 2014). Na região Nordeste, o espaçamento predominante no cultivo da palma é o de 1 m entrelinhas e a densidade das plantas depende desse espaçamento (NEVES *et al.*, 2010).

O plantio geralmente é realizado em sulcos, com as raquetes dispostas uma após a outra, no sentido leste/oeste e com 50% do seu comprimento enterradas ao solo. O espaçamento de plantio da palma forrageira interfere na interceptação da luz e eficiência fotossintética, podendo influenciar no desenvolvimento e na produtividade da cultura (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2010). Os plantios mais adensados proporcionam maiores produções, porém esse sistema requer maiores investimentos na implantação e exige mais atenção nos tratos culturais e controle de pragas. Ainda é possível o emprego de espaçamentos em fileira dupla, possibilitando a utilização de consórcio com outras culturas (CAVALCANTE *et al.*, 2014).

Nesse contexto, ressalta-se que ainda são escassas as pesquisas para a avaliação da densidade de plantio ideal da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana nas condições edafoclimáticas do Semiárido piauiense. Dessa forma, objetivou-se avaliar a produtividade da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana quando submetida a diferentes densidades de plantio no Semiárido piauiense.

■ MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de novembro 2018 a abril 2019 na Unidade de Aulas Práticas e Pesquisa do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Campus de Valença do Piauí (6° 24' 27" S, 41° 44' 44" W e altitude 74,4 m). O clima da região é tropical semiárido quente (Köppen, 1948), com temperaturas médias entre 26°C a 35°C e precipitação média anual de 1010 mm (CEPRO, 2001). Os totais de precipitação pluviométrica e temperatura média dos meses de novembro de 2018 a abril de 2019 podem

ser observados na Figura 1. Os tratamentos consistiram em quatro densidades de plantio (12.5000, 25.000, 50.000 e 100.000 plantas ha⁻¹).

O espaçamento entre as linhas de plantio foi de 1,0 m dentro dos tratamentos, diferenciando apenas o espaçamento entre as plantas, que foram, respectivamente, de 10 cm, 20 cm, 40 cm e 80 cm. A variedade de palma forrageira cultivada foi *Opuntia tuna* (L.) Mill. cv. Orelha de Elefante Mexicana. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos completos casualizados, com quatro repetições.

Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura média (°C) no período experimental em Valença do Piauí - PI, Brasil.

Fonte: Freemeteo.

Cada densidade de plantio teve quatro linhas de plantas com 20 m de comprimento, totalizando uma área experimental de 320 m², sendo considerada como área útil as duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m nas extremidades da mesma (Figura 2). A área experimental foi preparada em outubro de 2018, com 30 dias de antecedência do plantio, realizando-se uma aração, seguida de duas gradagens. Posteriormente, foram abertos sulcos com 30 cm de largura por 30 cm de profundidade.

Figura 2. Implantação da área experimental (A) e estabelecimento da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (B), em diferentes densidades.

(A)

(B)

O solo da área experimental é classificado como latossolo vermelho-amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999) e apresenta as seguintes composições: pH (CaCl₂) = 3,93; 0,92 mg dm⁻³ de P; 1,58 mg dm⁻³ de K; 0,59 cmolc dm⁻³ de Ca; 0,35 cmolc dm⁻³ de Mg; 0,14 cmolc dm⁻³ de Al; 1,21 cmolc dm⁻³ de H+Al; 5,97 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 870 g kg⁻¹ de areia; 40 g kg⁻¹ de silte e 90 g kg⁻¹ de argila.

Realizou-se a calagem do solo, atendendo-se o período de 30 dias antes do início do experimento, de acordo com o método de saturação de bases, elevando-se a saturação por base para 60%, utilizando-se calcário dolomítico A adubação de cobertura foi realizada com 30 dias após o plantio, aplicando-se 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples, 18% de P₂O₅), 50 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio, 60% de K₂O) e 100 kg ha⁻¹ de N (ureia, 45% de N). O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento em fileiras simples, com uniformização de distribuição de água de 97%, adotando-se gotejadores espaçados por 0,4 m, com vazão de 1,5 L h⁻¹.

O material de propagação vegetal utilizado foram cladódios de palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, oriundos de vendedor credenciado junto ao Ministério da Agricultura. Foram utilizados cladódios intermediários (nem da base, nem dos extremos da planta), grandes, vigorosos e livres de manchas e da presença de pragas e/ou doenças. Após o corte, no campo, o material foi colocado em repouso, à sombra, por um período de sete dias, para cicatrização. Esse processo de cura ocorreu para impedir a entrada de microorganismos, com a finalidade de se evitar o apodrecimento das raquetes. O plantio foi efetuado com os cladódios posicionados um atrás do outro, dentro dos sulcos, enterrados dois terços na base, para garantir a firmeza, na posição vertical, com as faces no sentido leste/oeste, espaçados de acordo com os tratamentos testados.

Durante o período experimental, a partir de 30 dias até 180 dias após o plantio, foram realizadas mensurações biométricas dos cladódios, semanalmente, conforme descrito por Cunha *et al.* (2012). Essas avaliações biométricas consistiram no registro do número de cladódios por planta (NCP), da altura da planta (AP), do comprimento (CC) e largura (LC) de cladódios, com o auxílio de uma fita métrica, da espessura (EC), com paquímetro digital, e da área dos cladódios (AC). Estimou-se também o volume de cladódios (VC). Os cladódios produzidos foram quantificados e marcados com fios e cores diferentes, seguindo a ordem de aparecimentos de cladódios na planta.

De posse das medidas biométricas, calculou-se a taxa de aparecimento de cladódio (cladódio dia⁻¹), as taxas de alongamento de cladódio (cm dia⁻¹), de alargamento de cladódio (cm dia⁻¹), de espessamento de cladódio (cm dia⁻¹). As taxas de alongamento, alargamento e espessamento foram calculadas ao subtrair a última medição pela primeira e dividir pelo número de dias.

A produção de biomassa de forragem fresca (BFF) foi determinada pesando-se a biomassa fresca dos cladódios e multiplicando-se pelo número de cladódios. Foram utilizados modelos matemáticos pré-ajustados para determinação da área dos cladódios (AC) do clone Orelha de Elefante Mexicana (SILVA *et al.*, 2014b). O índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²), foi obtido por meio do produto entre os valores médios de AC por ordem e o número total de cladódios da planta por ordem, dividido pela área de solo ocupada. Os resultados foram submetidos à análise da variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no software estatístico Infostat® (DI RIENZO *et al.*, 2020).

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi observado efeito ($p>0,05$) da densidade de plantio sobre as características estruturais e morfogênicas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (Tabela 1). O fato de as mensurações concentrarem-se na fase inicial de desenvolvimento da planta e das características morfológicas serem determinadas geneticamente (NABINGER; PONTES, 2001) pode ter contribuído para esse efeito. Conforme Dubeux Júnior *et al.* (2006), em palma forrageira cv. Gigante aos dois anos após o plantio, observaram-se maior número de cladódios por planta na densidade de 5.000 plantas ha⁻¹ comparado com a densidade 40.000 plantas ha⁻¹.

Tabela 1. Características estruturais e morfogênicas de palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em diferentes densidades de plantio.

Características estruturais e morfogênicas	Densidade de plantio (plantas ha ⁻¹)				
	12.500	25.000	50.000	100.000	EPM*
Altura da planta (cm)	54,08	51,75	42,73	48,00	1,48
Número de cladódios (clad. planta ⁻¹)	8,00	7,00	6,63	6,38	0,23
Comprimento do cladódio (cm)	20,81	20,80	21,57	22,37	0,27
Largura do cladódio (cm)	12,42	13,15	13,43	13,22	0,15
Espessura do cladódio (cm)	0,84	0,86	0,87	0,85	0,01
Taxa de aparecimento de cladódios (clad. dia ⁻¹)	0,060	0,058	0,056	0,048	0,003
Taxa de alongamento de cladódios (cm dia ⁻¹)	0,148	0,131	0,174	0,144	0,004
Taxa de espessamento de cladódios (cm dia ⁻¹)	0,014	0,013	0,012	0,013	0,001

*EPM = Erro padrão da média.

As densidades de plantios refletiram em efeito positivo ($p<0,05$) sobre a produção de biomassa de forragem fresca total (BFFT) da palma cv. Orelha de Elefante Mexicana (Figura 3). A BFFT na densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ foi de 200.000 kg ha⁻¹. A produtividade é uma consequência do número de cladódios e do número de plantas (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2006), assim, apesar de não haver efeito das densidades sobre o número de cladódios a produtividade foi consequência da forma de plantio, com mais plantas por área, em que a densidade de 1000 plantas ha⁻¹ proporcionou a produção de 63,8 cladódios m⁻².

Figura 3. Produção de biomassa de forragem fresca total de palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em diferentes densidades.

Nota: Letras iguais nas barras não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A quantidade de chuva durante o período experimental favoreceu a alta produtividade de biomassa de forragem fresca (Figura 1), sendo observada precipitação total de 1318 mm, superior à média anual da região. A produção de biomassa de forragem fresca observada no presente estudo, num período de 180 dias, foi superior à verificada por Silva *et al.* (2015), de 163.000 kg ha⁻¹ em dois anos de cultivo de sequeiro no interior do Pernambuco, o que demonstra a grande produtividade da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana na densidade de 100.000 plantas ha⁻¹, mesmo em menor período.

As densidades de plantios influenciaram ($p < 0,05$) positivamente o volume médio dos cladódios da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (Figura 4). Nas plantas cultivadas na densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ foi observado volume médio de 193,1 cm³, já para a densidade de 12.550 plantas ha⁻¹ foi de 155 cm³, representando um aumento de 20%.

O alto volume de chuva ocorrido no período experimental foi preponderante para o aumento no volume do cladódio, pois em condição hídrica adequada o cladódio chega a ter cerca de 95% de água. Isso ocorre devido a abertura estomática da palma forrageira acontecer somente durante à noite, o que aumenta a eficiência do uso da água (ROCHA *et al.*, 2017). A alta densidade de plantas resulta em maior eficiência de utilização da água pela palma forrageira (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2006), o que explica o maior volume observado na maior densidade de plantas no presente estudo.

Figura 4. Volume dos cladódios de palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em diferentes densidades de plantios.

Nota: Letras iguais nas barras não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A maior área do cladódio foi 215,4 cm², observado para o cultivo com densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ (Figura 5). Esse valor foi inferior ao observado por Melo *et al.* (2019), de 898,5 cm², devido ao período de avaliação ter ocorrido no desenvolvimento inicial da planta.

Figura 5. Área de cladódio da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em diferentes densidades de plantios.

Nota: Letras iguais nas barras não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O índice de área dos cladódios (IAC) aumentou com a densidade de plantio (Figura 6), sendo observado incremento de 0,3 (12.500 plantas ha⁻¹) para 3,4 (100.000 plantas ha⁻¹), representando um incremento de 91%.

Figura 6. Índice de área de cladódio de palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em diferentes densidades de plantio.

Nota: Letras iguais nas barras não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao avaliar a morfometria de palma forrageira cv Orelha de Elefante Mexicana sob lâminas de irrigação e adubação, Melo *et al.* (2019) obtiveram valor de 2,1 m² m⁻² na lâmina de 4,5 L planta⁻¹ semana⁻¹ associada a uma adubação com 20.000 kg ha⁻¹ de esterco caprinos, valor inferior ao obtido neste estudo. Em estudo com palma forrageira na densidade de 40.000 plantas ha⁻¹, Dubeux Júnior *et al.* (2006), constataram valores semelhantes de IAC na densidade de 50.000 plantas ha⁻¹ para o presente estudo. Como resultado do maior IAC nos cultivos mais adensados as culturas apresentam maior interceptação da radiação solar, maior eficiência fotossintética e menor ação de ervas espontâneas, devido ao maior sombreamento do solo, quando comparados a espaçamentos tradicionais (PETINARE *et al.*, 2012).

A taxa de alargamento de cladódios de palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana foi influenciada ($p < 0,05$) pelas densidades de cultivo (Figura 7). A densidade de 25.000 plantas ha⁻¹ apresentou menor alargamento de cladódios, com valor médio de 0,13 cm dia⁻¹. A principal característica morfológica associada a esse fator é a largura final do cladódio, que está diretamente relacionada ao volume de cladódio e consequentemente a produção de biomassa de forragem fresca. Mesmo na maior densidade de plantas a taxa de alargamento de cladódios foi igual a menor densidade avaliada, demonstrando não ter sido o fator determinante para a diferença na produção de biomassa de forragem fresca nesse estudo.

Figura 7. Taxa de alargamento de cladódio da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em diferentes densidades de plantios.

Nota: Letras iguais nas barras não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em situações em que palmas de crescimento vertical (*Opuntia sp.*) são cultivadas em maiores densidades há uma redução na largura e comprimento do cladódio como consequência das menores taxas de alongamento e alargamento de cladódios e aumento da espessura média, pois as plantas tentam se adaptar para reduzir o estresse hídrico, mas isso geralmente acontece quando os palmais passam por longos períodos de falta de água (SILVA *et al.*, 2014). No entanto, o período experimental teve boa disponibilidade de água (1318 mm), talvez por isso essas características tenham sido pouco influenciadas pela densidade de plantas.

Foi observada correlação positiva ($p < 0,05$) entre o IAC e a produção total de biomassa de forragem fresca (Figura 8). Como resultado da maior área de cladódio e do maior IAC nos cultivos adensados, ocorre maior interceptação de luz e, conseqüentemente, maior produtividade de forragem. Como fator primário para o incremento da produtividade e do IAC temos o número de cladódios por planta. Estudos indicam relação positiva entre o IAC e número médio de cladódios (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2009). No presente estudo, embora não tenha havido efeito da densidade de plantio sobre o número médio de cladódios, houve maior número de plantas por área na maior densidade de plantio, resultando em maior IAC.

Figura 8. Correlação entre a produção de biomassa de forragem fresca e o índice de área do cladódio da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em diferentes densidades de plantios.

■ CONCLUSÃO

A densidade de plantio de 100.000 plantas ha⁻¹ aumenta a produção de biomassa de forragem fresca da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana na fase inicial de desenvolvimento da planta.

■ REFERÊNCIAS

1. AGUIAR, M. S. M. A.; SILVA, F. F.; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, E. S. O.; COSTA, L. T.; MATEUS, R. G.; SOUZA, D. R.; SILVA, V. L. Palma forrageira em dietas de novilhas leiteiras confinadas: desempenho e viabilidade econômica. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 1013-1030, 2015.
2. ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no Semiárido brasileiro. **Revista Verde**, v. 7, n. 4, p. 08-14, 2012.
3. ANDRADE, A. P.; COSTA, R. G.; SANTOS, E. M.; SILVA, D. S. Produção animal no semiárido: o desafio de disponibilizar forragem, em quantidade e com qualidade, na estação seca. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 4, n. 4, p. 01-14, 2010.
4. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO PIAUÍ. Fundação CEPRO. PiauÍ, 2001. Disponível em: http://www.cephro.pi.gov.br/download/201106/CEPRO21_2fb91fdf6e.pdf. Acesso em: 12 de julho de 2018.
5. BRITO, C. F. B.; DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. Photochemical efficiency in cladodes of ‘Gigante’ cactus pear cultivated under different spacings and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 338-343, 2018.

6. CÂNDIDO, M. J. D.; GOMES, G. M. F.; LOPES, M. N.; XIMENES, L. J. F. Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. **Informe Rural Etene**, v. 2, n. 3, 2013.
7. CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. A.; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.
8. CUNHA, D. N. F. V.; GOMES, E. S.; MARTUSCELLO, J. A.; AMORIM, P. L.; SILVA, R. C.; FERREIRA, P. S. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, n. 4, p. 1156-1165, 2012.
9. DI RIENZO, J. A. et al. **InfoStat versão 2011**. Disponível em: <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=32>. Acesso em: 10 de junho de 2020.
10. DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira Clone IPA-20. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010.
11. DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; FERREIRA, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., under different N and P fertilization and plant population in North-east Brazil. **Journal of Arid Enviroments**, v. 67, n. 3, p. 357-372, 2006.
12. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999, 412 p.
13. KOPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.
14. LOPES, M. N.; CÂNDIDO, M. J. D.; GOMES, E. C.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G. Bio-mass flow and water efficiency of cactus pear under diferente managements in the Brazilian Semiarid. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 2, p. 324-333, 2018.
15. MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. S.; PIRES NETO, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.
16. MELO, G. D. A.; BATISTA, M. C.; SANTOS, J. P. O.; SILVA, J. L. C.; CARTAXO, P. H. A.; GONZAGA, K. S.; PEREIRA, D. D. Morfometria de cladódios de *Opuntia stricta* sob lâminas de irrigação e adubação orgânica no semiárido paraibano. **Arquivos de Ciências Veterinária e Zoologia UNIPAR**, v. 22, n. 4, p. 109-114, 2019.
17. NABINGER, C.; PONTES, L.S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p.755-771.
18. NASCIMENTO, J. P.; SOUTO, J. S.; SANTOS, E. S.; DAMASCENO, M. M.; RAMOS, J. P. F.; SALES, A. T.; LEITE, M. L. M. V. Caracterização morfométrica de *Opuntia ficus-indica* sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.5, n.3, p.21-26, 2011.

19. NEVES, A. L. A.; PEREIRA, L. G. R.; NEVES, A. L. A.; VOLTOLINI, T. V.; ARAUJO, G. G. L. de; MORAES, S. A. de; ARAGÃO, A. S. L. de; COSTA, C. T. F. **Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros no semiárido brasileiro**. EMBRAPA - Juiz de Fora, MG, dezembro, 2010 (Comunicado Técnico 62)
20. OLIVEIRA JUNIOR, S.; BARREIRO NETO, M.; RAMOS, J. P. F.; LEITE, M. L. M. V.; BRITO, E. A.; NASCIMENTO, J. P. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia fícus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido paraibano. **Tecnologia e Ciência agropecuária**, v. 3, n. 1, p. 7-12, 2009.
21. RAMOS, J. P. F.; SOUZA, J. T. A.; SANTOS, E. M.; PIMENTA FILHO, E. C.; RIBEIRO, O. L. Crescimento e Produtividade de *Nopalea Cochenillifera* em função de diferentes densidades de plantio em cultivo com e sem capina. **Revista electrónica de Veterinaria**, v. 18, n. 8, 2017.
22. ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 363-371, 2017.
23. SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 2064-2071, 2014a.
24. SILVA, T. G. F.; MIRANDA, K. R.; SANTOS, D. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, M. C.; CRUZ NETO, J. F.; ARAÚJO, J. E. M. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Agrária**, v.9, n.4, p.633-641, 2014b.
25. SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v.28, p.10-18, 2015.

Desmatamento e políticas climáticas no Brasil: o papel do incentivo a uma agricultura de baixo carbono

| **Jonathan Gonçalves da Silva**
UFGD

| **Roselaine Bonfim de Almeida**
UFGD

| **Juliano dos Santos Cardoso**
UFGD

RESUMO

O Brasil assumiu, na Conferência das Partes realizada em Paris em 2015 (COP-21), o compromisso de reduzir as emissões domésticas de gases de Efeito Estufa (GEE) em 37% até 2025 e em 43% até 2030. O país pretende, ainda, controlar o desmatamento na Amazônia e recuperar 12 milhões de hectares de florestas. Os mercados também passaram a exigir a conformidade ambiental na produção agropecuária. Assim, para cumprir os compromissos apresentados na COP-21 e evitar sanções comerciais, o Brasil precisa reduzir suas emissões de GEE. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo apresentar e analisar os índices de emissões de GEE nos setores agrícolas e de mudança do uso da terra no Brasil. Bem como definir e contextualizar o Plano ABC e o mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD), duas importantes políticas climáticas brasileiras com o foco na redução do desmatamento e na promoção da agricultura de baixo carbono. Busca-se, ainda, avaliar os efeitos dessas políticas em termos de emissões domésticas de gases de Efeito Estufa (GEE) e a sua influência na atividade agropecuária. Foram disponibilizados, respectivamente, R\$ 25,67 bilhões e US\$ 1,13 bilhões para esses programas. Enquanto os recursos disponibilizados para o Plano ABC excedem a demanda, faltam recursos para o REDD. Apesar de entraves burocráticos e culturais, que dificultam a otimização e a alocação eficiente desses recursos, ao longo de sua execução, essas políticas contribuem para o controle e diminuição das emissões de GEE. O REDD promoveu a redução das emissões históricas no setor florestal em cerca de 4,30 bilhões de tCO₂. O Plano ABC, através da melhoria nos sistemas produtivos agropecuários, estima, até 2020, uma redução nas emissões do setor em até 50,89 milhões de tCO₂e. As duas políticas, se saneadas e executadas em conjunto, podem ajudar o Brasil a implementar uma produção de baixo carbono e, consequentemente, reduzir as emissões domésticas de GEE.

Palavras-chave: Políticas, Combate, Desmatamento, Plano ABC, REDD.

■ INTRODUÇÃO

O controle das emissões de GEE é um dos principais desafios para governos, empresas, consumidores, ou seja, para a sociedade em geral, pois, conforme destaca o Painel Intergovernamental para Mudanças do Clima (IPCC, 2014) as emissões de GEE provocam alterações ambientais extremas, como o aquecimento global, que atingem indistintamente todos os habitantes do planeta. Caso sejam mantidos os níveis crescentes de emissões de GEE e de degradação dos recursos naturais, as alterações climáticas podem deteriorar o bem-estar das gerações atual e futuras (GOLLIER; TIROLE, 2015).

A reversão desse quadro depende da atuação das nações no controle das emissões, bem como no seu comportamento energético, além da vontade política e dos recursos disponíveis para transição do modelo produtivo atual para uma economia de baixo carbono (VIOLA; FRANCHINI, 2014).

O comportamento dos consumidores também é importante nesse processo, pois, além do potencial para reduzir as suas próprias emissões, também pode promover mudanças no setor produtivo, ao valorizar ou boicotar produtos em razão da quantidade de emissões em sua cadeia de produção (CUPERSHMID; TAVARES, 2002).

Os setores de mudança de uso da terra e florestas (LUCF, sigla em inglês) e a agricultura, em 2014, foram responsáveis pela maior parte das emissões nacionais de GEE (WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI, 2018). Assim, para reduzir suas emissões e se adequar ao mercado, o Brasil tem o desafio de promover uma agricultura de baixo carbono e combater a degradação florestal.

Nesse contexto, o país apresentou na Conferência das Partes de Paris (COP-21), em 2015, suas contribuições nacionalmente determinadas (iNDC, sigla em inglês) para o enfrentamento das questões climáticas. A iNDC, aprovada pelo Congresso Nacional brasileiro em 2016, estabeleceu uma redução de 37% das emissões de GEE até 2025 e 43% até 2030, tendo por base, em os ambos os casos, os níveis emitidos em 2005. O Brasil pretende, ainda, controlar o desmatamento na Amazônia e recuperar 12 milhões de hectares de florestas, o que exige mudanças em vários sistemas produtivos nacionais (BRASIL, 2017).

O desafio está em editar e aplicar políticas públicas internas que permitam uma transição, sem prejuízos econômicos e sociais, do atual sistema produtivo para uma economia menos carbono-intensiva. Isso deve ser feito com metas de redução de emissões para diversos setores produtivos, em especial com ações para a racionalização do uso da terra para não comprometer o meio ambiente e a economia nacional.

Assim, as políticas em curso no Brasil são fundamentais para reduzir as emissões e enfrentar as mudanças climáticas. Além disso, a inobservância desses acordos internacionais pode resultar na imposição de retaliações comerciais e econômicas, como o boicote a

produtos sem certificação ambiental, ou até mesmo a exclusão definitiva de alguns setores produtivos do mercado internacional (TIROLE, 2008).

Desse modo, para assegurar o acesso a mercados cada vez mais exigentes, o Brasil tem o desafio de promover a mudança do atual sistema produtivo para outro de baixo conteúdo de carbono. Ademais, os países que adotarem esse novo padrão de desenvolvimento podem receber incentivos financeiros, via mercados de carbono e pagamentos por serviços ambientais (SOARES-FILHO *et al.*, 2010b).

Acredita-se que os custos desse processo de adequação podem ser atenuados por meio da combinação de políticas climáticas (TIROLE, 2008). Contudo, ainda há espaço para avaliações dos custos e dos benefícios de políticas como o mecanismo de REDD e o Plano ABC da Agricultura, que atuam tanto no controle do desmatamento ilegal quanto no financiamento e na promoção da agropecuária de baixo carbono (ARIMA *et al.*, 2014).

Diante do exposto é de bastante relevância analisar os repasses públicos e privados para os planos ABC e REDD, o que pode contribuir para o entendimento e para as discussões sobre como esses recursos estão sendo alocados, sobretudo em um contexto econômico desfavorável. Além disso, o exame das contribuições do REDD e do Plano ABC na redução das emissões brasileiras de GEE e no fomento de uma produção de baixo carbono pode indicar sua efetividade como políticas climáticas de adequação ambiental.

Desse modo, este estudo tem por objetivo apresentar e analisar os índices de emissões de GEE nos setores de mudança do uso da terra e da agricultura no Brasil. Bem como definir e contextualizar o Plano ABC e o mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD), duas importantes políticas climáticas brasileiras com o foco na redução do desmatamento e na promoção da agricultura de baixo carbono. Busca-se, ainda, avaliar os efeitos dessas políticas em termos de emissões domésticas de gases de Efeito Estufa (GEE¹) e a sua influência na atividade agropecuária

Este artigo está subdividido em mais cinco seções além desta introdução. A primeira é destinada à revisão da literatura; a segunda, ao procedimento metodológico; a terceira, dedicada à caracterização do Plano ABC e do REDD; a quarta, à avaliação das políticas; e a quinta seção, às considerações finais.

1 O aquecimento global é causado por gases de Efeito Estufa (GEE), tais como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), decorrentes, principalmente, da queima de combustíveis fósseis e do desmatamento. Esses gases impedem ou dificultam a dissipação do calor na atmosfera (WART, 2015).

■ REVISÃO DE LITERATURA

As emissões de GEE, no mundo, passaram de 30 gigatoneladas de carbono equivalente por ano ($\text{GtCO}_2\text{e./ano}$) em 1970 para 49 $\text{GtCO}_2\text{e./ano}$ em 2010 (IPCC, 2014). As consequências extremas dessas emissões e a extensão dos impactos das mudanças climáticas fizeram do seu controle um desafio global, em que o Brasil assume papel de destaque, por suas dimensões territoriais, populacionais e econômicas, além de seus recursos ambientais e naturais (VIOLA; FRANCHINI, 2014).

As principais fontes nacionais de GEE estão historicamente relacionadas às mudanças do uso da terra, à degradação florestal e à atividade agropecuária (ARIMA *et al.*; 2014; FEARNSADE, 2008). Essas emissões foram, em certa medida, influenciadas pela expansão da fronteira agrícola no Brasil, uma vez que tal atividade agropecuária tem o fator terra como seu principal insumo.

Analisando o lançamento de GEE por setores produtivos, Viola (2013) destaca que o setor agropecuário vem aumentando suas emissões. Essa situação pode ser potencializada pelo aumento na demanda mundial por alimentos. Para alimentar a população, que em 2050 poderá atingir o montante de 9,1 bilhões de pessoas, conforme destaca a Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO, sigla em inglês), a produção de alimentos deve aumentar em 70%.

Sparovek *et al.* (2016), sobre o tema, advertem que a manutenção dos padrões atuais de produção, combinada ao crescimento adicional da atividade agrícola em razão do aumento na demanda por alimentos, pode resultar na conversão em grande escala de florestas e outras vegetações nativas em áreas agrícolas, estimulando, assim, as emissões desse setor.

Estudos publicados sobre o tema destacam o potencial da agricultura como fonte de emissões de GEE e sugerem a implementação de políticas para a promoção de estratégias para uma atividade agrícola de baixo carbono, indicando a necessidade do desenvolvimento de ações que não apenas limitem as emissões de GEE, mas que também ofereçam outros benefícios ambientais e ecossistêmicos, como o maior sequestro de carbono e o pagamento de serviços ambientais (NORSE, 2012; PAIXÃO; BACHA, 2015; REIS *et al.*, 2017).

Lima (2012) enfatiza que, além da redução das emissões, a adequação ambiental pode facilitar o acesso ao crédito financeiro e marcar o fim da insegurança jurídica nesse setor. Como preconizam Rajão e Soares-Filho (2015), a boa gestão ambiental das terras privadas do Brasil será fundamental para o sucesso da contribuição brasileira aos esforços globais para mitigar as alterações climáticas, além de manter o mercado aberto aos produtos nacionais.

Desse modo, as políticas climáticas nacionais, pela sua importância, têm sido objeto de vários estudos. Contudo, poucos trabalhos se dedicaram à análise conjunta das contribuições econômicas e ambientais dos principais instrumentos do Plano ABC e do REDD para

o Brasil, em especial a suas influências no setor produtivo agropecuário. Nesse contexto, o estudo proposto visa contribuir com a apresentação e a análise dos resultados obtidos nos desenvolvimentos do Plano ABC e do REDD. O artigo pretende, também, colaborar na compreensão e resolução das ineficiências na alocação dos recursos para o desenvolvimento dessas duas importantes políticas climáticas, identificando seus entraves e sugerindo soluções para aumentar sua eficiência.

■ PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho proposto consiste, basicamente, na coleta de dados sobre as emissões de GEE no mundo e no Brasil e em analisar se as políticas climáticas nacionais, principalmente o Plano ABC e REDD, estão contribuindo para a redução das emissões e na condução do setor agropecuário aos novos ditames da agricultura de baixo carbono.

Iniciou-se o trabalho com as definições e as caracterizações, com base na leitura especializada, das principais políticas descritas no Plano ABC e no REDD.

Já os índices de desmatamento, emissões de GEE, bem assim os resultados e o montante financeiro disponibilizado para a concretização do Plano ABC e do REDD, foram coletados dos dados disponibilizados pelas principais instituições civis e estatais destinadas ao controle e financiamento das questões ambientais, no Brasil e no mundo.

Por fim, com base nas informações coletadas, foi realizada uma análise sobre a efetividade dessas políticas, identificando se e o quanto já colaboraram para a redução de emissões e contribuíram para uma agropecuária de baixa emissão de GEE.

■ ANÁLISE DA QUESTÃO CLIMÁTICA E DAS EMISSÕES DE GEE NO BRASIL E NO MUNDO

Em 1990, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) alertou para o fato de que as emissões de GEE estariam elevando a temperatura da Terra (Figura 1) e, por consequência, aumentando a ocorrência de enchentes, secas, ondas de calor e elevação dos níveis dos oceanos (WART, 2015).

Figura 1. Evolução histórica do aumento da temperatura terrestre, por hemisfério, medida anualmente e em graus Celsius (Cº).

Fonte: adaptado de Schmidt et al. (2016).

Assim, em 1992, a ONU organizou a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento na cidade do Rio de Janeiro. Apesar de não contar com a presença dos países mais poluidores à época, a conferência teve sua importância por marcar o primeiro encontro da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, sigla em inglês), dando início, assim, a uma sequência de Conferências das Partes (COP) para se discutir, no âmbito mundial, a diminuição da emissão de poluentes capazes de aumentar a temperatura do planeta (ALVES, 2015).

Em 2015, em Paris, foi realizada a COP-21, uma das conferências climáticas mais importantes já organizadas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, sigla em inglês), em decorrências dos resultados obtidos. Nesse encontro, países desenvolvidos, em desenvolvimento e pobres comprometeram-se a implementar ações para reduzir as emissões de GEE e a mitigar as mudanças climáticas (GUTIÉRREZ, 2015).

De acordo com o *World Resources Institute* (2017), China e Estados Unidos lideram as emissões mundiais de GEE (Tabela 1). Referenciados como potências industriais, esses dois países têm suas emissões concentradas no setor energético. Logo, qualquer política eficiente de redução de emissões deverá incidir diretamente na adequação dos sistemas produtivos daqueles países, principalmente no setor industrial, que utiliza, em grande medida, combustíveis fósseis, como carvão e petróleo.

Tabela 1. Emissões de GEE por país em 2012.

País	Emissões de GEE por Setor (Mt CO ₂ e)				
	Energia	Agricultura	Indústria	Outros	Totais
1º - China	8.649,8	831,6	1.296,5	197,6	10.975,5
2º - EUA	5.460,6	353,9	257,5	163,1	6.235,1
3º - União Europeia	3.632,6	407	218,8	140,7	4.399,1
4º - Índia	2.126,5	658,8	169	59,5	3.013,8
5º - Rússia	2.086,5	92,9	70,5	72,3	2.322,2
6º - Japão	1.233,9	23,9	82,2	4,6	1.344,6
7º - Brasil	469,7	444,4	53,9	44,5	1.012,05
8º - Indonésia	519,3	163,2	14,3	64	760,8
9º - México	490,7	83,4	40,5	109,2	723,9
10º - Irã	618,7	41,2	33,1	21,9	715

Fonte: World Resources Institute (WRI, 2017).

No Brasil, conforme Tabela 1, as emissões estão concentradas nos setores energéticos e agrícola, sendo que só a agricultura responde pela emissão de 444,4 Mt CO₂ e, cerca de 43,91% do total emitido pelo país. Participando decisivamente no resultado final das emissões nacionais. O que não ocorre no caso dos dois maiores produtores mundiais. Isso porque, na China, a agricultura responde apenas por 7,6% das emissões totais. Nos EUA não é diferente, naquele país o setor agropecuário é responsável por 5,7% do total das emissões.

Esse contexto indica que qualquer mudança significativa na direção das emissões totais nacionais, passa, obrigatoriamente, pelas regulações e adequações dos setores de mudança de uso da terra e da agricultura, o que pode ser alcançado ora por meio da aplicação de políticas públicas ora pelo financiamento ou compensação econômica por boas práticas ambientais (BELINKY; MANZONI, 2015).

Ademais, o Brasil se sobressai positivamente por ser um país-chave no mundo em termos de recursos naturais e ambientais (VIOLA, 2013). Nos fóruns internacionais, destaca-se pela participação ativa na consecução de acordos ou protocolos para a mitigação e adaptação às mudanças do clima (LIMA, 2015).

O Brasil, ao contrário dos Estados Unidos e da China, em 2009, antes da COP-21, já havia editado a lei da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) para internalizar e implementar os acordos que assumiu no cenário mundial. A PNMC regulou as ações de mitigação e adaptação do País, ditando princípios, diretrizes e instrumentos para a execução no território nacional das metas assumidas internacionalmente (MOTTA, 2011).

Apesar da participação e liderança no cenário ambiental mundial, para continuar apto ao recebimento de incentivos financeiros internacionais e atender às exigências crescentes do mercado, o Brasil precisa enfrentar as emissões nacionais, em especial do setor agrícola. Para isso, desde 2009, o governo tem se engajado na formulação e aplicação de políticas públicas climáticas.

■ POLÍTICAS CLIMÁTICAS BRASILEIRAS

O Plano ABC

As ações previstas na PNMC estão sendo desenvolvidas através de planos setoriais de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. A PNMC, reconhecendo a importância do setor do agronegócio, estabeleceu um plano setorial específico visando à consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agropecuária em âmbito nacional, o denominado Plano ABC (BRASIL, 2010).

As emissões agregadas do setor de mudança do uso da terra e florestas e do setor agropecuário, em 2015, foram de aproximadamente 884,120 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂e.), o que representa quase dois terços das emissões brasileiras, conforme mostra a Figura 2 (SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA - SEEG, 2017).

Figura 2. Emissões equivalentes de CO₂e. (t) GWP-AR2 por setor no Brasil, no período de 2006 a 2015.

Fonte: adaptado de SEEG (2017).

Se, de um lado, os dados da Figura 2 demonstram que o perfil de emissões e as metas brasileiras de redução estão relacionados com a expansão da agropecuária e com o manejo inadequado das florestas nacionais, de outro, o país tem perspectiva de crescimento e fortalecimento do setor agropecuário, o que poderá promover uma pressão e intensificação do uso de insumos e de recursos naturais (PAIXÃO; BACHA, 2015).

Dessa forma, o desenvolvimento de uma agropecuária de baixa emissão de carbono pode ser justificado, tanto pela necessidade de reduzir a contribuição que o setor tem nas emissões totais de GEE do País, quanto pela percepção de que as mudanças climáticas

possam impor limitações ao setor, trazendo desafios ao seu crescimento (GURGEL; LAURENZANA, 2016). Ademais, o Brasil precisa adaptar seu setor agropecuário às novas exigências dos mercados, que estão valorizando ou boicotando produtos em razão da quantidade de emissões em sua cadeia de produção (CUPERSHMID; TAVARES, 2002).

O principal objetivo do Plano ABC é, portanto, organizar o planejamento das ações a serem realizadas para adoção de tecnologias produtivas de baixa emissão, selecionadas para responder aos compromissos assumidos pelo País para redução de emissão no setor agropecuário (BRASIL, 2012).

O período de execução do Plano ABC é de dez anos, de 2010 a 2020, ou seja, a política está em plena execução (BRASIL, 2012). Se o Brasil conseguir aplicar adequadamente a política em todo território nacional, promovendo as mudanças propostas para o sistema produtivo agropecuário, estima-se uma redução das emissões nesse setor de até 162,9 milhões de CO₂e. (BRASIL, 2010). O Plano ABC, pela abrangência e potencial de mitigação, é uma das principais políticas climáticas nacionais.

No Plano ABC, foi delimitado o potencial de mitigação de cada setor agropecuário. Foram estabelecidas, ainda, as ações e as metas de redução por setor, de acordo com o descrito na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2. Metas e potencial de mitigação por fonte de redução de emissão de GEE.

Processo ou tecnologia	Compromisso	Potencial de Mitigação (MtCO ₂ e.)
Recuperação de pastagens degradadas	15 milhões de ha	83 a 104
Integração lavoura-pecuária-floresta	4 milhões de ha	18 a 22
Sistema de plantio direto	8 milhões de ha	16 a 20
Fixação biológica de nitrogênio	5,5 milhões de ha	10
Florestas plantadas	3 milhões de ha	-
Tratamento de dejetos de animais	4,4 milhões de ha	6,9
TOTAL		133,9 a 162,9

Fonte: Brasil (2010).

Dentre as metas estabelecidas (Tabela 2), espera-se que a recuperação de pastagens e a integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) sejam capazes de reduzir as emissões em, no mínimo, 101 milhões de tCO₂e., o que representaria o atingimento de mais de 50% da meta total de redução proposta durante todo o Plano ABC. Portanto, representam as principais ações a serem desenvolvidas pelo setor agropecuário.

A recuperação de pastagens e a iLPF, por abrangerem todo o território brasileiro, requerem grande aporte de recursos financeiros e tecnológicos para seu desenvolvimento. Estimativas do Observatório ABC (2017) indicam que essas duas ações exigem investimentos consideráveis, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Estimativa dos impactos econômicos da recuperação de 15 Mha de pastagens e da expansão de 4 Mha de sistemas ILPF.

IMPACTOS	ÁREAS PRIORITÁRIAS
Gastos com recuperação de pastagens	R\$ 31,2 bilhões
Gasto com sistemas integrados	R\$ 7,7 bilhões
Total dos gastos	R\$ 39,0 bilhões
Custo de recuperação por hectare (R\$/ha)	R\$ 2.086,00

Fonte: Adaptado de Observatório ABC (2017).

Desse modo, para fazer frente a essa demanda por recursos e tentar realizar os potenciais de mitigação constantes no Plano ABC (Tabela 2), foi instituído o Programa ABC, que é a principal linha de crédito ao produtor rural para o financiamento das metas e das tecnologias preconizadas na política.

Para a safra 2016/2017, houve um aporte de R\$ 2,99 bilhões em recursos para o desenvolvimento do programa; contudo, até abril de 2017, desse valor, apenas R\$ 415,71 milhões haviam sido contratados (CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL - CNA, 2016). Ademais, houve na safra de 2016/2017 um decréscimo no valor ofertado, se comparado com a safra de 2015/2016, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3. Valores disponibilizados e contratados, em bilhões de reais, para o Programa ABC. Na Safra 2017/2018, contabilizaram-se apenas os valores contratados entre julho e agosto de 2017.

Fonte: Adaptado de Observatório ABC (2018) e Brasil (2018).

O grande incentivo para a tomada desse crédito por parte dos produtores agropecuários é a reduzida taxa de juros associada a um reembolso de longo prazo. Contudo, a partir da safra 2015/2016, devido aos esforços de ajustamento da economia brasileira, houve uma redução no valor disponibilizado e um aumento das taxas de juros anuais para 8,5%, o que resultou em uma queda na procura desta linha de crédito, conforme mostra a Figura 4 (CNA, 2017; Brasil, 2016).

O Plano ABC possui alta relevância ambiental, pois, além das reduções pretendidas através das ações de recuperação de pastagens e iLPF, pode motivar positivamente os agricultores a adotar práticas sustentáveis, justificando, assim, a disponibilização total de R\$ 25,67 bilhões para o Programa até 2018 (Figura 4). No entanto, apesar dos benefícios ambientais e sociais, apenas R\$ 13,8 bilhões de recursos foram contratados até o final do ano-safra 2015/2016 (Figura 4).

A redução na procura do crédito no Plano/Safra de 2016/2017 pode estar relacionada ao aumento nas taxas de juros (8,5% a.a.) e à crise financeira que se instalou no Brasil em 2015. Em tempos difíceis, por questões socioculturais, o produtor rural só contrata crédito para o custeio da produção. A baixa contratação e a redução na procura da linha de crédito do Programa ABC podem comprometer o desenvolvimento e os resultados esperados do Plano ABC.

Segundo o Observatório ABC (2017), a execução do Plano até seu final, previsto para 2020, pode auxiliar na mitigação de emissões em vários segmentos do setor agropecuário. Por exemplo, nos moldes atuais, a recuperação de pastagens nos estados da Bahia, Maranhão e Piauí (Nordeste Cerrado) pode remover até 10,91 milhões de tCO₂e., conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4. Variação no balanço de emissões de GEE em tCO₂e. (toneladas em dióxido de carbono equivalente), no intervalo de 2010 a 2020, com a adoção da recuperação de pastagens e sistemas integrados por região e por sistema produtivo.

Região	Culturas	Pastagem Boa	Pastagem Degradada	iLP Milho-Pecuária	iLP Soja-Pecuária	iLPF Soja-Pecuária-Floresta
Centro-Oeste	-68.712	-6.730.385	-2.204.098	0	-2.828.566	-212.922
Nordeste 1*	-62.250	-10.911.007	4.247.558	-221.971	-168.212	-28.189
Sudeste	362.942	2.502.395	-12.607.349	-221.555	-23.216	-18.205
Sul	589.033	4.566.997	-10.266.313	0	-3.993.469	-285.309
Norte	-23.182	-3.218.680	-3.030.346	-29.546	-2.195.936	-184.272
Nordeste	34.033	-5.625.919	3.027.959	0	0	0
Total	831.863	-19.416.599	-20.832.590	-738.987	-9.209.400	-728.897

Nota*: O Nordeste 1 corresponde aos estados da Bahia, Maranhão e Piauí.

Fonte: Adaptado de Observatório ABC (2017).

Conforme a Tabela 4, até 2020, estima-se que a recuperação de áreas de pastagens degradadas e a iLPF sejam capazes de reduzir as emissões em 50,89 milhões de tCO₂e., contribuindo, portanto, com um resultado positivo no balanço das emissões nacionais.

Já as culturas intensivas, como a da cana-de-açúcar, localizadas na região Sudeste e Sul, podem aumentar suas emissões ao final do Plano. As áreas de pastagens degradadas que forem recuperadas podem ser substituídas por culturas intensivas mais rentáveis, principalmente nessas duas regiões do país, onde as terras apresentam alto valor monetário, resultando em aumento de área e emissões de atividades relacionadas ao cultivo intensivo.

Apesar de seus potenciais produtivos e ambientais, o Plano ABC enfrenta dificuldades que têm limitado sua expansão e o possível atingimento das metas estabelecidas para 2020, conforme apresenta o Quadro 1.

Quadro 1. Principais entraves à plena efetividade do Plano ABC.

Área	Dificuldade
Financeira	As linhas de crédito não estão sendo atualmente oferecidas em condições atrativas e de forma prática para o agricultor.
Divulgação e capacitação	Há falta de treinamento e disseminação das tecnologias entre os agricultores. É preciso demonstrar que, ao adotar as tecnologias do ABC, eles estarão não apenas conservando os recursos naturais, mas também aumentando sua produtividade e, potencialmente, sua renda.
Governança	É preciso melhorar a definição da responsabilidade, a articulação e a ação integrada entre os diversos órgãos estatais federais envolvidos no Plano ABC, assim como entre estes e os órgãos executores nos estados.
Monitoramento e controle	Falta transparência quanto à condução das atividades do Plano ABC, o que é essencial para seu controle e acompanhamento, tanto por parte dos agentes públicos, quanto pelas instituições e indivíduos interessados no sucesso do Plano. As informações a respeito dessas políticas ainda são escassas e estão dispersas.
Conhecimento	Falta apoio à pesquisa científica para mensuração da capacidade mitigadora das tecnologias hoje financiadas pelo Programa e de outras com potencial de contribuição para os objetivos do Plano ABC.

Fonte: Observatório ABC (2015).

A falta de capacitação e treinamento do agropecuarista pode estar dificultando a efetividade do Plano ABC, conforme mostra o Quadro 1. Por questões culturais, o produtor rural tende a não investir na recuperação de pastos e de adotar sistemas produtivos diferentes, como a iLPF, por não contemplar imediatamente o potencial impacto positivo na produtividade e no aumento de sua renda.

A resistência a novas tecnologias e a financiamentos também pode ser explicada pela baixa instrução dos produtores rurais, o que dificulta a absorção do conhecimento apresentado pelos técnicos rurais e financeiros, comprometendo a inovação e o desenvolvimento de ações mais produtivas e sustentáveis. Apenas 3% dos produtores possuem curso superior, enquanto 39% não sabem ler ou escrever.

A mudança desse aspecto cultural pode ser promovida por uma extensão rural adequada. A aproximação entre produtor rural e centros de pesquisa pode ser benéfico para ambas as partes. O produtor, ao ser apresentado a práticas agrícolas melhores, pode superar a aversão ao risco, passando a investir em inovações tecnológicas para melhoria da produtividade e da qualidade ambiental de sua propriedade rural.

Segundo a Associação Brasileira das Entidades Estaduais de Assistência Técnica e Extensão Rural (ASBRAER, 2014), a Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) adequada pode quadruplicar a produção do empreendimento rural. Contudo, em 2014, o Brasil contava apenas com 16 mil técnicos rurais (extensionistas) vinculados continuamente com ATER pública, responsáveis pelo atendimento de 4,3 milhões de agricultores familiares. Desses,

2 milhões de produtores não receberam atendimento. Assim, para suprir essa demanda, seria necessária a contratação de mais 22.200 extensionistas.

O Plano ABC, a exemplo de outras políticas, como o Código Florestal (CF), requer uma grande disponibilidade de subsídios, financiamentos e assistência técnica. No entanto, em 2016, os investimentos no Programa ABC representavam menos de 2% do total investido no Plano/Safra 2016/2017 (CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA BRASILEIRA, 2017). Os valores totais disponibilizados pelo Programa até 2018 (R\$ 25,67 bilhões) não custeariam sequer a recuperação das pastagens degradadas brasileiras, estimadas em R\$ 31,2 bilhões (Tabela 3). É necessário, portanto, além da desburocratização na tomada do crédito, um maior aporte de recursos e incentivos financeiros para o desenvolvimento do Plano.

As ações do Plano ABC também podem ser desenvolvidas em coordenação com outras políticas ambientais, a fim de se ampliar o alcance de ambas. O excedente não contratado do Programa ABC, por exemplo, poderia financiar as ações de restauração florestal previstas no CF ou reembolsar os serviços ambientais prestados no REDD, promovendo, de forma estruturada, ações de melhoria da qualidade ambiental e de produção sustentável.

Ademais, o Plano ABC só será de fato efetivo se saneados também outros entraves importantes, tais como: a falta de regularizações fundiária e ambiental, a insuficiência na cadeia de insumos agropecuários, a inadequação da infraestrutura e a dificuldade de acesso ao crédito rural. A superação desses obstáculos exige grande comprometimento dos setores público e privado e da sociedade civil, atuando conjuntamente, principalmente no reordenamento do uso e da ocupação do solo, o que corrobora Belinky e Manzoni (2015).

O Plano ABC, por sua abrangência e público-alvo, é o principal instrumento político para a instituição no Brasil de uma agricultura de baixo carbono. Apesar de ter sua própria fonte de custeio (Programa ABC), em razão de entraves burocráticos e culturais, essa política ainda não conseguiu alcançar toda a sua potencialidade, o que poderia acelerar a mudança da atual matriz produtiva agrícola para uma de baixa emissão de carbono, mais competitiva e com maior aceitação pelos mercados cada vez mais exigentes. Além disso, é necessária a atuação conjunta e coordenada desse instrumento com outras políticas, como o CF e o REDD, que também podem ajudar o Brasil na redução de emissões e na produção de baixo carbono.

Outra política para redução de emissões que está sendo executada no Brasil é o REDD. O mecanismo de REDD também se relaciona com o agronegócio e, se bem empregado, pode contribuir para que o País reduza suas emissões, principalmente as originárias do desmatamento e da degradação florestal (LA ROVERE, 2017).

O Mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD)

Além da promoção de uma agropecuária de baixo carbono, através dos esforços do Plano ABC, é necessária também a redução de emissões pela implementação de políticas para o controle do desmatamento e da degradação florestal, principalmente na Região Amazônica, que tem sua economia baseada na exploração, muitas vezes desordenada, dos recursos naturais, o que tem implicado na degradação desse grande ativo natural (LA RAVORE *et al.*, 2014; FEARNSSIDE, 2008).

A Amazônia brasileira, segunda maior cobertura florestal do mundo, é responsável pela reserva de pelo menos 100 bilhões de toneladas de carbono, equivalente a mais de 10 vezes a quantidade emitida por ano em todo o globo (SOARES-FILHO *et al.*, 2010a). Além do armazenamento de carbono, a Floresta Amazônica produz outros importantes serviços ambientais, como a regulação do sistema climático mundial, dos fluxos de energia e de água, e outros (FEARNSSIDE, 2008).

Assim, tendo em vista a importância do setor florestal no aquecimento global, a UNFCCC propôs, durante a COP-11 – realizada no ano de 2005, em Montreal –, uma iniciativa para reduzir as emissões do desmatamento florestal (RED², sigla em inglês) em âmbito mundial (ARIMA *et al.*, 2014).

O REDD foi concebido como um mecanismo de incentivo global baseado no desempenho dos países em desenvolvimento para reduzir as emissões decorrentes do uso da floresta (DUNLOP; CORBERA, 2016). Visa também à promoção da conservação e à gestão sustentável das florestas, bem como à preservação intacta dos estoques de carbono nelas fixados (SALLES; SALINAS; PAULINO, 2017). Portanto, resulta de um esforço mundial de criação de valor financeiro para o carbono armazenado nas florestas.

No que se refere à execução do mecanismo de REDD para o combate do desmatamento e da degradação florestal, Fearnside (2008) agrupa suas estratégias de atuação em categorias, conforme o Quadro 2:

2 Entre 2005 e 2009, as negociações progrediram e, na COP-13, em Bali, a estratégia de combate à degradação florestal também foi incluída no mecanismo, acrescentando mais uma letra “D” no acrônimo, que se tornou REDD, abrindo, assim, caminho para as negociações subsequentes que resultaram na ampliação do escopo do REDD (REDD+ e REDD++) (CERBU; SWALLOW; THOMPSON, 2010).

Quadro 2. Estratégias de atuação do REDD.

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Repressão e Controle	O foco principal da ação governamental é a repressão do desmatamento por meio de inspeção e multas ou do controle com o licenciamento ambiental.
Áreas Protegidas	A criação de áreas protegidas, especialmente a demarcação das áreas indígenas, é uma parte essencial das estratégias para conter o desmatamento e a consequente liberação de carbono.
Decisões de Infraestruturas	As decisões de infraestrutura têm uma grande influência sobre o futuro do desmatamento, não apenas sobre a obra pretendida (rodovia, ponte, barragem, etc.), mas também sobre a migração de população e capital para novas áreas.
Políticas de Desenvolvimento	Consiste na formulação e implementação de políticas governamentais que inibam o desmatamento e proporcionem efetivamente um desenvolvimento sustentável.
Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA)	Pagamentos diretos por serviços ambientais podem ser mais eficazes na execução de objetivos ambientais do que os programas indiretos para promover o desenvolvimento sustentável. Destinam-se a compensar os serviços ambientais.

Fonte: adaptado de Fearnside (2008).

Boa parte dessas estratégias tem sua aplicação incentivada, pois a ideia básica do REDD é recompensar os países em desenvolvimento que não desmatem ou degradem suas florestas (KERR, 2013). Desse modo, países que apresentarem reduções de emissões de GEE e aumento de estoques de carbono ficam elegíveis para receber os benefícios por resultados de diversas fontes internacionais (BRASIL, 2016b).

O programa REDD é, portanto, um fundo fiduciário de múltiplos doadores que reúne recursos para fornecer financiamento com o objetivo de reduzir as emissões globais advindas do desmatamento e da degradação florestal (OJEA *et al.*, 2016).

No Brasil, o primeiro bioma contemplado com uma estratégia de REDD foi o amazônico. Esse bioma se estende por aproximadamente 4,2 milhões de km² e ocupa 49,29% do território nacional, conforme mostra a Figura 3 (IBGE, 2004). Dessa forma, o controle do desmatamento e da degradação florestal na Amazônia pode contribuir para a redução das emissões domésticas de GEE (CERBU; SWALLOW; THOMPSON, 2010).

Assim, o mecanismo de REDD tem por objetivo reforçar a proteção das florestas, o que explica suas ações no Brasil estarem concentradas na Região Amazônica, que detém as maiores reservas florestais. Mantido principalmente por recursos de doações internacionais, trata-se, em essência, de uma política de pagamento de serviços ambientais pela manutenção ou uso sustentável da floresta nativa.

Para gerir os investimentos no controle da degradação e o desmatamento florestal, foi criado pelo governo brasileiro o Fundo Amazônia, que conta com a cooperação internacional, principalmente com financiamentos dos governos norueguês e alemão. Os repasses feitos ao Brasil por estas organizações, até 2017, totalizavam US\$ 1,13 bilhão, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Total de doações recebidas pelo Fundo Amazônia. Valores históricos.

Doador	Recursos em US\$ (Dólar)	Recursos em R\$ (Reais)
Alemanha	US\$ 28,32 milhões	R\$ 60,69 milhões
Noruega	US\$ 1,10 bilhões	R\$ 2,77 bilhões
Petrobras	US\$ 6,49 milhões	R\$ 14,70 milhões
Total	US\$ 1,13 bilhões	R\$ 2,85 bilhões

Fonte: Adaptado do Fundo Amazônia (2017a).

Apesar do montante das doações internacionais, as decisões relativas à alocação de fundos, por questões de soberania, são de responsabilidade exclusiva do BNDES, por meio do Fundo Amazônia. O Fundo apoia vários projetos no bioma Amazônia, que são desenvolvidos, principalmente, por organizações não governamentais (ONGs). Atualmente, 88 projetos contam com o apoio do Fundo e estão distribuídos no território brasileiro.

Estima-se que os projetos apoiados e desenvolvidos pelo Fundo Amazônia já tenham ajudado a reduzir, de 2006 até 2015, cerca de 4,30 bilhões de tCO₂e. em emissões decorrentes do desmatamento e da degradação florestal, conforme mostra a Figura 4 (FUNDO AMAZÔNIA, 2016).

Figura 4. Valor estimado de redução das emissões (em milhões de toneladas de CO₂e.) por ano, atribuído aos projetos desenvolvidos pelo Fundo Amazônia.

Fonte: adaptado do Fundo Amazônia (2016).

O Fundo Amazônia, atualmente, está engajado em projetos que tenham por objetivo a retomada de taxas decrescentes de desmatamento na Amazônia. Ao fim de 2016, o apoio às ações de monitoramento e controle representavam 47% do valor da carteira de projetos do Fundo (FUNDO AMAZÔNIA, 2016).

O maior rigor nas fiscalizações resultou em um aumento na aplicação de multas por desmatamento ilegal. As ações entre os anos de 2008 e 2013 culminaram na aplicação de 11.823 autos de infração relacionados ao desmatamento ilegal na Amazônia (SCHMITT, 2015).

Ademais, para cumprir os requisitos do mecanismo REDD e habilitar-se ao recebimento de recursos, o governo brasileiro passou a exigir maior conformidade ambiental das atividades e das propriedades rurais localizadas na Região Amazônica, como a exigência da apresentação de licenças e certidões ambientais para a liberação de várias linhas de crédito.

Apesar das reduções registradas no início do século, as taxas de desmatamento na Região Amazônica voltaram subir, o que pode indicar, entre outros fatores, que as abordagens atuais, tanto do REDD quanto das demais políticas vigentes, não estejam alcançando seus objetivos.

Assim, para a retomada das taxas decrescentes, é necessário aprimorar e reforçar as ações do mecanismo de REDD, como a execução do CF, que obriga todas as propriedades rurais a recuperarem e manterem um espaço de vegetação nativa como reserva florestal, auxiliando, com isso, o REDD na restauração e preservação florestais. Contudo, apesar de estar em vigência desde 2012, o CF ainda não foi totalmente implementado.

Além disso, a estratégia brasileira de REDD com enfoque na Amazônia pode não aproveitar todo o potencial do Brasil para reduzir emissões e promover o desenvolvimento nacional sustentável, uma vez que negligencia o papel das florestas que estão localizadas em outros biomas, como a Caatinga e o Pantanal.

Também é questionável a exclusividade do BNDES na administração dos recursos provindos do mecanismo REDD. A administração pública federal, pelo seu distanciamento territorial e suas limitações legais e burocráticas, pode não atender, com a celeridade necessária, as demandas ambientais e sociais da floresta Amazônica. Assim, é recomendada a descentralização do poder de gerência dos recursos do banco estatal federal para os órgãos públicos estaduais e organizações civis locais, que, mais próximos da floresta, podem melhor entender e atender as necessidades ambientais e sociais da região.

A alocação de recursos da forma que está sendo feita pelo BNDES, por meio do Fundo Amazônia, baseada apenas na apresentação e aprovação de projetos que enfoquem a vigilância e o monitoramento da floresta, pode não estar aproveitando as potencialidades de redução de cada estado e, assim, contribuindo para a retomada do aumento nos índices de desmatamento na região e para a ineficiência do REDD.

O REDD também enfrenta dificuldades do ponto de vista social. O repasse de recursos para os moradores da floresta ainda é raro. A colaboração dos moradores locais é fundamental para o sucesso do REDD. Deve ser considerado em suas ações que a principal fonte de renda dessas famílias ainda está na exploração dos recursos florestais.

Desse modo, apesar de ter colaborado para os bons resultados alcançados na redução das taxas de desmatamento e da degradação florestal na Região Amazônica (Figura 7), a plena efetividade do REDD ainda requer iniciativas de conservação voltadas para os

proprietários privados, principalmente os moradores da floresta, o que deve incluir o repasse de recursos e o desenvolvimento de mercados que valorizem o melhor desempenho ambiental e social nos setores florestal e agrícola.

O REDD é uma das principais ferramentas políticas nacionais para o controle do desmatamento ilegal e da degradação florestal. Utilizado em conjunto com outras políticas, como o CF e o Plano ABC, o REDD pode ajudar o Brasil a reduzir suas emissões de GEE, contribuindo, assim, para o enfrentamento das mudanças climáticas e para o estabelecimento de uma agropecuária de baixo carbono.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa proposta apontou que, no Brasil, os setores agrícolas e de mudança de usos da terra respondem por quase dois terços das emissões totais nacionais de GEE. Nesse cenário, dois instrumentos políticos climáticos, o Plano ABC e o REDD, que incidem diretamente sobre a atividade agropecuária, principal setor econômico da atualidade, ganham importância. Desta forma, este trabalho também analisou o processo de execução e os resultados do Plano ABC e do mecanismo de REDD, principalmente, no combate do desmatamento e na condução do setor agrícola a um processo produtivo de baixo carbono.

Observou-se que, para cumprir as metas que firmou nas conferências internacionais, serão necessárias mudanças no uso da terra e das florestas brasileiras, pois essas atividades figuram historicamente entre as principais fontes de emissões domésticas de GEE. Tais fontes de GEE também são influenciadas pelo agronegócio, atualmente um dos principais setores da economia nacional. Assim, o envolvimento e a colaboração desse setor serão fundamentais para o sucesso dos instrumentos políticos que visem à redução das emissões.

Para envolver e conduzir os agentes públicos e privados, o Brasil formulou a PNMC, onde estão concentradas a estratégia e as ações de reduções de emissões domésticas. Dentre os instrumentos políticos, pela sua estreita relação com o agronegócio, o Plano ABC se destaca. Contudo, em razão da diminuição no repasse e no aumento da taxa de juros, houve poucas contratações desse crédito rural no ano de 2017. Além da disponibilidade de subsídios e financiamentos, para o sucesso do Plano ABC, é preciso direcionar esforços para assistir tecnicamente os produtores rurais e monitorar os resultados das ações empreendidas.

Outro importante instrumento político é o REDD. Esse mecanismo prevê o pagamento, pelos países desenvolvidos, de incentivos financeiros aos países em desenvolvimento que preservarem suas florestas. O Brasil poderia obter melhores resultados se estendesse a estratégia do REDD aos outros biomas, como Caatinga e Pantanal, que também oferecem relevantes serviços ecossistêmicos. É necessária, ainda, uma distribuição equilibrada de recursos do REDD entre os estados da Amazônia. Os potenciais do REDD seriam melhor

executados se na divisão de recursos fossem observados, principalmente, a extensão territorial florestal e os índices de desmatamento identificados em cada estado.

O sucesso do mecanismo de REDD também passa pelo envolvimento das populações que residem na floresta e dependem dela, até então negligenciadas na implementação dessa política.

Este estudo limitou-se ao exame do Plano ABC e do REDD. A PNMC também contempla outros importantes instrumentos políticos, dentre eles, o CF. Principal e mais recente instrumento político ambiental, o CF incide sobre toda propriedade rural brasileira, estabelecendo limitações no uso da terra e de florestas, influenciando, portanto, na produção agropecuária. Desse modo, é importante também analisar, em trabalhos futuros, os efeitos ambientais e econômicos da aplicação de um dos principais mecanismos do CF, a obrigatoriedade da constituição da RL, nos biomas Amazônia e Cerrado, onde está localizada a nova fronteira agrícola brasileira.

Por fim, apesar dos evidentes contrapontos e desafios, tem-se que a adequação da produção agropecuária nacional ao novo cenário econômico mundial perpassa pela conformidade ambiental. Logo, devem-se promover efetivamente as mudanças necessárias, não só para a manutenção de um mercado estruturado, equilibrado e sem falhas (externalidades), mas, sobretudo, para gerar o ambiente econômico socioambiental tão desejado e necessário à sobrevivência humana.

■ REFERÊNCIAS

1. ALVES, J. E. D. Os 70 anos da ONU e a agenda global para o segundo quindênio (2015-2030) do século XXI. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 32, n. 3, dez. 2015.
2. ARIMA, E.; BARRETO, P.; ARAÚJO, E.; SOARES-FILHO, B. Public policies can reduce tropical deforestation: lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, v. 41, p. 465-473, jun. 2014.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS ENTIDADES ESTADUAIS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (ASBRAER). **Assistência técnica e extensão rural no Brasil**: um debate nacional sobre as realidades e novos rumos para o desenvolvimento do País, julho de 2014. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/387450/mod_resource/content/0/Assistencia%20tecnica%20e%20Extens%C3%A3o%20rural%20no%20Brasil%20ASBRAER%20.pdf>. Acessado em: 20 fev. 2018.
4. BELINKY, A.; MANZONI, M. Análise dos Recursos do Programa ABC. Foco na Amazônia Legal – Potencial de redução de GEE e estudo de caso sobre o Programa ABC em Paragominas. FGV. **Observatório do Plano ABC**, rel. 4, ano 2, mai. 2015.
5. BRASIL. **Decreto n. 7.390**, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. Brasília: DOU de 10/12/2010.

6. _____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Plano ABC em números**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-em-numeros>>. Acessado em: 10 jun. 2018.
7. _____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.
8. _____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Plano Agrícola e Pecuário 2016-2017**. Brasília: Mapa/SPA, 2016a. 46 p.
9. _____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Acordo de Paris**. Brasília: MMA, 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acessado em: 10 jan. 2017.
10. _____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **ENREDD+: estratégia nacional para redução das emissões provenientes do desmatamento e da degradação florestal, conservação dos estoques de carbono florestal, manejo sustentável de florestas e aumento de estoques de carbono florestal**. Brasília: MMA, 2016b. 48 p.
11. CERBU, G. A.; SWALLOW, B. M.; THOMPSON, D. Y. Locating REDD: A global survey and analysis of REDD readiness and demonstration activities. **Environmental Science & Policy**, v. 14, p. 168-180, out. 2010.
12. CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Nota técnica**: síntese do Plano Agrícola e Pecuário 2017/2018. Brasília, jun. de 2017. Disponível em: <<http://www.cna-brasil.org.br/artigos-tecnicos/nota-tecnica-sintese-do-plano-agricola-e-pecuario-20172018-junho-2017>>. Acessado em: 10 jul. 2017.
13. _____. **PIB e performance do agronegócio**: balanço 2016, perspectivas 2017. Brasília, nov. 2016. Disponível em: <http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/02_pib.pdf>. Acessado em: 20 mar. 2017.
14. CUPERSHMID, N. T. M.; TAVARES, M. C. Atitudes em relação ao meio ambiente e sua influência no processo de compra de alimentos. **Revista Interdisciplinar de Marketing**, v. 1, n. 3, p. 5-14, set./dez. 2002.
15. DUNLOP, T.; CORBERA, E. Incentivizing REDD+: How developing countries are laying the groundwork for benefit-sharing. **Environmental Science & Policy**, v. 63, p. 44-54, abr. 2016.
16. FEARNSIDE, P. M. Amazon forest maintenance as a source of environmental services. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, p. 101-114, mar. 2008.
17. FUNDO AMAZÔNIA. **Doações**. Brasília, 2017a. Disponível em: <http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/fam/site_pt/Esquerdo/Doacoes/>. Acessado em: 20 ago. 2017a.
18. _____. **Relatório de atividades 2016**. Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Relatorio_Anuar/Rafa_2016_portugues_site.pdf>. Acessado em: 10 out. 2017.

19. GOLLIER, C., TIROLE J. Negotiating Effective Institutions Against Climate Change. **Economics of Energy & Environmental Policy**, v. 4, n. 2, 2015. Disponível em: <ftp://www.cramton.umd.edu/papers2015-2019/gollier-tirole-negotiating-against-climate-change.pdf>. Acessado em: 10 jun. 2017.
20. GURGEL, A. C.; LAURENZANA, R. D. Desafios e oportunidades da agricultura brasileira de baixo carbono. In: FILHO, J. E. R. V. et al. (coord). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: IPEA, 2016. P. 343-366.
21. GUTIÉRREZ, W. B. COP 21: Acuerdo contra el cambio climático en Paris. **Apuntes de Ciencia & Sociedad**, v. 5, n. 2, p. 186-187, jul./dez. 2015.
22. INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2014: synthesis report**. Genebra, 2014. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. Acessado em: 10 ago. 2016.
23. KERR, S. C. The Economics of International Policy Agreements to Reduce Emissions from Deforestation and Degradation. **Environmental Economics and Policy**, v. 7, issue 1, 2013.
24. LA ROVERE, E. L. Low-carbon development pathways in Brazil and “Climate Clubs”. **WIREs Clim Change**, v. 8, jan./fev. 2017.
25. LA ROVERE, E. L.; JÚNIOR A. O. P.; DUBEUX, B. S.; WILLS, W. Climate change mitigation actions in Brazil. **Climate and Development**, v. 6, mar. 2014.
26. LIMA, R. C. A. A adequação das propriedades agrícolas ao novo Código Florestal brasileiro. **Visão Agrícola**, ESALQ, n. 10, abr. 2012.
27. LIMA; R. C. A. COP-21 o novo acordo de clima e a agricultura brasileira. **Agronalysis: a revista de agronegócio da FGV**. vol. mar., p. 29-31, mar. 2015.
28. MOTTA, R. S. A Política nacional sobre mudança do clima: aspectos regulatórios e de governança In: MOTTA, R. S.; HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G. (coord.). **Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. Brasília: IPEA, 2011. Cap. 1, p. 31-42.
29. NORSE, D. Low carbon agriculture: objectives and policy pathways. **Environmental Development**, v. 1, issue 1, p. 25-39, jan. 2012.
30. OBSERVATÓRIO ABC. **Impactos econômicos e ambientais do Plano ABC**: relatório completo. São Paulo: FGV, 2017. Disponível em: <http://observatorioabc.com.br/wp-content/uploads/2017/09/Relatorio5-Completo.pdf>. Acessado em: 10 out. 2017.
31. _____. **Projeto observatório ABC**: análise dos recursos do programa ABC; instituições financeiras privadas; safra 2015/2016. Fundação Getúlio Vargas (FGV). Centro de Agronegócio (GV Agro), ago. 2016. Disponível em: <http://observatorioabc.com.br/wp-content/uploads/2016/10/Sumario_ABC_Primeiro_Final-ComFotos.pdf>. Acessado em: 10 mai. 2017.
32. _____. **Propostas para revisão do Plano ABC**. São Paulo: FGV, 2015. Disponível em: <http://mediadrawer.gvces.com.br/abc/original/gv-agro_em-simples.pdf>. Acessado em: 10 jun. 2017.
33. _____. **Sistema ABC**. São Paulo: FGV, 2018. Disponível em: <http://observatorioabc.com.br/sistema-abc/>. Acessado em: 19 jun. 2018.

34. OJEA, E.; LOUREIRO, M. L.; ALLÓ, M.; BARRIO, M. Ecosystem services and REDD: Estimating the benefits of non-carbon services in worldwide forests. **World Development**, v. 78, p. 246-261, jan. 2016.
35. ORGANIZAÇÃO PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **Global agriculture towards 2050**. Roma, out. 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf>. Acessado em: 10 ago. 2017.
36. PAIXÃO, M. A. S.; BACHA, C. J. C. A agropecuária brasileira e a sua inserção na economia verde: uma análise do plano e do programa ABC. **Pesquisa & Debate**, v. 26, n. 1 (47), p. 75-98, jan./mar. 2015.
37. RAJÃO, R.; SOARES-FILHO, B. S. **Cotas de reserva ambiental (CRA)**: viabilidade econômica e potencial do mercado no Brasil. 1. ed. Belo Horizonte: Ed. IGC/UFMG, 2015. 72 p.
38. REIS, T.; BORTOLOTO, F.; LOPES, G. R.; BRAGA, L. Desafios e oportunidades para avançar as Contribuições Nacionais no setor agropecuário e de florestas na América Latina: O caso do Brasil. **Plataforma Climática Latino Americana**, mar. 2017.
39. SALLES, G. P.; SALINAS, D. T. P.; PAULINO, S. R. How funding source influences the form of REDD+ initiatives: The case of market versus public funds in Brazil. **Ecological Economics**, v. 139, p. 91-101, abr. 2017.
40. SCHMITT, J. **Crime sem castigo: a efetividade da fiscalização ambiental para o controle do desmatamento ilegal na Amazônia**. 2015. 188 p. Tese (Doutorado). Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
41. SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Emissões totais**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission>. Acessado em: 12 dez. 2017.
42. SOARES-FILHO, B.; HISSA, L.; NASSAR, A.; HARFUCH, L.; MOREIRA, M. M. R.; CACHION, L. C.; ANTONIAZZI, L. B.; BARIONI, L. G.; JÚNIOR, G. M.; SAINZ, R. D.; ALVES, B. J. R.; LIMA, M. A.; MARTINS, O.; BRANCO, M. C.; TOLEDO, R.; LEAL, M. R. L. V.; MARQUES, F.; FERREIRA, R.; GOULART, L.; MENDES, T.; GOUVELLO, C.; MOREIRA, A.; FARINELLI, B.; MEIHUY, C.; PINTO, R.; HATO, J.; PACCA, S. Estudo de baixo carbono para o Brasil: Relatório de síntese técnica. **Energy Sector Management Assistance Program, The World Bank**, 2010b. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1276778791019/Relatorio_Principal_integra_Portugues.pdf>. Acessado em: 10 jun. 2017.
43. SOARES-FILHO, B.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D.; ANDERSON, A.; RODRIGUES, H.; GARCIA, R.; DIETZSCH, L.; MERRY, F.; BOWMAN, M.; HISSA, L.; SILVESTRINI, R.; MARETTI, C. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate mitigation. **Proceedings of the National Academy of Sciences – PNAS**, v. 107, n. 24, jun. 2010a.
44. SPAROVEK, G.; ANTONIAZZI, L. B.; BARRETTO, A.; BARROS, A. C.; BENEVIDES, A.; BERNDES, G.; BRAGA, E. P.; CALMON, M.; GROKE JR., P. H.; MARQUES, F. N. A.; NOGUEIRA, M. P.; PINTO, L. F. G.; PRECIOSO, V. Sustainable bioproducts in Brazil: disputes and agreements on a common ground agenda for agriculture and nature protection. **Biofuels Bioproducts & Biorefining – Biofr**, v. 10, issue 3, p. 204-221, mai./jun. 2016.
45. TIROLE, J. Some economics of global warming. **Revista Di Politica Economica**, v. 98, issue 6, p. 9-42, nov./dez. 2008.

46. VIOLA, E. Brazilian climate policy since 2005: continuity, change and prospective. **Revista CEPS**, n. 373, fev. 2013.
47. VIOLA, E.; FRANCHINI, M. Brazilian climate politics 2005–2012: ambivalence and paradox. **Wires Climate Change**, v. 5, p. 677-688, out. 2014.
48. WART, S. History of scientific work on climate change. **Earth Systems and Environmental Sciences**, 2^a ed., v. 2, p. 87-89, set. 2015.
49. WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **CAIT, climate data explorer**. Washington, 2017. Disponível em: <<http://www.wri.org/blog/2015/06/infographic-what-do-your-countrys-emissions-look>>. Acessado em: 10 jul. 2017.
50. _____. **CAIT, historical emissions data** (Countries, U. S. States, UNFCCC). Washington, 2018. Disponível em: <<http://www.wri.org/resources/data-sets/cait-historical-emissions-data-countries-us-states-unfccc>>. Acessado em: 17 fev. 2018.

Indicadores de qualidade física do solo sob sistemas integrados de produção agropecuária no semiárido paraibano

| **Pedro Luan Ferreira da Silva**
UEM

| **Flávio Pereira de Oliveira**
UFPB

| **Adriana Ferreira Martins**
UFPB

| **André Julio do Amaral**
EMPRAPA SOLOS

| **Danillo Dutra Tavares**
UFRPE

| **Alison José da Silva**
UFRPE

RESUMO

Objetivo: avaliar a qualidade física de um Planossolo Háplico sob Sistema de Integração lavoura-pecuária-floresta no Agreste da Paraíba aos quatro anos após implantação. **Métodos:** O experimento foi implantado na cidade de Alagoinha, PB (06°57'00" S, 35°32'42" W; 317 m), sob um Planossolo Háplico Eutrófico de classificação textural franco-arenosa. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso (DBC), sendo cinco tratamentos com quatro repetições (5 x 4), totalizando 20 parcelas experimentais, cada uma com área total de 760 m². Os tratamentos avaliados foram compostos pelos seguintes consórcios: i) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Gliricídia (*Gliricidia sepium*) BG; ii) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Sabiá (*Mimosa caesalpinhiifolia* Benth.) BS; iii) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Ipê (*Tabebuia alba* (Chamisso) Sandwith) BI; iv) Lavoura Anual = *Br. decumbens* + milho LA; v) *Brachiaria decumbens* Stapf. BD. Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m para determinação de: densidade do solo, porosidade total, condutividade hidráulica saturada, aeração a 10%, estabilidade estrutural e estoque de carbono. **Resultados:** A densidade do solo foi menor no tratamento Bd e aumentou em profundidade. Para a PT, maiores valores foram observados nos tratamentos BD e LA na camada de 0,00-0,10 m. Outros atributos como estoque de carbono, estabilidade estrutural do solo, condutividade hidráulica saturada e aeração foram superiores na camada superficial do solo. **Conclusão:** Conclui-se que apesar de recente, os sistemas integrados de produção agropecuária estão promovendo melhorias gradativas no solo, destacando-se resultados bastantes satisfatórios na camada de 0,00-0,10 m.

Palavras-chave: Agricultura Conservacionista, Carbono Neutro, Planossolo, Qualidade Física.

■ INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a busca desenfreada por alimentos, fibra e energia estão impactando fortemente o setor agrícola em âmbito mundial (Lal, 2015; Anghinoni *et al.*, 2019). E esse processo tem exercido forte pressão sobre o ecossistema, ocasionando danos muitas vezes irreversíveis, como a desertificação. Estimativas da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2017), apontavam que no ano de 2017 aproximadamente 33% das áreas agricultáveis do mundo apresentavam-se degradadas ou em acelerado processo de degradação.

A agricultura tem um papel preponderante nesse processo de degradação, principalmente quando praticada em desacordo com normas adequadas de manejo e conservação do solo. O preparo convencional contínuo, o pisoteio animal, o tráfego intenso de máquinas e implementos agrícolas, a supressão da cobertura vegetal (NASCIMENTO *et al.*, 2019) e a salinização do solo (RIBEIRO *et al.*, 2003), são alguns dos fatores que tem ocasionado o processo de degradação. Tudo isso tem colocado a humanidade diante de um grande desafio, o de tornar as atividades de exploração dos recursos naturais sustentáveis, com o mínimo de impacto ao meio ambiente (PEDROTTI *et al.*, 2015).

Nos últimos anos o termo “produção agrícola sustentável” tem ganhado força, e incentivado os agricultores a adotar novos conceitos de produção que tenham como base a conservação do solo, a ciclagem de nutrientes e a diversificação de culturas (SILVA *et al.*, 2011). No Brasil, as áreas de monocultivo estão perdendo espaço para um novo modelo de produção, que tem como princípio a integração dos componentes animal, grãos e floresta em uma mesma área de produção, em consórcio ou sucessão, atuando em sinergia (BALBINOT JÚNIOR *et al.*, 2009), também conhecido como sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF).

Os primeiros sistemas de integração foram implantados no país em 2011, a partir de um plano setorial de mitigação das mudanças climáticas para consolidação de uma economia com baixa emissão de carbono na agricultura, conhecido como Plano ABC (MAPA, 2019). Estimativas apontam que atualmente a área de produção ocupada com o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta seja da ordem de 11.468,124 milhões de hectares, com um aumento esperado em 5 milhões de hectares até o ano de 2030 (REDE ILPF, 2019). Esse sistema tem avançado de forma diferenciada nas regiões do Brasil, com destaque para a região Centro-Oeste por concentrar 40.0% das áreas com sistema de integração, conforme apresentado na Figura 1 (MAPA, 2019).

Figura 1. Percentual de áreas por região com sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) no Brasil. Adaptado de: Rede iLPF (2019).

Fonte: Rede iLPF (2019).

No Nordeste brasileiro a área ocupada com iLPF é da ordem de 1.312,138 milhões de hectares, desse total o estado Paraíba fica com uma fatia de 136.217 mil hectares (REDE iLPF, 2016). Apesar de recente, a implantação dos sistemas de integração no estado da Paraíba tem demonstrado resultados bastantes satisfatórios (SILVA *et al.*, 2019). E dentre os benefícios que promovem ao solo, os sistemas de integração atuam na recuperação de pastagem degradadas, melhoram o aporte de matéria orgânica ao solo, aumentam a ciclagem de nutrientes, a infiltração e retenção de água (LOSS *et al.*, 2014), contribuem para a formação e estabilidade de agregados (SOUZA *et al.*, 2019) e possibilitam aumentos de produtividade por reduzir os custos com irrigação, fertilizantes, condicionadores de solo e outros insumos agrícolas (CONCEIÇÃO *et al.*, 2014).

Os benefícios que esses sistemas de produção promovem ao solo estão sendo avaliados por indicadores físicos e químicos de qualidade do solo como textura, estrutura, conteúdo de matéria orgânica do solo (BEUTLER *et al.*, 2002), índice S (DEXTER, 2004), distribuição de poros por diâmetro (BOUMA, 1991), densidade do solo (BLAKE; HARTGE, 1986), capacidade de aeração do solo e capacidade de campo relativa (REYNOLDS *et al.*, 2007). Contudo o efeito dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta sobre a qualidade do solo, no médio e longo prazo são pouco conhecidos, principalmente a nível da região Nordeste.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física de um Planossolo Háplico sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Agreste da Paraíba aos quatro anos após implantação.

■ MÉTODO

O experimento foi implantado em julho de 2015 em área experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), em Alagoinha, Paraíba, Brasil (06° 57' 00" S e 35° 32' 42" W; altitude de 317 metros) (Figura 2). Segundo a classificação de Köppen-Geiger o clima da região é do tipo As' - tropical quente e úmido, com chuvas de outono-inverno e período chuvoso entre os meses de abril e julho (PEEL, FINLAYSON; MCMAHON, 2007).

Figura 2. Localização da cidade de Alagoinha, no Agreste da Paraíba.

A precipitação média anual acumulada dos últimos 10 anos foi de 931,3 mm, com temperatura variando de 20,6 a 23,7 °C e umidade relativa do ar de 83,3% (AESA, 2020; INMET, 2020). Segundo Francisco, Medeiros e Santos (2018) a evapotranspiração real anual do município de Alagoinha é de 79,0 mm, com déficit hídrico entre os meses de setembro e fevereiro. O solo da área experimental foi classificado como Planossolo Háplico Eutrófico méstico solódico com horizonte A moderado e de textura franco-arenosa (Santos *et al.*, 2018) equivalente a (Albaquults – *Soil Taxonomy*). Antes da instalação do experimento a área encontrava-se ocupada com *Brachiaria decumbens*, em sistema de pastejo extensivo com animais das raças Sindi e Guzerá. Em setembro de 2015 realizou-se a implantação do experimento com o transplante em campo das espécies florestais: *Gliricidia sepium*, *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Handroanthus impetiginosus* nas parcelas experimentais, com

espaçamento de 2 x 3 m, em fileiras triplas, totalizando seis fileiras por parcela (3 linhas em cada extremidade).

Figura 2. Vista parcial dos diferentes componentes (subsistemas) que compõem o sistema integrado de produção agropecuária na estação experimental de Alagoinha, Paraíba.

Fonte: Própria (2021).

Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso (DBC), sendo cinco tratamentos com quatro repetições (5 x 4), totalizando 20 parcelas experimentais, cada uma com área total de 760 m². Os tratamentos avaliados foram compostos pelos seguintes consórcios: i) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Gliricídia (*Gliricidia sepium*) BG; ii) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Sabiá (*Mimosa caesalpinhiifolia* Benth.) BS; iii) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Ipê (*Tabebuia alba* (Chamisso) Sandwith) BI; iv) Lavoura Anual = *Br. decumbens* + milho LA; v) *Brachiaria decumbens* Stapf. BD.

Procedimento de coleta e atributos analisados

No mês de fevereiro de 2019 realizou-se a coleta de amostras de solo da área experimental. Foram 320 amostras de solo (160 com estrutura deformada + 160 com estrutura indeformada) nas camadas de 0,00-0,20 m. As amostras com estrutura deformada foram coletadas com auxílio de pá de corte e as com estrutura preservadas foram coletadas em cilindros metálicos tipo Uhland com capacidade para 102,09 cm³. Posteriormente as

amostras de solo foram encaminhadas aos Laboratórios de Análises Físicas de Solo e o de Química e Fertilidade da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), para a realização de análises. As variáveis analisadas foram: densidade do solo (D_s), porosidade total (PT) e livre de ar (θ_{ar}), condutividade hidráulica saturada (K_θ), índice de estabilidade estrutural (IEE) e o estoque de carbono (ESTC).

A densidade do solo (D_s) foi determinada conforme metodologia proposta por Blake e Hartge (1986), através da relação entre a massa do solo seco e o volume da amostra. A porosidade total (PT) foi determinada através massa do solo saturado (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A umidade do solo na qual a porosidade de aeração é de no mínimo 10% foi calculada utilizando a equação 1:

$$(\theta_{ar}) = [1 - (D_s/D_p)] - 0,1 \quad (1)$$

onde, θ_{ar} é a umidade do solo na qual a porosidade de aeração é de no mínimo 10% ($m^3 m^{-3}$); D_s é a densidade do solo ($g cm^{-3}$); D_p é a densidade de partículas ($g cm^{-3}$). A condutividade hidráulica saturada do solo (K_θ) foi determinada conforme metodologia descrita no Manual de Métodos e Análises de Solo da Embrapa (TEIXEIRA *et al.*, 2017), utilizando amostras de solo com estrutura indeformada de $102,09 cm^3$, previamente saturadas em água destilada por um intervalo mínimo 48 horas. Após a saturação, as amostras foram introduzidas no permeâmetro de carga constante até atingir o equilíbrio na taxa de percolação da água. O cálculo da condutividade foi realizado utilizando a equação 2:

$$(K_\theta) = Q \times L/A \times H \times T \quad (2)$$

onde, K_θ é a condutividade hidráulica saturada ($cm h^{-1}$); Q é o conteúdo de água percolado e coletado em proveta (mL^{-1}); A é a área do cilindro (cm^2); H é a altura do bloco de solo + lâmina de água (cm); T é o tempo de coleta do percolado (horas). O índice de estabilidade estrutural (IEE) foi determinado conforme metodologia proposta por Pieri (1992), utilizando os valores de COT, silte e argila das amostras de solo, e calculados pela seguinte equação $IEE = [(COT \times 1,7240)/(\text{silte} + \text{argila})] \times 100$; onde IEE é o índice de estabilidade estrutural (%), COT é o conteúdo de carbono orgânico do solo ($g kg^{-1}$) e $1,7240$ = fator de conversão para matéria orgânica do solo.

O estoque de carbono (ESTC) foi calculado conforme metodologia proposta por Veldkamp (1994), utilizando a seguinte equação: $ESTC = [(COT \times \rho_s \times e)/10]$, onde: ESTC é o estoque de carbono do solo ($Mg ha^{-1}$), COT o teor de carbono orgânico total da amostra ($g kg^{-1}$), ρ_s é a densidade do solo ($g cm^{-3}$), e corresponde a espessura da camada de solo avaliada (cm).

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo (D_s) ficou abaixo do limite crítico em todos os tratamentos e camadas de solo avaliadas, variando de 1,31 a 1,41 g cm^{-3} (Figura 3a). Resultado este que demonstra que o impacto ocasionado pelo pisoteio dos animais no solo sob os sistemas integrados de produção agropecuária não estão alterando a densidade do solo na camada arável (0-20 cm), já que todos os valores médios ficaram abaixo de 1,6 g cm^{-3} , valor esse considerado restritivo para solos de textura arenosa (REYNOLDS *et al.*, 2007).

A porosidade total (PT) variou de 0,46 a 0,50 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e foi maior no tratamento BD (Figura 3b). Contudo, verifica-se que houve redução da (PT) com aumento de profundidade do solo, tendência essa esperada, já que a (PT) apresenta correlação negativa com a (D_s). A porosidade de aeração (θ_{ar}) foi maior no tratamento BD nas duas camadas de solo avaliadas (Figura 3c). Esse comportamento é reflexo da elevada porosidade na camada de 0,00-0,10 m, pois a (θ_{ar}) é função da (PT). A (θ_{ar}) é uma propriedade de grande importância para avaliação de qualidade do solo, pois representa o valor de umidade ideal para que o solo tenha um mínimo de 10% (0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) de poros ocupados com ar.

Figura 3. Densidade do solo (a) e porosidade total (PT) em um Planossolo sob sistemas integrados de produção agropecuária no semiárido Paraibano.

Fonte: Os autores (2021).

Verificou-se que no tratamento BD os valores de densidade do solo foram inversamente proporcionais aos de porosidade total, principalmente na camada de 0,00-0,10 m. Como as gramíneas apresentam sistema radicular robusto, a densidade de massa da mesma pode ter favorecido a redução de densidade do solo e o aumento da porosidade total no referido tratamento. Maiores valores de D_s foram observados em profundidade, corroborando com Colet *et al.* (2009) em solo sob pastagem com escarificação e sem escarificação. Segundo os autores, o aumento de densidade do solo nesse ambiente se deve a acomodação das camadas de solo (reconsolidação), ocorrida logo após o preparo do solo.

Na Figura 4 estão apresentados os valores médios de umidade do solo na qual a porosidade de aeração é de 10%, condutividade hidráulica saturada, índice de estabilidade estrutural do solo e estoque de carbono. Nos tratamentos BD e LA (Figura 4c) a umidade requerida para o mínimo de aeração foi maior que os demais tratamentos avaliados, possivelmente influenciada pelo gradiente textural e da porosidade por ação dos microrganismos em superfície (SILVA *et al.*, 2016). A condutividade hidráulica saturada (K_θ) variou de moderada a lenta (Figura 3d), reduzindo drasticamente em profundidade. A maior amplitude foi verificada no tratamento BI, com redução de $12,01 \text{ cm h}^{-1}$ entre as camadas de 0,00-0,20 m. No tratamento LA a (K_θ) apresentou uma leve tendência de aumento, possivelmente provocada por mudanças no gradiente textural ou pelo aumento na concentração de raízes em subsuperfície.

Figura 4. Umidade do solo na qual a porosidade de aeração é de 10% (a), condutividade hidráulica saturada (b), índice de estabilidade estrutural (c) e estoque de carbono (d) em um Planossolo sob sistemas integrados de produção agropecuária no semiárido Paraibano.

Fonte: Os autores (2021).

O índice de estabilidade estrutural (IEE) demonstrou que o solo da área experimental apresenta sérios problemas de degradação, com valores abaixo de 5% na maioria dos tratamentos avaliados (Figura 3e). O tratamento LA foi o único com um IEE > 5% na camada de

0,00-0,10 m. Esse valor, contudo, demonstra um certo nível preocupação, já que o tratamento LA se encontra na faixa classificada com alto índice de degradação Pieri (1992). A adoção de práticas de manejo inadequadas pode inviabilizar a capacidade produtiva desse solo, independente do sistema de integração. Nesse caso a manutenção permanente da cobertura vegetal e o baixo revolvimento do solo são essenciais para elevar o IEE do Planossolo, principalmente por favorecer o acúmulo de matéria orgânica.

Como o IEE é um índice intimamente relacionado ao teor de carbono orgânico do solo, valores consideráveis podem dimensionar o quanto a estrutura do solo está adequada. E, como observado na Figura 3c, solo sob lavoura anual apresentou condições estruturais mais satisfatória que os demais tratamentos avaliados. Essas condições podem estar relacionadas à deposição de matéria orgânica do solo, pois, como salientado por Sales *et al.* (2018), a matéria orgânica é formada essencialmente por compostos de carbono e possui implicações no comportamento físico do solo, de maneira a exercer grande influência no processo de reestabelecimento da estrutura do solo. Além do mais, a MOS é um composto cimentante (COGO *et al.*, 2013), que atuam sobremaneira na formação e estabilidade de agregados do solo.

O estoque de carbono (ESTC) foi superior na camada de 0,00-0,10 m, com destaque para o tratamento BD, onde se verificou uma média de 22,5 Mg ha⁻¹ (Figura 3d). Foi um resultado bastante satisfatório e reflexo da ação das gramíneas sobre a deposição de carbono orgânico no solo. No tratamento BI o ESTC foi superior na camada de 0,10-0,20 m, possivelmente influenciado pela decomposição do sistema radicular dos vegetais ou mesmo pela proteção da matéria orgânica do solo pelos óxidos de Fe presentes na fração argila. Insernhagen *et al.* (2017) avaliando o estoque de carbono lábil em solo de Cerrado sob zona de transição observaram que no iLPF o estoque de COT ficou uma posição intermediária quando comparado aos demais tratamentos para a camada de 0-5 cm, inclusive da pastagem. Inclusive, os mesmos autores concluíram que no curto prazo, os sistemas dos efeitos conservacionistas sobre o COT foram observados apenas na camada superficial do solo.

Com base nos dados apresentados na Figura 4 sobre o estoque de carbono é possível verificar que os mesmos diferiram dos valores encontrados por Silva *et al.* (2021) no solo de mesmo local sob sistemas de integração. Resultado esse que pode ser reflexo de alteração nos valores de densidade do solo ao longo dos anos de condução do experimento. O tratamento que apresentou valores em posição intermediária foi o BG, provavelmente ocasionada pela rápida decomposição da leguminosa que apresenta baixa relação C:N. O uso de plantas de cobertura com elevada adição de resíduos ao solo, auxiliam na promoção da manutenção da matéria orgânica do solo (MOS) (INSERNHAGEM *et al.*, 2017), pois, culturas com elevada relação C:N auxiliam na incorporação de MOS e o seu tempo de meia vida é maior,

resultando em menor velocidade de decomposição e mantém os resíduos sobre o solo por maior tempo (CERETTA *et al.*, 2002).

■ CONCLUSÃO

Conclui-se que apesar de recente, os sistemas integrados de produção agropecuária estão promovendo melhorias gradativas no solo, destacando-se resultados bastantes satisfatórios para a porosidade total, densidade do solo e estoque de carbono. Além do mais, a qualidade estrutural do solo avaliada pelo IEE demonstrou que a adoção do sistema de consócio entre lavoura e milho é uma opção sustentável a ser adotada como manejo inicial antes da consolidação do sistema em integração lavoura-pecuária-floresta.

■ AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq, pela concessão de bolsa de iniciação científica concedida ao primeiro autor durante a graduação em Agronomia. Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba - CCA-UFPB, pela viabilização da realização de pesquisa. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, pela parceria e, A Empresa de Pesquisa Agropecuária, Extensão e Regularização Fundiária do Estado da Paraíba – EMPAER, pela manutenção da área experimental.

■ REFERÊNCIAS

1. AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Meteorologia do estado da Paraíba: chuvas**. João Pessoa: AESA. Recuperado de: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>. Acesso em: 20 nov. 2021.
2. ANGHINONI, G.; TORMENA, C. A.; LAL, R.; ZANCANARO, R.; KAPPES, C. Enhancing soil physical quality and cotton yields through diversification of agricultural practices in central Brazil. **Land Degradation and Development**, 30(1), 788-798, 2019.
3. BALBINOT JÚNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, 39(6): 1925-1939, 2019.
4. BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26(3), 829-834, 2002.
5. BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In A. KLUTE (Ed.), **Methods of Soil Analysis, Part 1- Physical and Mineralogical Methods** (p. 363-382). Madison, IA: American Society of Agronomy. 1986.

6. BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Agronomy**, 46(1), 1-37, 1991.
7. CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002.
8. CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; SANTOS, D. C. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, 4(5), 794-800, 2014.
9. COGO, F.D.; JUNIOR, C.F.A.; ZINN, Y.L.; JUNIOR, M.S.D.; ALCÂNTARA, E.N.; GUIMARÃES, P.T.G. Estoques de carbono orgânico do solo em cafezais sob diferentes sistemas de controle de plantas invasoras. **Semina: Ciências Agrárias**, 34(3), p.1089-1098, 2013.
10. COLET, M.J.; SVERZUT, C.B.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, Z. M. Alteração em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência e Agrotecnologia**, 33(2): 361-368, 2009.
11. DEXTER, A. R. Soil physical quality part I. Theory, effects, density and organic matter and effects on root growth. **Geoderma**, 120(3-4), 201-214, 2004.
12. FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. **Balanço hídrico climatológico para a capacidade de campo de 100 mm – estado da Paraíba** (1ra ed.). Campina Grande, PB: EDUEFG. 2018.
13. INSERNHAGEN, E. C. C.; RODRIGUES, R. A. R.; DIEHL, D.; MATOS, E. S.; CONCEIÇÃO, M. C. G. Estoques de carbono lábil e total em solo sob integração lavoura-pecuária-floresta na região de transição Cerrado/ Amazônia. **Nativa**, 5(especial): 515-521, 2017.
14. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP**. Brasília: INMET. Recuperado de <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 25 nov. 2021.
15. LAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, 70(3), 55-62, 2015.
16. LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, 30(5), 1347-1357, 2014.
17. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (2019). **Plano ABC – Agricultura de baixa emissão de carbono**. Brasília: MAPA. Recuperado de: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>. Acesso em: 30 nov. 2021.
18. NASCIMENTO, D. M.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V.; SILVA, A. H.; FAVARETTO, N.; PARRON, L. M. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. **Soil and Tillage Research**, 186(1), 292-299, 2019.
19. PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica de Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 19(2): 1308-1324, 2015.
20. PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, 11(4), 1633-1644, 2007.

21. PIERI, J. C. M. G. **Fertility of soils: A future for farming in the west African Savannah.** Berlin, BL: Spring-Verlog, 1992.
22. REDE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA. **iLPF em Números.** Brasília: REDE ILPF. Recuperado de: <https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf/ilpf-em-numeros>. Acesso em: 20 nov. 2021.
23. REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; FOX, C. A.; TAN, C. S.; ZHANG, T. Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam. **Soil and Tillage Research**, 96(1-2), 316-330, 2007.
24. RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. G. R.; LIMA J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo** (p. 165-208). Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
25. SALES, A.; SILVA, A.R.; VELOSO, C.A.C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B.M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo sustentável na Amazônia Legal. **Colloquium Agrariae**, 14(1): 1-15, 2018.
26. SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (5nd ed.). Brasília, DF: Embrapa. 2018.
27. SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Revista Agropecuária Técnica**, 37(1), 96-104, 2016.
28. SILVA, E. F.; LOURENTI, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; UJII, G. C. Frações lábeis da e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46(10), 1321-1331, 2011.
29. SOUZA, E. D.; SILVA, C. R. M.; PINTO, F. A.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B., PACHECO, L. P.; TERRA, F. D.; LAROCA, J. V. S. Soil quality indicators after conversion of “murundu” fields into no-tillage cropping in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 54(1) 1-9, 2019.
30. SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; MARTINS, A. F.; TAVARES, D.D.; AMARAL, A.J. Fertility, carbono stock and ggregate stability of an Alfisol under integrated farming systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 51(e66505), 2021.
31. SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; TAVARES, D. D.; NÓBREGA, C. C.; AMARAL, A. J. Water availability in a Planosol under integrated crop livestock-forestry system in the Agreste region of Paraíba, Brazil. **Revista Caatinga**, 32(2): 449-457, 2017.
32. TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos e análise de solos** (3nd ed.). Brasília, DF: Embrapa, 2017.
33. VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soil under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, 58(1), 175-180, 1994.

Interação entre endomicorrizas e myrtaceae nativas no Rio Grande do Sul

| **Daiane Silva Lattuada**
DDPA/SEAPDR-RS

| **Sandra Rieth**
Emater/RS – ASCAR

| **Marina Martinello Back**
UFRGS

| **Paulo Vitor Dutra de Souza**
UFRGS

RESUMO

Objetivo: verificar o favorecimento da interação entre espécies vegetais e micorrizas arbusculares (MA) no desenvolvimento de mudas de espécies florestais e frutíferas.

Metodologia: conduziu-se estudo, em duas etapas, entre três espécies de micorrizas arbusculares (*Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarita* e *Scutellospora heterogama*), além de uma testemunha (ausência de MAs) e três espécies de Myrtaceae nativas no Sul do Brasil como *Eugenia pyriformis* Cambess, *Myrcianthes pungens* (O. Berg) D. Legrand e *Psidium cattleianum* Sabine na produção de mudas. Numa etapa inicial, de sementeira, sementes das espécies vegetais foram germinadas em bandejas multicelulares, preenchidas com substrato autoclavado e 1 g de inóculo/célula de cada espécie de MA estudada. Nesta etapa avaliou-se a emergência e desenvolvimento inicial das plântulas (altura e número de folhas por muda), aos 125 dias após a semeadura. Na segunda fase ou fase de viveiro, as mudas foram transplantadas para sacos de polietileno preto (5 L), contendo substrato (Carolina Soil®) desinfestado (formol 7%). 480 dias após o transplante, avaliou-se o desenvolvimento vegetativo das plantas e a colonização pelas MAs nas raízes.

Resultados: na fase de sementeira as MAs colonizaram as raízes, mas não alteraram emergência e desenvolvimento inicial das plântulas. Após o transplante para recipientes maiores (fase de viveiro) todas as espécies de MAs foram eficientes quando comparadas à testemunha, proporcionando incrementos médios na ordem de 135% na altura, 195% no número de folhas, 299% no número de brotações e 209% na área foliar. **Conclusão:** os resultados confirmam a efetiva simbiose entre as Myrtaceas e endomicorrizas estudadas.

Palavras-chave: Frutíferas Nativas, Produção de Mudas, Fungo Micorrízico Arbuscular.

■ INTRODUÇÃO

A demanda pela conservação das florestas é crescente, devido, especialmente, à intensificação dos problemas ambientais, o que vem despertando o interesse pelo uso de espécies florestais nativas brasileiras, proporcionando demanda por mudas, as quais constituem insumo básico nos programas de recuperação ou conservação de ecossistemas. Neste cenário, podem ser utilizadas espécies de fruteiras nativas, pois além de reflorestarem, ainda contribuem para a alimentação da fauna local. Dentre as diversas espécies que contribuem para a alimentação animal, algumas espécies de Myrtaceae destacam-se também pelo seu potencial de uso doméstico e comercial. Contudo, muitas dessas espécies necessitam de pesquisas que aperfeiçoem sua produção de mudas a baixo custo e com qualidade (JOSÉ; DAVIDE; OLIVEIRA, 2005). De acordo com Silva; Peixoto; Junqueira (2001), o uso de substratos adequados associados ao emprego de fungos micorrízicos arbusculares, contribui para a formação de mudas com qualidade superior.

Ainda, o grande potencial econômico das espécies frutíferas nativas representa, especialmente ao agricultor familiar, uma possibilidade de diversificação de renda e possibilita a produção de frutos diferenciados, suprimindo a carência do mercado consumidor que está sempre à procura por novidades. Muitas Myrtaceae nativas no Brasil produzem frutos de sabor e aromas exóticos, além de terem potencial para uso medicinal, para o paisagismo e para a recuperação de áreas degradadas (LOPES, 2009).

Dentre os gêneros de Myrtaceae que englobam espécies fruteiras com potencial, quatro merecem destaque: *Acca*, *Eugenia*, *Myrciaria* e *Psidium*. São representantes do gênero *Acca*, a Feijoa ou Goiabeira-Serrana (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret); do gênero *Eugenia*, a Pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) e a Uvaieira (*Eugenia pyriformis* Cambess); do gênero *Myrciaria*, o Guabijuzeiro (*Myrcianthes pungens* (O. Berg) D. Legrand) e do gênero *Psidium*, o Araçazeiro Vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine) (MANICA, 2002). Raseira *et al.* (2004) salientam que embora haja boas perspectivas para comercialização destas frutíferas, ainda são necessários estudos que viabilizem a domesticação destas, tais como: metodologias para a propagação e produção comercial de mudas, estudos de manejo e condução de pomares, além dos aspectos pós-colheita dos frutos, entre outros.

Em relação à produção de mudas, um dos aspectos a ser explorado para Myrtaceae é a interação entre as espécies vegetais e os fungos micorrízicos arbusculares (MAs). Registros indicam que esta interação favorece uma rápida formação, redução no tempo de aclimatização e maior homogeneidade de mudas durante o crescimento inicial no campo (LOCATELLI; LOVATO, 2002). Os MAs são amplamente reconhecidas pelo efeito positivo que proporcionam no crescimento da planta, no aumento da absorção de nutrientes, especialmente o fósforo, pelo maior volume de solo explorado, acúmulo de carboidratos nos

tecidos e por conferirem maior tolerância aos estresses bióticos e abióticos (NUNES *et al.*, 2008; RAMOS *et al.*, 2011), além de aumentar a tolerância aos patógenos radiculares e reduzir o nível de aplicação de fertilizantes após o transplante (NOGALES *et al.*, 2009). Segundo Locatelli; Lovato (2002), têm sido relatadas diferenças entre as espécies de MAs na promoção do crescimento e do desenvolvimento de uma mesma espécie vegetal, sendo interpretadas como especificidade (SILVEIRA; SOUZA; KOLLER, 2002) ou compatibilidade funcional (AGUIAR *et al.*, 2004) entre o hospedeiro e o fungo. Portanto, aspectos da relação fungo-planta devem ser considerados para o estabelecimento da simbiose micorrízica. Neste sentido, há necessidade de se ampliar as pesquisas nesta área, considerando os benefícios reconhecidamente trazidos a outras fruteiras, pela micorrização, avaliando também as espécies vegetais de interesse, os isolados fúngicos e suas respectivas combinações. Os trabalhos sobre a associação entre MAs e espécies da família Myrtaceae até o momento, tratam da associação fungo-planta em ambientes naturais (SILVA *et al.*, 2009; LOPES, 2009; CAMPOS *et al.*, 2011), sendo o presente estudo direcionado para produção de mudas em cultivo monoespecífico com fungos micorrízicos arbusculares.

Desta forma, este trabalho objetivou verificar a interação entre três espécies de micorrizas arbusculares (*Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarita* e *Scutellospora heterogama*) e três espécies de Myrtaceae nativas no Sul do Brasil (*Eugenia pyriformis* Cambess, *Myrcianthes pungens* (O. Berg) D. Legrand, e *Psidium cattleianum* Sabine) na fase de formação da muda.

■ MÉTODO

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação (30°04'26,04"S e 51°08'7,08"W; 46,97 m de altitude), durante 16 meses. Foram avaliadas três espécies de micorrizas arbusculares (MAs) (*Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarita* e *Scutellospora heterogama*) e uma testemunha (ausência de MAs). As espécies vegetais avaliadas foram: Uvaieira (*Eugenia pyriformis* Cambess), Guabijuzeiro (*Myrcianthes pungens* (O. Berg) D. Legrand) e Araçazeiro vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine).

Sementes das espécies vegetais foram removidas de frutos maduros e submetidas à lavagem com água destilada e posterior secagem à sombra por 24 horas. Imediatamente após, foram semeadas em bandejas multicelulares (2 sementes por célula, células de 25,09 cm³), previamente desinfestadas com hipoclorito de sódio (2%), contendo substrato autoclavado (Carolina Soil ®). Anteriormente à semeadura, adicionou-se 1 g de inóculo de MAs por célula, em uma camada disposta 1 cm abaixo das sementes. O inóculo era constituído por areia grossa e fragmentes de raízes de aveia preta (*Avena sativa*) colonizadas com MAs. Cada bandeja (50 células) foi usada para uma única espécie de MAs e aquelas que

continham as testemunhas não foram inoculadas. As bandejas foram isoladas, na parte inferior e lateral, com sacos de polietileno e distanciadas cerca de 50 cm umas das outras, à fim de evitar contaminação.

Após 125 dias da semeadura (DAS), avaliou-se o percentual de emergência, a altura e número de folhas por planta. Em seguida, as mudas foram transplantadas para sacos de polietileno preto (5 L) contendo substrato (Carolina Soil®), desinfestado (formol 7%), irrigado diariamente de forma manual (100 ml/planta). Cada tratamento com MAs também foi isolado com sacos de polietileno, à fim de evitar contaminação entre espécies de MAs. Após 480 DAS, avaliou-se: a altura (cm), desde o colo até o ápice; o diâmetro (cm) do colo da planta; o número de folhas; a área foliar (com auxílio de medidor de área foliar marca LI-COR, modelo LI – 3100) por planta (cm²); o número de brotações; as massas (g) fresca e seca de raiz e parte aérea (secagem em estufa 65 °C até atingir massa constante) e a razão entre área foliar e número de folhas por planta.

Também fez-se a determinação do teor de substâncias de reserva nos tecidos, por meio da coleta de amostras da parte aérea das plantas, acondicionando-as em sacos de papel para secagem em estufa a 65 °C, até massa constante. Na sequência, o material foi moído em moinho e novamente acondicionado em pequenos saquinhos feitos de tela especial para filtragem de alimentos, contendo 1,5 g de amostra e amarrados com fio de nylon para impedir a perda de material. Após serem individualmente identificados, novamente foram levados à estufa a 65 °C, até massa constante. Os saquinhos com material vegetal foram então submetidos ao processo de digestão, para extração da substância de reserva e produtos sintetizados pelas plantas (carboidratos, gorduras e ácidos graxos), permanecendo somente as fibras (adaptado de PRIESTLEY, 1965). Nesta etapa, as amostras foram imersas em solução aquosa contendo 5% de ácido tricloroacético (99% PA) e 35% de metanol (99,8% PA), em Erlenmeyer de 1 L, permanecendo sob aquecimento em bico de Bunsen, em capela com exaustor, por 8 horas. Nas primeiras duas horas manteve-se em ebulição, após manteve-se o nível da solução adicionando-se água destilada, até atingir as 8 horas. Ao final do processo, as amostras foram lavadas com água destilada e secas em estufa a 65 °C, até massa constante. Sendo o teor de reservas (%) definido pela diferença de massa das amostras antes e após o processo de digestão.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas 4x3 (MAs X espécies frutíferas) com três repetições com 10 mudas cada. As médias observadas foram diferenciadas pelo teste de Duncan ($p > 0,05$).

Para verificar a colonização por MAs, raízes de cada espécie vegetal, foram coletadas e fixadas em solução de formaldeído, álcool e ácido acético (FAA), até a análise. Após a fixação adotou-se o seguinte protocolo para descoloração e tingimento das raízes: as raízes

foram cortadas em frações de aproximadamente 1 cm de comprimento. Estas foram submersas em hidróxido de potássio e submetidos à banho-maria a 90 °C por 15 minutos; a seguir, passaram por tríplex lavagem, com água destilada. Na sequência passaram por dupla lavagem com hipoclorito de sódio (pH entre 3,0 e 3,7) e água destilada intercaladamente. Novamente, as raízes foram ao banho-maria com solução de hidróxido de potássio a 90 °C, por 15 minutos, seguida de tríplex lavagem com água destilada. Para coloração utilizou-se o corante azul de tripano, em capela de exaustão, em banho por 15 minutos, a 90 °C. Por fim, as raízes coradas passaram por dupla lavagem com água destilada e confeccionadas as lâminas para visualização em estereomicroscópio, com aumento de 50 X. Para cada tratamento foram avaliadas três repetições de 20 segmentos de raízes de 1 cm. Como critério de avaliação da presença das estruturas dos fungos (hifas, vesículas e arbúsculos) utilizou-se a seguinte escala: 0: ausência; 1: de 1 a 49 estruturas; 2: de 50 a 99 estruturas e 3: mais de 100 estruturas. As médias observadas foram diferenciadas pelo teste de Duncan ($p > 0,05$).

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na fase inicial de cultivo não foram observadas diferenças significativas entre as plântulas inoculadas com as micorrizas arbusculares (MAs) e a testemunha, tanto para emergência, quanto para desenvolvimento inicial. Apesar de ter ocorrido colonização, a ineficácia das MAs na fase inicial de cultivo deve-se ao pouco tempo de ocorrência da colonização, além de as sementes de Myrtaceae possuírem cotilédones que suprem a necessidade inicial de substâncias necessárias à emergência das plantas. A associação da planta com as MAs na etapa de emergência de plântulas somente é fundamental quando trata-se de sementes desprovidas de tecidos de reserva (PETERSON; MASSICOTTE; MELVILLE, 2004; DEARNALEY, 2007).

Aos 355 dias após a transferência para sacos de polietileno de 5 L a presença de MAs, independentemente da espécie, proporcionou incrementos em todas as variáveis avaliadas, exceto no diâmetro de caule (Tabela 1). Quando comparadas à testemunha, as inoculações proporcionaram incrementos médios na ordem de 135% para altura, 195% para número de folhas, 299% para número de brotações e 209% para área foliar, independentemente da espécie de MA (Tabela 1).

A eficiência das MAs após o transplante para recipientes de 5 L confirmou a importância do tempo de colonização e do volume do recipiente para que as mesmas pudessem expressar todo o seu potencial. Enquanto algumas MAs colonizam rapidamente o hospedeiro e produzem abundante esporulação, outras necessitam de mais tempo para esporular ou esporulam pouco e persistem no ambiente, principalmente na forma ativa, e não como esporo (GOMIDE *et al.*, 2009). Conforme o observado por Silveira; Souza; Koller (2002) que

ao estudarem os efeitos de micorrizas arbusculares (*Glomus clarum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus manihotis*, *Acaulospora scrobiculata*, *Scutellospora heterogama* e *Gigaspora margarita*) em mudas de abacateiro nas fases de porta-enxerto, de muda enxertada e de pomar, verificaram que a presença de hifas, vesículas e arbúsculos nos diversos tratamentos foi mais elevada somente na segunda fase (muda enxertada), em comparação com a primeira. Segundo os autores, este comportamento era esperado e deve-se, principalmente, ao maior período de cultivo das mudas em seus respectivos recipientes, além do maior volume destes, permitindo maior exploração da rizosfera por parte das MAs.

Tabela 1. Altura (cm); diâmetro do colo (mm); número de folhas; número de brotações e área foliar (cm²) por planta em espécies de Myrtaceae cultivadas em substratos com diferentes endomicorrizas, 480 dias após a semeadura.

	Altura (cm)	Diâmetro do colo (mm)	Número de folhas	Número de brotações	Área Foliar (cm ²)
Testemunha	18,38 b*	2,33 ns	27,62 b***	1,68 b*	78,60 b***
<i>Glomus etunicatum</i>	24,05 a	2,66	53,90 a	5,03 a	164,99 a
<i>Scutellospora heterogama</i>	24,89 a	2,63	48,59 a	4,05 a	154,60 a
<i>Gigaspora margarita</i>	24,46 a	2,70	51,25 a	4,88 a	159,23 a
Araçazeiro	9,98 b*	1,76 b*	13,56 c*	0,65 c*	46,28 c*
Uvaieira	28,79 a	3,02 a	96,56 a	8,65 a	153,73 b
Guabijuzeiro	30,23 a	2,96 a	25,51 b	2,38 b	218,30 a
CV (%)	26,11	28,85	19,93	22,41	24,41
Valor p Interação	0,0567	0,0561	*	0,0002	*
Transformação $\sqrt{(X + 1)}$	-	-	**	**	**

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Dunca 15); ns= diferença não significativa pelo teste de Duncan. *Diferença significativa pelo teste de Duncan ($p > 0,01$ respectivamente).

Fonte: Autoria própria, 2019.

A área foliar é um importante parâmetro, por definir a taxa de fotossíntese realizada na planta, que resulta na maior ou menor produção de fotoassimilados (CAVALCANTE *et al.*, 2001). Silva *et al.* (2004) afirmaram que o aumento da taxa fotossintética de plantas inoculadas com MAs, está diretamente relacionado com o aumento da área foliar, o que proporciona aumento do crescimento vegetativo e acúmulo de biomassa fresca e seca. Somente foram observadas interações nas variáveis número de folhas e área foliar, sendo que uvaieira obteve o melhor desempenho para número de folhas, enquanto guabijuzeiro teve melhor desempenho para área foliar, independente da MAs estudada nas duas situações (Tabela 1).

Ao comparar-se as espécies vegetais, o maior desenvolvimento vegetativo (especialmente altura, diâmetro de colo, número de folhas e de brotações) foi observado nas mudas de uvaieira, seguida de guabijuzeiro (Tabela 1), devido principalmente às diferenças em vigor características das espécies.

As massas fresca e seca de raiz e parte aérea e a relação entre área foliar e número de folhas, também foram incrementadas na presença de MAs, com destaque para *Glomus etunicatum*, principalmente em massa fresca e seca de raiz, para massa fresca de parte aérea *Gigaspora margarita* juntamente com *Glomus etunicatum* foram os de melhor desempenho,

não diferindo estatisticamente (Tabela 2). Entre as espécies vegetais, para as mesmas variáveis, houve destaque do guabijuzeiro, embora não tenha diferenciado significativamente de uvaieira em massa fresca e seca de raiz e parte aérea. Silveira; Souza; Koller (2002) também observaram incremento em massa de parte aérea na produção de mudas de abacateiro inoculadas com FMA's.

Tabela 2. Massa fresca e seca de raiz e parte aérea (g), razão entre área foliar total e número de folhas total (AF/NF) em espécies de Myrtaceae cultivadas em substratos com diferentes endomicorrizas, 480 dias após a semeadura.

Tratamentos	Massa Raiz (g)	Fresca Parte aérea (g)	Massa Raiz (g)	seca Parte aérea (g)	AF/NF
Testemunha	0,50 c*	1,24 c***	0,21 c*	0,64 b***	3,23 b*
<i>Glomus etunicatum</i>	1,76 a	3,05 a	0,56 a	1,35 a	4,45 a
<i>Scutellospora</i>	1,21 b	2,60 b	0,42 b	1,23 a	4,71 a
<i>Gigaspora margarita</i>	1,25 b	3,16 a	0,41 b	1,27 a	4,56 a
Araçazeiro	0,69 b*	0,85 c*	0,20 b*	0,39 c*	2,78 b*
Uvaieira	1,33 a	2,36 b	0,49 a	1,08 b	1,65 c
Guabijuzeiro	1,51 a	4,33 a	0,51 a	1,90 a	8,28 a
CV (%)	16,23	15,79	7,45	10,90	35,63
Valor p Interação	0,6378 (ns)	***	0,7223 (ns)	**	*
Transformação $\sqrt{X}$	**	**	**	**	-

Em que: AF/NF = razão entre área foliar total e número de folhas total. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Dunca 1%); ns=diferença não significativa pelo teste de Duncan. *Diferença significativa pelo teste de Duncan ($p>0,01$ respectivamente).

Fonte: Autoria própria, 2019.

A análise de interação foi significativa para massa fresca de parte aérea, sendo guabijuzeiro inoculado com *Gigaspora margarita* e *Glomus. etunicatum* as melhores combinações. Para massa seca de parte aérea e na relação AF/NF a interação apontou melhor resultado significativo para guabijuzeiro, independente da MAs inoculada (Tabelas 2).

Figura 1. Substâncias de reserva (%) em espécies de Myrtaceae cultivadas em substratos com diferentes endomicorrizas, 480 dias após a semeadura. (Sobre a coluna, mesma letra, maiúscula entre as espécies vegetais e letras minúscula entre as endomicorrizas não diferem significativa pelo teste de Duncan ($p>0,05$)).

Fonte: Autoria própria, 2019.

Uvaieira apresentou maior teor de substâncias de reservas, seguida de araçazeiro e, por fim, de guabijuzeiro (Figura 1). Entre as MAs, *Gigaspora margarita* foi a que proporcionou maior incremento às espécies vegetais utilizadas, embora não tenha se diferenciado da testemunha. O fato de as MAs causarem desenvolvimento vegetativo diferenciado, quando inoculadas em frutíferas, está associado à afinidade, maior ou menor, que cada espécie de MA tem com a espécie vegetal utilizada, que estaria relacionada à existência de uma compatibilidade funcional entre o hospedeiro e o fungo (SCHREINER, 2007). Nas combinações testadas, *Gigaspora margarita* para esta variável teve melhor desempenho que as demais MAs. Em guabijuzeiro, observou-se redução no teor de substâncias de reservas, assim como em uvaieira e araçazeiro quando inoculadas com *Scutellospora heterogama* e *Glomus etunicatum* (Figura 1). Este comportamento pode ser devido à necessidade de um período mais longo para ocorrer a interação entre MAs e as raízes destas espécies, o que acarretaria em um desgaste de reservas da planta já que até a completa colonização das MAs estas consomem reservas da planta para promover o seu estabelecimento (NOGUEIRA, 2001).

Da mesma forma, Anzanello; Souza; Casamali (2011) trabalhando com a interação entre MAs, e porta-enxertos de videira relataram compatibilidade funcional entre os simbiossiontes estudados onde maior massa fresca e seca foram observadas nas combinações dos porta-enxertos Paulsen 1103 e SO4 quando inoculadas com *Glomus etunicatum* e *Scutellospora heterogama*. Os benefícios dessa simbiose também foram registrados por outros autores, que relataram que o estímulo ao crescimento vegetal se deve a fatores nutricionais, principalmente ao aumento da absorção de nitrogênio (COSTA; LOVATO, 2004; SILVEIRA, 2006), fósforo (NUNES *et al.*, 2008) e potássio (SILVEIRA; SOUZA; KOLLER, 2002; CALVET *et al.*, 2003).

Quando inoculados artificialmente, independente da espécie vegetal e da MA, observou-se mais de 89% de colonização por endomicorrizas em raízes, comprovando a eficiência da simbiose, sendo este valor três vezes superior à testemunha (Tabela 3). Nas plantas testemunha observou-se alguma presença de micorrizas colonizando as raízes, que pode estar associada à eficiência parcial do formaldeído usado para desinfestação do substrato e/ou por contaminação decorrente do transporte de esporos por formigas que visitaram as plantas durante o período de experimento. Contudo, trata-se de níveis aceitáveis de contaminação já relatados em outros estudos (SILVEIRA; SOUZA; KOLLER, 2002).

Tabela 3. Percentual de colonização, índice de presença de hifas, vesículas e arbúsculos e percentual de carboidratos em espécies de Myrtaceae cultivadas em substratos com diferentes endomicorrizas, 480 dias após a semeadura.

Tratamentos	% Colonização					
	Uvaieira		Araçazeiro		Guabijuzeiro	
Testemunha	18,00 A b		38,00 A b		10,00 B b	
<i>Glomus etunicatum</i>	88,88 A a		96,33 A a		95,83 A a	
<i>Scutellospora heterogama</i>	95,83 A a		92,00 A a		100,00 A a	
<i>Gigaspora margarita</i>	75,00 A a		92,16 A a		100,00 A a	
CV (%)			12,41			
Interação p≥ 0,05			0,014			
Hifas						
Testemunha	0,18 B b		0,43 A c		0,16 B c	
<i>Glomus etunicatum</i>	1,66 A a		0,96 B b		1,30 AB b	
<i>Scutellospora heterogama</i>	1,44 B a		1,36 B a		2,68 A a	
<i>Gigaspora margarita</i>	1,44 B a		1,15 B b		2,95 A a	
CV (%)			19,23			
Interação p≥ 0,05			***			
Vesículas						
Testemunha	0,12		0,05		0,06	
<i>Glomus etunicatum</i>	0,62		0,48		0,56	
<i>Scutellospora heterogama</i>	0,69		0,80		0,60	
<i>Gigaspora margarita</i>	0,54		0,57		0,70	
Média	0,49	a	0,47	a	0,48	a
CV (%)			33,52			
Interação p≥ 0,05			0,52			
Arbúsculos						
Testemunha	0,24	B b	0,67	C a	0,16	B c
<i>Glomus etunicatum</i>	1,89	A a	1,22	BC b	2,30	A a
<i>Scutellospora heterogama</i>	2,24	A a	1,93	A ab	2,80	A a
<i>Gigaspora margarita</i>	1,80	A a	1,68	AB a	3,00	A a
CV (%)			28,07			
Interação p≥ 0,05			0,401			

Mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas nas linhas não diferem pelo teste de Duncan ($p > 0,01$ respectivamente). ns= diferença não significativa pelo teste de Duncan.

Fonte: Autoria própria, 2019.

Houve interação entre a presença de hifas e a espécie vegetal, sendo as combinações de *Scutellospora heterogama* e *Gigaspora margarita* quando inoculadas em guabijuzeiro as de melhor desempenho (Tabela 3). Contudo, estas mesmas combinações apresentaram pior desempenho em percentual de substâncias de reserva (Figura 1), o que indica que houve maior investimento de reservas pela planta para promover a simbiose com estas MAs. Ainda assim, a presença de hifas pode ter contribuído para o desenvolvimento vegetativo das plantas (Tabela 1 e 2), pois de acordo com Siqueira; Lambais; Stürmer (2002), as hifas externas de MAs possibilitam, ao sistema radicular das plantas hospedeiras, maior assimilação de nutrientes, já que aumentam a área de solo a ser explorada. Portanto, até a

completa simbiose entre estas MAs e guabijuzeiro provavelmente tenha ocorrido o consumo de reservas da planta e, após completada a simbiose, as hifas promoveram um desenvolvimento vegetativo acelerado, não havendo tempo hábil para o incremento em substâncias de reserva (Tabelas 1 e 2 e Figura 1).

Para presença de arbúsculo também houve interação entre os tratamentos, sendo novamente o guabijuzeiro o de melhor desempenho, independente da MA utilizada (Tabela 3). Nas condições deste estudo, as respostas diferenciadas em desenvolvimento de plantas, observadas entre as Myrtaceae estudadas, segundo a espécie de MAs inoculada, são devidas à compatibilidade funcional entre os simbiontes, assim como o relatado em outros trabalhos (LOCATELLI; LOVATO, 2002; SILVEIRA; SOUZA; KOLLER, 2002; ANZANELLO; SOUZA; CASAMALI, 2011).

Os resultados obtidos confirmam que as micorrizas arbusculares estudadas possuem afinidade com as Myrtaceae, podendo ser incluídas em programas de produção de mudas destas espécies a fim de acelerar e melhorar o desenvolvimento das plantas.

■ CONCLUSÃO

A simbiose entre mudas de araçazeiro, uvaieira e guabijuzeiro com *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarita* e *Scutellospora heterogama* é efetiva independente da espécie, permitindo acelerar o período de formação das mudas.

Uvaieira apresenta desenvolvimento inicial mais acelerado, que mais tarde é alcançado por guabijuzeiro; com araçazeiro apresentando desenvolvimento mais lento em relação aos anteriores.

■ AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTO

Os autores agradecem imensamente o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior - Brasil (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à FAPERGS por meio de edital FAPERGS/CNPq n. 008/2009 PROGRAMA DE APOIO A NÚCLEOS DE EXCELÊNCIA (PRONEX).

■ REFERÊNCIAS

1. AGUIAR, R. L. F. et al. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e fósforo no desenvolvimento da Algaroba [*Prosopis juliflora* (SW) DC]. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 28, p. 589-598. 2004.
2. ANZANELLO, R.; SOUZA, P. V. D.; CASAMALI, B. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em porta-enxertos micropropagados de videira. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 409-415, 2011.
3. CALVET, C. et al. A. Aptitude for mycorrhizal root colonization in *Prunus* rootstocks. **Scientia Horticulturae** [s.l.], v. 9, p.1-10. 2003.
4. CAMPOS, D. T. S. et al. Colonização micorrízica em plantios de eucalipto. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 35 n. 5, p. 965-974, 2011.
5. CAVALCANTE, U. M. T. et al. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg..) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetidas a estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**. Belo Horizonte, v. 15, n. 3, p. 379-390. 2001.
6. COSTA, M. D.; LOVATO, P. E. Fosfatases na dinâmica do fósforo do solo sob culturas de cobertura com espécies micorrízicas e não micorrízicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 603-605, 2004.
7. DEARNALEY, J.D.W. Further advances in orchid mycorrhizal research. **Mycorrhiza**. Oregon, v. 17, p. 475-486, 2007.
8. RASEIRA, M.C.B. et al. **Espécies frutíferas nativas do sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 122 p.
9. GOMIDE, P. H. O. et al. Diversidade e função de fungos micorrízicos arbusculares em sucessão de espécies hospedeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1483-1490, 2009.
10. JOSÉ, A.C.; DAVIDE, A.C.; OLIVEIRA, S.L. Produção de mudas de aroeira (*Schinustere binthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005.
11. LOCATELLI, L. M.; LOVATO, P. E. Inoculação micorrízica e aclimatização de dois porta-enxertos de macieira micropropagados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 177-184. 2002.
12. LOPES, P.Z. **Propagação vegetativa e interação com endomicorrizas arbusculares em mirtáceas nativas do Sul do Brasil**. 2009. 134 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.
13. MANICA, I. **Frutas nativas, silvestres e exóticas 2**: Técnicas de produção e mercado: feijão, figo-da-índia, fruta-pão, jaca, lichia, mangaba. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2002. 541 p.
14. NOGALES, A. et al. Response of mycorrhizal grapevine to *Armillaria mellea* inoculation: disease development and polyamines. **Plant and Soil**, [s.l.], v. 317, p. 177-187, 2009.

15. NOGUEIRA, M.A. **Interações entre micorriza arbuscular, rizobactérias, fósforo e silício na manifestação da toxidez de manganês em soja**. 2001. 195 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001.
16. NUNES, J.L.S. et al. Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em porta- enxerto de pessegueiro cv Okinawa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, p.1100-1106, 2008.
17. PETERSON, R.L.; MASSICOTTE, H.B.; MELVILLE, L.H. **Mycorrhizas: Anatomy and Cell biology**. Ottawa, Canada, NRC Research Press. 2004. 173 p.
18. PRIESTLEY, G.A. New method for the estimation of the resources of apple tress. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 16, p. 717 – 721. 1965.
19. RAMOS, A.C. et al. An outlook on ion signaling and ionome of mycorrhizal symbiosis. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Campos dos Goytacazes, v. 23, p. 79-89. 2011.
20. SCALON, S. P. Q. et al. Sensibilidade à dessecação e ao armazenamento de sementes de *Eugenia pyriformis* Cambess. (Uvaia). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 269-276, Mar. 2012.
21. SCHREINER, R.P. Effects of native and nonnative arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of “Pinot noir” (*Vitis vinifera* L.) in two soils with contrasting levels of phosphorus. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 36, n. 2/3, p. 205-215, 2007.
22. SILVA, R. F. et al. Ocorrência de Fungos Micorrízicos em espécies florestais na região central do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.15, n. 1-4, p. 65-70, jan-dez, 2009.
23. SILVA, M. A. et al. Crescimento de mudas de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis) associadas a fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota). **Acta Botanica Brasílica**, [s.l.], v. 18, p. 981-985, 2004.
24. SILVA, R.P.; PEIXOTO, J.R.; JUNQUEIRA, N.T.V. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro azedo (*Passiflora edulis* Sims f. flavicarpa DEG). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 377-381, 2001.
25. SILVEIRA S. V.; SOUZA, P. V. D.; KOLLER, O. C. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o desenvolvimento vegetativo de porta-enxertos de abacateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 303-309, 2002.
26. SILVEIRA, S.V. **Caracterização de micorrizas arbusculares autóctones de parreirais da serra gaúcha e otimização de métodos de multiplicação em espécies aromáticas para aplicação na fruticultura**. 2006. 129 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
27. SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares: origem e características dos fungos Glomaleanos. **Biotechnology, Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, v. 25, p. 12-21, 2002.

Superação da dormência de sementes de cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight et. Arn.)

| **Flávio Pereira Silva**
EPAMIG

| **Robson José de Oliveira**
UFPI

| **Giovani Levi Sant'anna**
UFV

| **Paula Barbosa dos Santos**
UFPI

RESUMO

O cedro rosado é uma espécie florestal tropical, pioneira e de rápido crescimento, exigente em água, intolerante a déficit hídrico acentuado e geadas fortes, porém tolera geadas leves. A sua madeira é bastante atraente, possui excelentes propriedades tecnológicas, grande versatilidade, alto valor comercial, podendo ser empregada na construção de casas, produção de painéis aglomerados e usada em sistemas agroflorestais. Sua principal forma de propagação é via seminal, porém, suas sementes apresentam dormência do tipo tegumentar, a qual limita a produção homogêneas e satisfatória de mudas. Mesmo sob condições ótimas, as sementes do cedro rosado apresentam germinação desuniforme e em baixas percentagens, requerendo o desenvolvimento de tecnologias que proporcione uniformidade e melhores taxas de germinação. Este trabalho teve como objetivo desenvolver metodologias eficientes e de baixo custo, para superação da dormência das sementes de cedro rosado. A imersão prévia das sementes da espécie em ácido sulfúrico 90% PA, durante 20 e 30 minutos, seguido de uma lavagem em água corrente durante 30 segundos foi o método mais eficaz para superação da dormência das sementes de cedro rosado.

Palavras-chave: Dormência, Germinação, Cedro Rosado, Sementes Florestais.

■ INTRODUÇÃO

O cedro rosado é uma espécie florestal, pioneira, tropical de rápido crescimento, pertencente à família leguminosae, subfamília cesalpinoídea (FLORES *et al.*, 2009). Ocorre naturalmente nas regiões de alta pluviosidade da Índia, Indonésia, Bangladesh, Nepal e Mianmar (WHITMORE e OTAROLA, 1976), o que a caracteriza como espécie exigente em água e intolerante a déficit hídrico acentuado. Seu cultivo, segundo Martínez *et al.* (2006) deve ser realizado preferencialmente em locais com precipitação entre 500 a 3.000 mm e temperaturas que oscilem entre 14 a 26 °C. Trata-se de uma espécie intolerante a geadas fortes, porém tolera geadas leves. A melhor faixa de altitude para seu cultivo deve estar situada entre 0 e 2.000 m. Na Ásia é conhecida como mundani (WHITMORE e OTAROLA, 1976), enquanto no Brasil e no México é conhecida pelo nome de Cedro rosado (FLORES *et al.*, 2009).

A sua madeira é bastante atraente (TRIANOSKI, 2010), possui excelentes propriedades tecnológicas, grande versatilidade, alto valor comercial (TRIANOSKI, 2010), podendo ser empregada na construção de casas (WHITMORE e OTAROLA, 1976), produção de painéis aglomerados de superior qualidade (TRIANOSKI, 2010). Produz madeira de excelente qualidade para vários usos e apresenta expressivo potencial para ser empregada em sistemas agroflorestais (MARTÍNEZ, *et al.*, 2006; REYES-REYES & LÓPEZ-UPTON, 2003).

Árvores adultas desta espécie podem atingir 30 metros de altura, crescer 12,75 m e atingir 11,5 cm de DAP em 2 anos (MARTINEZ *et al.*, 2006), cujo crescimento foi considerado por Trianoski (2010), como sendo superior àqueles apresentados pelo cinamomo (*Melia azedarach*), grevilea (*Grevillea robusta* A.Cunn.L), guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) e cedro australiano (*Toona ciliata* var. *australis*), além de apresentar resistência a pragas e doenças diversas (Martínez e García, 2004).

Murdoch & Ellis (2000) relatam que sementes de algumas espécies florestais permanecerem viáveis por longos períodos, mas apresentarem germinação lenta e irregular devido a existência de dormência, o que Piña-Rodrigues & Aguiar, (1993) acreditam ser uma estratégia de sobrevivência para perpetuação da espécie.

A principal forma de propagação do cedro rosado é via seminal, porém, suas sementes apresentam dormência tegumentar (Crepaldi *et al.*, 1998; Maia, 2004), que limita a sua propagação de forma satisfatória e homogênea. Existem dormência de sementes em diferentes espécies florestais (Smiderle *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2006; Oliveira & Medeiros Filho, 2007; Passos *et al.*, 2007; Pacheco & Matos, 2009; Borges *et al.*, 2009) e necessitam ser superadas para melhorar o seu desempenho germinativo. Segundo Marcos Filho (2005), nas sementes das espécies leguminosas a dormência é causada pela impermeabilidade dos tegumentos, devido a deposição de lignina e ácidos graxos nas camadas de células paliádicas. Para superar este tipo de dormência, Zaidan & Barbedo, (2004), recomendam a

escarificação mecânica ou química, o que foi confirmado por Crepaldi *et al.* (1998) ao obterem bons resultados empregando esta técnica para a superação de dormência em sementes de *Cesalpineia ferrea*. Embora a escarificação química seja eficiente sobre a superação da dormência destas sementes, Pacheco & Matos (2009) alertam para os riscos de acidentes pessoais e de poluição de fontes naturais de águas.

No Brasil existe uma baixa disponibilidade de sementes melhoradas de cedro rosado, o que poderá ser atribuído, entre outras causas, às limitações de germinação de suas sementes, uma vez que para germinarem de forma efetiva, necessitam apresentar condições fisiológicas e ambientais favoráveis à germinação (FOWLER & BIANCHETTI, 2000). Mesmo sob estas condições favoráveis, as sementes do cedro rosado apresentam germinação desuniforme e em baixa percentagem, devido a presença de dormência tegumentar (Eira *et al.*, 1993; Dantas *et al.*, 1995; Fowler & Bianchetti, 2000; Borges, *et al.*, 1980), fenômeno este que segundo BIANCHETTI, 1991 e EIRA *et al.*, 1993) contribui para a perpetuação da espécie.

A dormência existente nas sementes do cedro rosado é limitante para a propagação da espécie e requer o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem uniformidade e melhores taxas de germinação. Para isto, Eira *et al.*, (1993) sugerem a escarificação ácida como forma de romper ou enfraquecer o tegumento e iniciar o processo de germinação.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de desenvolver metodologias práticas, eficientes e de baixo custo, para superação da dormência tegumentar em sementes de cedro rosado.

■ MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido pela Empresa de Pesquisa agropecuária de Minas Gerais, em parceria com o Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, utilizando sementes de cedro rosado obtidas na Fazenda Monjolinho II, pertencente ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

Foram utilizadas sementes de cedro rosado, cujos frutos completamente secos foram colhidos no chão, sob copas de árvores matrizes adultas e fisiologicamente maduras. Após a colheita, procedeu-se a abertura dos frutos, a extração das sementes, a seleção e a eliminação daquelas sementes quebradas, chochas, trincadas, atacadas por fungos ou insetos. Na sequência, as mesmas foram lavadas em água corrente para a remoção de mucilagens e outros materiais inertes, acondicionadas em embalagem de papel poroso e armazenadas em câmara fria, a uma temperatura média de 4°C e 60% de umidade relativa, durante 60 dias. Decorridos este prazo, as sementes foram removidas da câmara fria e expostas as condições ambientais por 24 horas e posteriormente submetidas a diferentes tratamentos para superação da dormência conforme descritos abaixo: Tratamentos:

T1 - Água corrente à temperatura ambiente por 10 minutos (testemunha).

T2 - Ácido sulfúrico durante 10 minutos mais lavagem em água corrente por 30 segundos.

T3 - Ácido sulfúrico durante 20 minutos mais lavagem em água corrente por 30 segundos.

T4 - Ácido sulfúrico durante 30 minutos mais lavagem em água corrente por 30 segundos.

T5 - Água quente a 90° C durante 30 segundos mais resfriamento ambiental por 4 horas

T6 - Água quente a 90° C durante 60 segundos mais esfriamento ambiental por 4 horas

T7 - Água quente a 90° C durante 90 segundos mais resfriamento ambiental por 4 horas.

T8 - Álcool etílico hidratado 70% durante 30 minutos mais lavagem em água corrente por 30 segundos.

T9 - Álcool etílico hidratado 70% durante 60 minutos mais lavagem em água corrente por 30 segundos.

T10 - Álcool etílico hidratado 70% durante 90 minutos mais lavagem em água corrente por 30 segundos.

Após aplicação dos tratamentos, procedeu-se o semeio das sementes em tubetes plásticos de 180 cm³ contendo uma mistura do substrato comercial plantmax e vermiculita, na proporção de (1:1) v/v. O experimento foi instalado sob o delineamento inteiramente casualizado, contendo 10 tratamentos; duas repetições e parcelas de 27 tubetes, contendo uma semente em cada tubete. Após o semeio, os tubetes foram acondicionados em casa de vegetação do tipo sombra, coberta por sombrite com passagem de 50% de luz. Os tubetes semeados foram irrigados sistematicamente duas vezes ao dia e nos dias de veranicos forte, foram feitas irrigações suplementar na medida das necessidades.

As avaliações dos efeitos dos tratamentos foram feitas aos 10, 20 e 30 dias após a semeadura, para as características germinação (%) e índice de velocidade de germinação (IVE) e somente aos 30 dias foi feita a avaliação da sobrevivência (%):

As avaliações da percentagem de germinação consistiram na contagem do número de plântulas emergidas, em cada um dos períodos avaliados e comparadas com o número de sementes semeadas, convertendo-se os resultados para percentagens. Foram consideradas emergidas aquelas plântulas que projetaram sua parte aérea acima da superfície do substrato. A velocidade de emergência das plântulas varia segundo a época do ano em que é feita a semeadura e influencia a produtividade de diferentes culturas, razão porque o índice de velocidade de emergência foi determinado em conformidade com Maguire (1962), utilizando-se da fórmula:

$$IVE = N_1D_1 + N_2D_2 + N_3D_3 + N_nD_n$$

Onde: IVE = Índice de velocidade de emergência N1, N2, N3 = número de plantas normais emergidas aos 10; 20 e 30 dias após a semeadura. D1, D2, D3 = número de dias após a semeadura e efetuadas na primeira, segunda e terceira avaliação.

A percentagem de sobrevivência foi determinada contando-se o número de plântulas emergidas na avaliação efetuada aos 10 dias após o semeio e comparando com o número de plantas vivas contadas na avaliação de 30 dias, sendo estes valores convertidos para percentagem.

Para efeito de análise estatística, os resultados obtidos para germinação (%) e sobrevivência (%) foram transformados em $\arcsin\sqrt{(\%/100)}$, de forma a atribuir aos dados uma distribuição normal e variância comum ao erro experimental.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise da variância, o teste de médias, a percentagem de germinação; o índice de velocidade de emergência das plântulas e a percentagem de sobrevivência das mudas de cedro rosado, o coeficiente de variação e as diferenças mínimas significativas, são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Porcentagem de germinação, índice de velocidade de emergência das plântulas e percentagem de sobrevivência das mudas de cedro rosado, após tratamentos para superação da dormência tegumentar.

Tratamentos	Germinação (%)			Índice de velocidade emergência			Sobrevivência (%)
	10 dias ¹	20 dias ¹	30 dias ¹	10 dias ¹	20 dias ¹	30 dias ¹	30 dias ¹
Testemunha	38,89 a	44,44 a	44,44 cde	3,39 a	3,49 a	3,49 a	95 a
Tratamento 2	68,52 a	68,52 a	68,52 abc	6,89 a	6,89 a	6,89 a	100 a
Tratamento 3	87,04 ab	87,04 ab	87,04 a	9,27 b	9,27 b	9,27 b	93,18 a
Tratamento 4	83,33 bc	83,33 bc	83,33 ab	10,42 bc	10,42 bc	10,42 bc	97,73 a
Tratamento 5	16,67 bcd	38,89 bc	38,89 de	1,24 cd	1,63 cd	1,63 cd	95,45 a
Tratamento 6	14,81 bcd	24,07 cd	29,63 e	1,00 cd	1,12 cd	1,17 cd	79,46 a
Tratamento 7	27,78 cd	35,19 cd	35,19 de	2,69 cd	2,83 cd	2,83 cd	82,64 a
Tratamento 8	53,70 de	57,41 cd	59,26 bcd	5,18 de	5,24 de	5,25 de	100 a
Tratamento 9	51,85 e	53,70 cd	55,56 cd	3,82 e	3,85 e	3,87 e	100 a
Tratamento 10	40,74 e	40,74 d	46,30 cde	3,70 e	3,70 e	3,76 e	96,43 a
F (5%)	48,74*	26,43*	19,62*	88,62*	86,48*	87,40*	2,64 ns
CV (%)	10,70	10,76	11,51	10,08	9,78	9,67	6,70
D.M.S	20,4798	22,7203	24,9752	1,8990	1,8760	1,8601	-

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; 1Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Ao analisar a tabela 2, constata-se que a análise de variância detectou diferenças significativas entre os tratamentos para as características percentagem de germinação e índice de velocidade de emergência das plântulas (IVE), ao nível de 5% de probabilidade, as idades de 10; 20 e 30 dias após a semeadura, quando os tratamentos 3 e 4 proporcionaram taxas de germinação de 87,04 e 83,33 %, respectivamente, aos 10; 20 e 30 dias após a semeadura, cujos resultados são considerados altos e satisfatórios. Estes resultados

ratificam as afirmações de Eira *et al.*, (1993); Pacheco & Matos (2009); Zaidan & Barbedo, (2004) e mostram que a escarificação ácida empregando o ácido sulfúrico foi efetiva para a superação da dormência, estimular e homogeneizar a germinação das sementes de cedro rosado. Contrariamente, o tratamento 6 revelou ser o menos eficiente para superação da dormência das sementes de cedro rosado, por promover uma desuniforme e reduzida taxa de germinação (29,63%), 30 dias após o semeio.

A percentagem de sobrevivência das mudas, 30 dias após a semeadura, foram considerados expressivos e satisfatória em todos os tratamentos e não houve diferenças estatística entre os mesmos e mostrou que essa característica não foi afetada pelos diferentes tratamentos aplicados às sementes.

Os maiores percentuais de germinação de sementes de cedro rosado, foram proporcionados pelos tratamentos 3 e 4, nos quais a exposição das sementes ao ácido sulfúrico foi de 30 minutos, indicando este como sendo o melhor tempo de imersão que devem ser submetidas as sementes de cedro rosado para superação satisfatória da dormência. Os tratamentos 3 e 4 apresentaram índices de velocidade de emergência de 9,27 e 10,42, respectivamente, cuja diferença não afetou o desenvolvimento das mudas, no entanto, observações visuais identificaram que as sementes submetidas ao tratamento 4 sofreram danos no tegumento, sem, no entanto, afetar nenhuma das características avaliadas.

Os tratamentos 5, 6 e 7, constituídos por água quente, proporcionaram as piores taxas de germinação 30 dias após a semeadura, sinalizando a possibilidade de ter causado a morte de embriões de algumas sementes, motivada pela temperatura da água (90° C) e/ou pela interação de temperatura e tempos de imersão a que foram submetidas. Os tratamentos constituídos por álcool etílico (8, 9 e 10) promoveram percentuais de germinação, índice de velocidade de emergência intermediário e deficitários, no entanto a percentagem de sobrevivência foi considerada alta e satisfatória, indicando que a escarificação química à base de álcool etílico 70% durante 30; 60 e 90 minutos, não influenciou esta característica.

■ CONCLUSÕES

A imersão das sementes de cedro rosado em ácido sulfúrico 90% PA, durante 20 e 30 minutos, seguido pela lavagem em água corrente durante 30 segundos foram os métodos mais eficazes para a superação da dormência tegumentar desta espécie.

■ REFERÊNCIAS

1. BIANCHETTI, A. Tratamentos pré-germinativos para sementes florestais. In: SIMPÓSIO **BRA-SILEIRO SOBRE SEMENTES FLORESTAIS**, 2, Atibaia, SP. 1989. Anais... São Paulo: Instituto Florestal, 1991. p. 237-246.
2. BORGES, E.E.L.; BORGES, R.C.G.; TELES, F.F.F. Avaliação da maturação e dormência de sementes de orelha-de-negro. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 2, n.2; p.29-32, 1980.
3. BORGES, R.C.F.; COLLAÇO JÚNIOR, J.C.; SCARPARO, B.; NEVES, M.B.; CONEGLIAN, A. Caracterização da curva de embebição de sementes de pinhão manso. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v.7, n.13, p.1-8, 2009.
4. CREPALDI, I.C.; SANTANA, J.R.F.; LIMA, P.B. Quebra de dormência de sementes de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea* Mart. Ex Tul.-Leguminosae, Caesalpinioideae). **Sitientibus**, n.8, p.19- 29, 1998.
5. DANTAS, S. V; CUNHA, M. C. L; SILVA, A. L. A. Avaliação experimental da eficiência de alguns métodos de quebra de dormência em sementes de garapa (*Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbr.) **Floresta e Ambiente**, ano 2, p. 70 - 73. 1995
6. EIRA, M. T. S; FREITAS, R. W. A; MELLO, C. M. C. SUPERAÇÃO DA DORMÊNCIA DE SEMENTES DE *Enterolobium contortisiliquum* (VELL.) MORONG. – LEGUMINOSAE. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 15, n. 2, p. 177-181, 1993.
7. FLORES, H. J. M; ÁVALOS, V. M. C; SÁNCHEZ, J. J. G; CHE, M. B. Evaluación de una plantación de tres especies tropicales de rápido crecimiento en nuevo urecho, michoacán. **Revista Ciencia Forestal en México**. Vol. 34. Núm. 106. Julio-diciembre de 2009.
8. FOWLER, A.J.P.; BIANCHETTI, A. Dormência em sementes florestais. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 27p. (Embrapa Florestas. Documentos, 40).
9. MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, jan./fev. 1962. 176-177p.
10. MAIA, G.N. Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades, São Paulo: Leitura e Arte, 2004. 413p.
11. MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.
12. MARTÍNEZ, P. E.; GARCIA, J. M. Evaluación de cinco tratamientos fitosanitarios en la producción de Plántulas de Cedro Rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn) en Etapa de Semillero en Tuxpan, Veracruz, México, **Revista UDO Agrícola**, v. 4, n. 1, p. 27-30, 2004.
13. MARTÍNEZ, P. E; GARCÍA, H. M. M; SÁNCHEZ, M DE LA L. H; PÉREZ, G. O. Cultivo intercalado de cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight) y su efecto sobre el contenido de materia orgánica en el suelo. **Revista UDO Agrícola**, 6 (1): 109-113. 2006.
14. MURDOCH, A.J.; ELLIS, R.H. Dormancy, viability and longevity. In: Fenner, M. (Ed.) *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. 2. ed. Wallingford: CABI Publishing, 2000. p. 183-214.

15. OLIVEIRA, A.B.; MEDEIROS FILHO, S. Influência de tratamentos pré germinativos, temperatura e luminosidade na germinação de sementes de leucena, cv. Cunningham. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.4, p.268- 274, 2007.
16. PACHECO, M.V. Superação de dormência em sementes de Caryocar brasiliense Camb. Montes Claros: Universidade Estadual de Montes Claros, 2002. 31p. Monografia.
17. PACHECO, M.V.; MATOS, V.P. Método para superação de dormência tegumentar em sementes de *Apeiba tibourbou* Aubl. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.1, p.62- 66, 2009.
18. PASSOS, M.A.; TAVARES, K.M.P.; ALVES, A.R. Germinação de sementes de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.1, p.51-56, 2007.
19. PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; AGUIAR, I.B. Maturação e dispersão de sementes. In: Aguiar, I.B.; Piña-Rodrigues, F.C.M.; Figliolia, M.B. (org.) Sementes florestais tropicais. Brasília: ABRATES, 1993. p.83-135.
20. REYES-REYES, J.; LÓPEZ-UPTON, J. Crecimiento del cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight. & Arn.) a diferentes altitudes en fincas cafetaleras del soconusco, Chiapas. **Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del ambiente** v 9, n 2, 137-142, 2003.
21. SILVA, G. A. et al. Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 1, p. 51-60, 2006.
22. SILVA, L.M.M.; MATOS, V.P. Estudo sobre dormência de sementes de mulungu (*Erythrina velutina* Willd.): viabilidade e presença de inibidores. **Ciência Agrícola**, v.2, n.1, p.29-40, 1994.
23. SMIRDELE, O.J.; MOURÃO JÚNIOR, M.; SOUSA, R.C.P. Tratamentos pré- germinativos em sementes de acácia. **Revista Brasileira de Sementes**, v.27, n.1, p.78-85, 2005.
24. TRIANOSKI, R. Avaliação do potencial de espécies florestais alternativa, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada. 260 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
25. WHITMORE, J. L. Y A. T. OTAROLA. *Acrocarpus fraxinifolius* **Wight**. especie de rápido crecimiento inicial, buena forma y mader de uso múltiple. **Turrialba**, v. 26, no 6, p. 201-203. 1976.
26. ZAIDAN, L.B.P.; BARBEDO, C.J. Quebra de dormência em sementes. In: Ferreira, A. G.; Borghetti, F. Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.135-146.

Termoterapia na superação de dormência de sementes de Flamboyant (*Delonix regia*) (Bojer ex Hook) Raf.

| **Raphael Barbosa Lobo**
UESB

| **José Teodoro Silva Novaes**
UESB

| **Mateus Pereira dos Santos**
UESB

| **Beatriz Sousa Coelho**
UESB

| **Gisele Brito Rodrigues**
UESB

RESUMO

O flamboyant é uma espécie arbórea amplamente utilizada no Brasil em ornamentação e paisagismo. No entanto, sua propagação ocorre, geralmente, por meio de sementes, que apresentam dormência pela impermeabilidade do tegumento à água. Com este trabalho objetivou-se avaliar o efeito da termoterapia na superação de dormência de sementes de flamboyant. As sementes foram coletadas de três matrizes do campus da UESB, Vitória da Conquista- BA. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x2+1 sendo associadas três temperaturas (70, 80 e 90°C) e dois tempos de imersão (15 e 20 minutos) e um tratamento adicional (Testemunha), com quatro repetições de 25 sementes. As sementes foram submetidas aos tratamentos térmicos em banho Maria, em seguida foram distribuídas em papéis Germitest umedecidos com 2,5 vezes o seu peso seco e acondicionados em câmara B.O.D a $25\pm0,3^{\circ}\text{C}$. Avaliou-se a Primeira Contagem, Porcentagem e Índice de Velocidade de Germinação, Coeficiente de uniformidade de Germinação e Índice de Sincronização de Germinação. Os resultados indicaram contrastes entre os tratamentos fatoriais e o tratamento adicional, sendo que maiores médias foram encontradas no tratamento de imersão à 80°C independente do tempo utilizado em relação aos tratamentos de imersão à 70°C e 90°C nos referidos tempos. Recomenda-se a utilização da termoterapia na temperatura de 80°C por 15 minutos para a superação da dormência de sementes de flamboyant.

Palavras-chave: Germinação, Qualidade Fisiológica, Tratamento Térmico de Sementes.

■ INTRODUÇÃO

A espécie *Delonix regia*, conhecida popularmente como flamboyant é oriunda de Madagascar e altamente adaptada às condições ambientais de clima tropical, e por isso tem sido amplamente utilizada na arborização de praças e ruas brasileiras (TOSCAN *et al.*, 2010). Porém, como na maioria das espécies florestais, as sementes de flamboyant apresentam dormência, ocasionada pela impermeabilidade do tegumento à água (LORENZI *et al.* 2003), dificultando sua propagação para a obtenção de mudas.

Geralmente, em sementes de espécies da família Leguminosae, o tipo mais comum de dormência é a causada pela impermeabilidade do tegumento à água (POPINIGIS, 1985), e no caso das leguminosas, a dormência pode ser superada através de exposição à altas temperaturas (BASKIN *et al.*, 2000), através do uso de escarificação promovida pela água quente, que tem sido utilizado como tratamento pré- germinativo para sementes dessa família.

Há poucas informações sobre a combinação ideal de temperatura e tempo para superar a dormência das sementes de flamboyant e obter bons valores de germinação. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da termoterapia com diferentes combinações de temperatura e tempo na superação da dormência de sementes de *Delonix regia*.

■ MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de flamboyant foram coletadas em três matrizes localizadas no *Campus* da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Campus de Vitória da Conquista, BA e o trabalho foi conduzido no Laboratório de Produção e Tecnologia de Sementes da UESB.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x2+1, composto por três temperaturas (70, 80 e 90°C), dois tempos de imersão (15 e 20 minutos) e um tratamento adicional (Testemunha), com quatro repetições de 50 sementes por tratamento.

As sementes foram imersas em água aquecida em Banho Maria nas temperaturas e tempos supracitados. Após a imersão, as sementes foram retiradas e resfriadas em temperatura ambiente e desinfestadas com Hipoclorito de Sódio (1%). Em seguida, foram distribuídas uniformemente em papeis Germitest, que foram organizados em rolos e acondicionados em sacos plásticos lacrados para evitar a perda de umidade por evaporação e mantidos em B.O.D à 25±0,4°C. As avaliações foram realizadas diariamente, finalizando no 15º dia após a instalação dos testes. As variáveis avaliadas foram: Primeira Contagem de Germinação (PCG) (%) (BRASIL, 2009); Porcentagem de Germinação (G%) (%) (BRASIL, 2009); Índice de velocidade de germinação (IVG) (Maguire, 1962); Coeficiente de Uniformidade de Germinação (CUG) (BEWLEY; BLACK, 1994); Índice de Sincronização de Germinação ou Incerteza () (bits) (LABORIAU, 1983)

Os dados foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste Tukey à 5% de probabilidade realizada através do programa *R*.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, houve contraste entre os fatores e o tratamento adicional, sendo que, maiores valores médios foram encontrados para os tratamentos fatoriais para todas as variáveis estudadas, exceto para Primeira Contagem de Germinação (Tabela 1).

Foi verificada interação significativa entre as temperaturas e os tempos de imersão apenas para a variável Índice de Velocidade de Germinação, para as demais variáveis, foram encontradas diferenças significativas em relação aos fatores de forma isolada.

Para a variável Primeira Contagem, não foram encontradas diferenças significativas para as temperaturas e tempos de imersão, segundo Popinigis (1985), quanto maior a porcentagem de sementes germinadas na primeira contagem, maior é o vigor do lote de sementes, porém esse parâmetro pode ser influenciado por fatores como a dormência das sementes, como é o caso do flamboyant.

Tabela 1. Primeira Contagem, Porcentagem e Índice de Velocidade de Germinação; Coeficiente de Uniformidade e Índice de Sincronização de Germinação (bits) de sementes de *D. regia* submetidas à termoterapia em diferentes combinações de temperaturas e tempos, Vitória da Conquista, BA, 2019.

Variáveis					
	Primeira Contagem de Germinação¹ (%)	Porcentagem de Germinação (%)	Coeficiente de Uniformidade de Germinação²	Índice de Sincronização de Germinação (bits)	Índice de Velocidade de Germinação
Contraste Fatorial x Adicional	ns	**	**	**	**
Adicional	4,06 A	1,50 B	0,00 B	0,00 B	0,07 B
Fatorial	3,13 A	62,33 A	0,49 A	0,16 A	4,67 A
Tempo x Temperatura	ns	ns	**	ns	ns
CV (%)	42,99	2,64	41,28	12,38	
Tratamentos	Primeira Contagem de Germinação¹ (%)	Porcentagem de Germinação (%)	Coeficiente de Uniformidade de Germinação²	Índice de Sincronização de Germinação (bits)	
Temperatura (°C)					
70	4,49 A	63,75 B	0,50 A	0,16 A	
80	4,91 A	83,50 A	0,48 A	0,17 A	
90	0,00 A	39,75 C	0,49 A	0,16 A	
Tempo de imersão (min.)					
15	2,60 A	65,00 A	0,51 A	0,16 A	
20	3,67 A	59,67 A	0,47 B	0,16 A	
Tempo de imersão (min.)	Índice de Velocidade de Germinação (IVG)				
	Temperatura (°C)				
	70		80		90
15	5,77 Aa		6,21 Aa		2,26 Ab
20	4,13 Bb		7,35 Aa		2,28 Ac

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade; ** significativo à 1% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo; ¹ Médias transformação em arcoseno; ² Médias transformadas em

Em relação à porcentagem de germinação, observou-se que, a temperatura de 80°C, independentemente do tempo de imersão, proporcionou germinação de 83,50% das sementes, sendo superior ao tratamento de 70°C e 90°C, que apresentou valor médio de 63,75 e 39,75% respectivamente, independentemente do tempo de imersão. Esses valores foram superiores aos encontrados por Marques *et al.* (2017), em que, com a mesma faixa de temperatura (80°C) e tempo de imersão de 5 minutos, encontraram porcentagem de plântulas emergidas de apenas 16%. Já os resultados Kramer e Zonetti (2018), utilizando a temperatura de 95°C, por 10 minutos, obteve germinação de 55,73% das sementes.

Quanto ao Índice de Velocidade de Germinação, houve interação significativa entre as temperaturas e os tempos de imersão, sendo que, no tempo de 15 minutos de imersão, as temperaturas de 70 e 80°C apresentaram médias estatisticamente iguais, e superiores à 90°C, correspondendo à 5,77; 6,21 e 2,26; respectivamente. Enquanto no tempo de 20 minutos de imersão em água quente, a temperaturas de 80°C apresentou média de 7,35; valor superior às médias dos tratamentos de 70 (4,13) e 90°C (2,28). Já para o fator tempo dentro de cada nível de temperatura, observou-se que, houve diferenças significativas apenas dentro da temperatura de 70°C, onde o tempo de 15 minutos apresentou maior média. Esses resultados, no entanto, foram inferiores aos de Oliveira *et al.* (2018), que obtiveram valores de IVG de 7,00 para imersão à 65°C por 5 minutos e de 17,00 para imersão à 80°C no mesmo tempo de imersão. Todavia, esses dados demonstram que as sementes responderam aos tratamentos em relação à velocidade de germinação, germinando mais rapidamente quando submetidas à temperatura de 80°C.

Para o Coeficiente de uniformidade de Germinação, não foram encontradas diferenças significativas entre as temperaturas estudadas, apenas entre os tempos de imersão, que em 15 minutos de imersão apresentou maior média de uniformidade de germinação em relação à média do tempo de 20 minutos. O Coeficiente de Uniformidade de Germinação mede a variabilidade da germinação em torno do tempo médio de germinação, dessa forma, quanto maior for o seu valor, mais concentrada no tempo será a germinação. Os resultados deste trabalho demonstram que, possivelmente o maior tempo de exposição da semente à termoterapia levou à flexibilização da membrana do tegumento, facilitando a embebição de água na maioria das sementes, que por sua vez, apresentaram germinação mais concentrada no tempo.

Quanto ao Índice de Sincronização de Germinação, os resultados indicaram que não houve diferenças significativas entre os tratamentos utilizados. O Índice de Sincronização de Germinação, quanto menor for o seu valor, mais sincronizada está a germinação (NEVES, 2018). Os resultados desse trabalho indicaram que as sementes apresentaram sincronia de germinação.

■ CONCLUSÕES

O binômio temperatura x tempo de 80°C por 15 minutos possibilitou o melhor resultado para a superação de dormência de sementes da espécie Flamboyant.

■ REFERÊNCIAS

1. BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. LI, X. Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds. **Plant Species Biology**, Australia, v. 15, p. 139-152, 2000.
2. BEWLEY, J.D.; BLACK, M. Seeds: Physiology of Development and Germination. Plenum Publishing Corporation, New York, USA, 1994.
3. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 399 p. 2009.
4. KRAMER, J. M. F.; ZONETTI, P. da C. Superação de dormência de flamboyant (*Delonix regia*) e trema (*Trema micrantha*). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 2, p. 599-614, 2018.
5. LABOURIAU, L. G. Germinação das sementes. Washington: Secretaria-Geral da Organização dos Estados Americanos, 174 p., 1983.
6. LORENZI, H. et al. **Árvores Exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003.
7. MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, p.176-177, 1962.
8. MARQUES, A.C. A.; JUNIOR, O. B.P.; VIEIRA, V. L. L. Avaliação de tratamentos de superação de dormência em sementes do *Delonix regia* (Boger ex Hook.) Raf coletadas no Horto Florestal Tote Garcia, Cuiabá, Mato Grosso. **Ensaios e Ciência: C. Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 21, n. 1, p. 48-51, 2017.
9. NEVES, B. R. **Condicionamento Fisiológico de sementes de Pupunha (*Bactris Gasipaes* Kunth)**. 2018, 76 f. Dissertação de Mestrado em Agronomia (Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA.
10. OLIVEIRA, K. J. B. de et al. Quebra de dormência de sementes de *Delonix regia* (Fabaceae). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 131-140, 2018.
11. POPINIGIS, F. Fisiologia da semente. 2.ed. Brasília: ABRATES, 1985. 298p.
12. TOSCAN, M.A.G.; RICKLI, H.C.; BARTINICK, D.; SANTOS, D.S. dos; ROSSA, D. Inventário e análise da arborização do Bairro Vila Yolanda, do município de Foz Do Iguaçu – PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (REVSBAU)**, v.5, n.3, p.165-184, 2010.

SOBRE O ORGANIZADOR

Prof. Dr. Robson José de Oliveira

Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2002), mestrado em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2004) e doutorado em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2008). Atualmente é professor associado I da Universidade Federal do Piauí/CTT em Teresina -PI. Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em Legislação Florestal, Colheita, Estradas e Transportes Florestais, atuando principalmente nos seguintes temas: estradas, transportes, estabilização, pavimentação, redes neurais artificiais, ferramentas computacionais aplicadas ao setor florestal, logística, política e legislação ambiental, avaliação de impactos ambientais, perícia ambiental, educação ambiental, colheita florestal, ergonomia, qualidade, gestão de projetos, ética e deontologia.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2371730431088108>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agricultura Conservacionista: 87

B

Bioindicadores: 33, 46

C

Cactáceas: 49

Carbono Neutro: 87

Cedro Rosado: 114

Colophospermum Mopane: 13, 14, 19, 22, 28, 30, 31

Combate: 63

Conservation: 18, 30, 47, 97

D

Dormência: 113, 119

E

Enzimas de Solo: 33

Espaçamento: 49

F

Frutíferas Nativas: 100

G

Germinação: 117, 120, 122, 123, 124, 125, 126

H

Hidrolases: 33

I

Índice de Área de Cladódio: 49

P

Planossolo: 87, 89, 90, 93, 94, 95

Políticas: 63, 70, 77

Produção de Mudas: 110

Q

Qualidade Física: 87

S

Sazonalidade: 33

Sementes Florestais: 120

U

Uso do Solo: 33

www.editoracientifica.org

contato@editoracientifica.org

ISBN 978-658982688-0

VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS

ILP

INTEGRAÇÃO LAVOURA - PECUÁRIA - FLORESTA

desafios, perspectivas, retrocessos e avanços

editora
científica digital