

Pterogyne nitens:
a madeira-nova da
CAATINGA

Organizadores:
Dalton Longue Júnior
Brunela Pollastrelli Rodrigues



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA (UESB)

Reitor

Prof. Dr. Luiz Otávio de Magalhães

Vice-Reitor

Prof. Dr. Marcos Henrique Fernandes

Pró-Reitora de Extensão e Assuntos Comunitários (PROEX)

Profª Drª Gleide Magali Lemos Pinheiro

Diretora da Edições UESB

Me. Manuella Lopes Cajaíba

Editor

Yuri Chaves Souza Lima

COMITÊ EDITORIAL

Presidente

Profª Drª Gleide Magali Lemos Pinheiro (PROEX)

Representantes dos Departamentos/Áreas de Conhecimento

Profª Drª Alba Benemérita Alves Vilela (DS II)

Profª Drª Delza Rodrigues de Carvalho (DCSA)

Prof. Dr. Cezar Augusto Casotti (DS 1)

Prof. Dr. Flávio Antônio Fernandes Reis (DELL)

Prof. Dr. José Antonio Gonçalves dos Santos (DCSA)

Prof. Dr. José Rubens Mascarenhas de Almeida (DH)

Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues (DTRA)

Profª Drª Sylvana Naomi Matsumoto (DFZ)

Representantes da Edições UESB

Me. Manuella Lopes Cajaíba (Diretora)

Esp. Yuri Chaves Souza Lima (Editor)

Adm. Jacinto Braz David Filho (Revisor)

Dr. Natalino Perovano Filho (Portal de Periódicos)

PRODUÇÃO EDITORIAL

Normalização Técnica

Jacinto Braz David Filho

Revisão de linguagem

Luciana Moreira Pires Flôres

Capa

Arte gráfica: Warley Souza

Fonte da imagem: Libro del Árbol, Tomo II, editado por Celulosa Argentina SA, Buenos Aires, Argentina, outubro de 1975. Autor: Jorge Vallmitjana. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pterogyne_nitens.jpg

Publicado em: março de 2024.

Dalton Longue Júnior
Brunela Pollastrelli Rodrigues
Organizadores

Pterogyne nitens:
a madeira-nova da
CAATINGA



Vitória da Conquista – Bahia
2024

Copyright © 2024 by Organizadores.
Todos os direitos desta edição são reservados a Edições UESB.
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação de direitos autorais (Lei 9.610/98).

Livro selecionado conforme Edital UESB N° 102/2022 – Publicação de livros técnico-científicos em formato digital (e-books)

P1

Pterogyne nitens: a madeira-nova da Caatinga. [recurso eletrônico]. / Dalton Longue Júnior, Brunela Pollastrelli Rodrigues (org.) – Vitória da Conquista: Edições UESB, 2024.

113 p.

ISBN 978-65-87106-71-7

1. Madeira nova – Mudas. 2. *Pterogyne nitens*. 3. Madeira de *Pterogyne nitens*.
I. Longue Júnior, Dalton. II. Rodrigues, Brunela Pollastrelli. III. T.

CDD: 620.12

Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890
Biblioteca Universitária Professor Antonio de Moura Pereira UESB – Campus de Vitória da Conquista

Editora filiada à:



Campus Universitário – Caixa Postal 95 – Fone: 77 3424-8716
Estrada do Bem-Querer, s/n – Módulo da Biblioteca, 1º andar
45031-900 – Vitória da Conquista – Bahia
www2.uesb.br/editora – E-mail: edicoesuesb@uesb.edu.br

SUMÁRIO

Sobre os autores.....	6
Prefácio	
<i>Dalton Longue Júnior e Brunela Pollastrelli Rodrigues.....</i>	9
Capítulo 1 – Fenologia de <i>Pterogyne nitens</i> Tul.	
<i>Cássio Maggi Salvia Maciel, Alessandro de Paula, Cristiano Tagliaferre, Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.....</i>	10
Capítulo 2 – Produção e desempenho no campo de mudas de madeira-nova (<i>Pterogyne nitens</i> Tul.)	
<i>Adalberto Brito de Novaes, Luís Carlos de Freitas, Hannah Cristina Botelho Lima de Fanola, Ariane Miranda de Oliveira e Ronaldo Dias Nogueira.....</i>	18
Capítulo 3 – Microrganismos de solos de ocorrência em cultivo de <i>Pterogyne nitens</i> Tul. (madeira-nova)	
<i>Renata Soares dos Santos e Jolison Silva Ferreira.....</i>	27
Capítulo 4 – Análise econômica na produção de madeira-nova (<i>Pterogyne nitens</i> Tul.): uma avaliação preliminar	
<i>Luís Carlos de Freitas, Adalberto Brito de Novaes, Júlio Conceição dos Santos Neto e Liniker Fernandes da Silva.....</i>	36
Capítulo 5 – Volume, biomassa e carbono de árvores de <i>Pterogyne nitens</i> Tul.	
<i>Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia, Alessandro de Paula, Fabiano Pereira Rodrigues e Thaís Chaves Almeida.....</i>	44
Capítulo 6 – Biomassa e carbono no sistema serapilheira-solo de <i>Pterogyne nitens</i> Tul.: um estudo de caso na Bahia	
<i>Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia e Paulo Henrique Marques Monroe.....</i>	56
Capítulo 7 – Caracterização física, química e anatômica da madeira de <i>Pterogyne nitens</i> Tul.	
<i>Dalton Longue Júnior, Allana Katiussya Silva Pereira e Brunela Pollastrelli Rodrigues.....</i>	71
Capítulo 8 – Utilização da madeira de <i>Pterogyne nitens</i> Tul. para a produção de carvão vegetal e polpa celulósica	
<i>Dalton Longue Júnior e Allana Katiussya Silva Pereira.....</i>	83
Capítulo 9 – Pragas e doenças associadas à <i>Pterogyne nitens</i> Tul. (madeira-nova)	
<i>Rita de Cássia Antunes Lima de Paula, Quelmo Silva de Novaes, Erihva Machado Costa, Suellen Gomes Monteiro Batista e Poliana Coqueiro Dias Araújo.....</i>	93

SOBRE OS AUTORES

ADALBERTO BRITO DE NOVAES

Professor Pleno da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: adalberto@uesb.edu.br

ALESSANDRO DE PAULA

Professor Titular da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: apaula@uesb.edu.br

ALLANA KATIUSSYA SILVA PEREIRA

Doutoranda em Recursos Florestais pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

E-mail: allana.florestal@gmail.com

ARIANE MIRANDA DE OLIVEIRA

Doutoranda em Fitotecnia pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: mirandadeoliveira.ariane@gmail.com

BRUNELA POLLASTRELLI RODRIGUES

Professora Assistente do Departamento de Florestas e Conservação Ambiental da Clemson University

E-mail: brunelr@clemson.edu

CÁSSIO MAGGI SALVIA MACIEL

Gestor Ambiental, lotado na Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais

E-mail: macielflorestal@hotmail.com

CRISTIANO TAGLIAFERRE

Professor Pleno da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: tagliaferre@uesb.edu.br

DALTON LONGUE JÚNIOR

Professor Titular da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: dalton@uesb.edu.br

FABIANO PEREIRA RODRIGUES

Mestrando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras

E-mail: fabiano.engflo@gmail.com

HANNAH CRISTINA BOTELHO LIMA DE FANOLA

Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: hannah_fanola@hotmail.com

JOILSON SILVA FERREIRA

Professor Titular da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: joilsonferreira@uesb.edu.br

JÚLIO CONCEIÇÃO DOS SANTOS NETO

Doutorando em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

E-mail: julionetoguitar94@gmail.com

LINIKER FERNANDES DA SILVA

Professor Adjunto da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

E-mail: liniker@ufrb.edu.br

LUÍS CARLOS DE FREITAS

Professor Pleno da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: luisfreitas@uesb.edu.br

PATRÍCIA ANJOS BITTENCOURT BARRETO-GARCIA

Professora Titular da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: patriciabarreto@uesb.edu.br

PAULO HENRIQUE MARQUES MONROE

Pós-Doutorando em Ciências Florestais pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: paulomonroes@gmail.com

POLIANA COQUEIRO DIAS ARAÚJO

Professora Adjunta da Universidade Federal Rural do Semiárido

E-mail: poliana.coqueiro@ufersa@edu.br

QUELMO SILVA DE NOVAES

Professor Pleno da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: qsnovaes@uesb.edu.br

RITA DE CÁSSIA ANTUNES LIMA DE PAULA

Professora Adjunta da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: rcassia@uesb.edu.br

RENATA SOARES DOS SANTOS

Doutora em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte

Fluminense Darcy Ribeiro

E-mail: renata2soares@yahoo.com.br

RONALDO DIAS NOGUEIRA

Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: diasrl01@gmail.com

SUELLEN GOMES MONTEIRO BATISTA

Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: suellen.engflorestal@yahoo.com.br

THAÍS CHAVES ALMEIDA

Mestranda em Ciências Florestais pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

E-mail: thaiialmeida2@gmail.com

PREFÁCIO

Este livro foi elaborado por professores e pesquisadores do curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), com o objetivo de popularizar o conhecimento técnico-científico acerca da espécie *Pterogyne nitens* Tul., conhecida por madeira-nova.

O Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UESB, oferecido no campus de Vitória da Conquista, tem formado profissionais altamente qualificados e produzido trabalhos científicos que são publicados em revistas, congressos e reuniões científicas. Trata-se de trabalhos que têm apoiado a pesquisa realizada pelos estudantes de graduação e gerado informações importantes para o setor florestal brasileiro, com foco na região onde está inserido.

Entre os diversos temas das Ciências Florestais, algumas pesquisas do programa focaram estudos sobre uma espécie florestal pertencente à família Fabaceae, a *Pterogyne nitens*. Assim, a importância desse livro é retratar o cultivo dessa espécie nativa, com grande potencial de uso, por apresentar muitas características, das quais se destacam o rápido crescimento, a boa relação C/N na decomposição de sua serapilheira, sua indicação na recuperação de áreas degradadas e na arborização urbana e sua potencialidade para a produção de produtos florestais, tanto madeireiros, baseada em sua elevada densidade e boa performance na produção de carvão vegetal, quanto não madeireiros, com destaque ao uso medicinal.

Dessa maneira, esta é uma obra de referência para consulta de dados e informações sobre a espécie *Pterogyne nitens*, constituída de nove capítulos, que são distribuídos em temas que vão desde a produção de mudas, proteção florestal (pragas e doenças), relações simbióticas entre a espécie e microrganismos até as propriedades e uso final da madeira. Além disso, pesquisas sobre fenologia, crescimento e volumetria e viabilidade técnica de implantação são abordadas nos capítulos.

Este livro tem como público-alvo discentes dos cursos técnicos, dos cursos de graduação e de pós-graduação, bem como professores, pesquisadores e profissionais diretamente relacionados com o estudo de espécies florestais e sua utilização.

Espera-se que os leitores deste material possam conhecer mais essa importante espécie florestal da Caatinga baiana e utilizar seus dados e informações para o desenvolvimento de projetos ambientais e industriais, considerando as potencialidades da espécie.

Dalton Longue Júnior e Brunela Pollastrelli Rodrigues
Organizadores

Capítulo 1

Fenologia de *Pterogyne nitens* Tul.

Cássio Maggi Salvia Maciel
Alessandro de Paula
Cristiano Tagliaferre
Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia

1 Introdução

A fenologia é uma ciência que estuda os fenômenos biológicos que se repetem periodicamente (Marchiori, 2004). Para indivíduos arbóreos, observam-se a floração, frutificação, brotação e queda foliar, as quais possuem diferentes intensidades de ocorrência e sincronia entre os indivíduos. Os estudos fenológicos têm por finalidade levantar informações sobre o ciclo anual das espécies, o qual está relacionado diretamente à sazonalidade das condições climáticas e à característica adaptativa de cada espécie (Andreis *et al.*, 2005). Essas informações permitem solucionar diversas questões associadas ao manejo mais produtivo das espécies, indicando períodos mais favoráveis ao uso de seus recursos, sejam madeireiros ou não madeireiros.

A *Pterogyne nitens* Tul. ocorre do nordeste do país até o oeste de Santa Catarina (Lorenzi, 2008). No Sudoeste Baiano, essa espécie é encontrada nas florestas de transição entre o bioma Mata Atlântica e Caatinga. Possui porte de médio a grande, podendo chegar a 15 m de altura, com tronco de até 50 cm de diâmetro à altura do peito. Apresenta características de espécie pioneira, reproduzindo-se com facilidade por sementes (Carvalho, 2003).

O objetivo deste capítulo é trazer informações a respeito da determinação e avaliação do padrão fenológico de *P. nitens* e sua correlação com a sazonalidade climática, para ampliação do conhecimento acerca da ecologia da espécie e uso mais eficiente de seus recursos.

2 Importância do estudo fenológico/aplicação da fenologia como uma ferramenta de gerenciamento

As informações fenológicas contribuem para o uso racional dos recursos vegetais, tanto para fins conservacionistas como de produção de alimentos e forragem. Dessa forma obtêm-se melhores índices relacionados ao aproveitamento no âmbito da silvicultura, na alimentação dos animais e na recomposição da cobertura vegetal em áreas antropizadas (Fabricante; Andrade; Oliveira, 2009).

Diante das exigências legais relacionadas aos planos de manejo de formações florestais, é fundamental conhecer a fenologia das espécies, para atender as pressuposições do manejo como o estabelecimento de ações de recuperação ecológica e o planejamento da colheita de sementes para produção de mudas (Mantovani *et al.*, 2003; Sampaio *et al.*, 2008).

A fenologia de espécies florestais permite ainda compreender a dinâmica dos eventos reprodutivos e vegetativos em relação às variações ambientais, principalmente à sazonalidade hídrica (Bertazzoni; Damasceno-Júnior, 2011). Essa ideia é reforçada por Talora e Morellato (2000), que constatarem várias correlações significativas entre as fenofases estudadas e as variáveis climáticas, indicando a influência dos fatores ambientais mesmo pouco sazonais sobre os padrões fenológicos das espécies.

3 Amplitude e sincronia

O estudo da fenologia tem por base a observação dos eventos fenológicos e o tempo do advento deles nos indivíduos. Essa observação deve contemplar dois aspectos fundamentais: a amplitude e a sincronia.

A amplitude refere-se à intensidade do evento no indivíduo, numa escala semiquantitativa de cinco categorias (0 a 4), com intervalo de 25% entre elas. Com isso, é possível avaliar quão importante é o evento no indivíduo naquele momento.

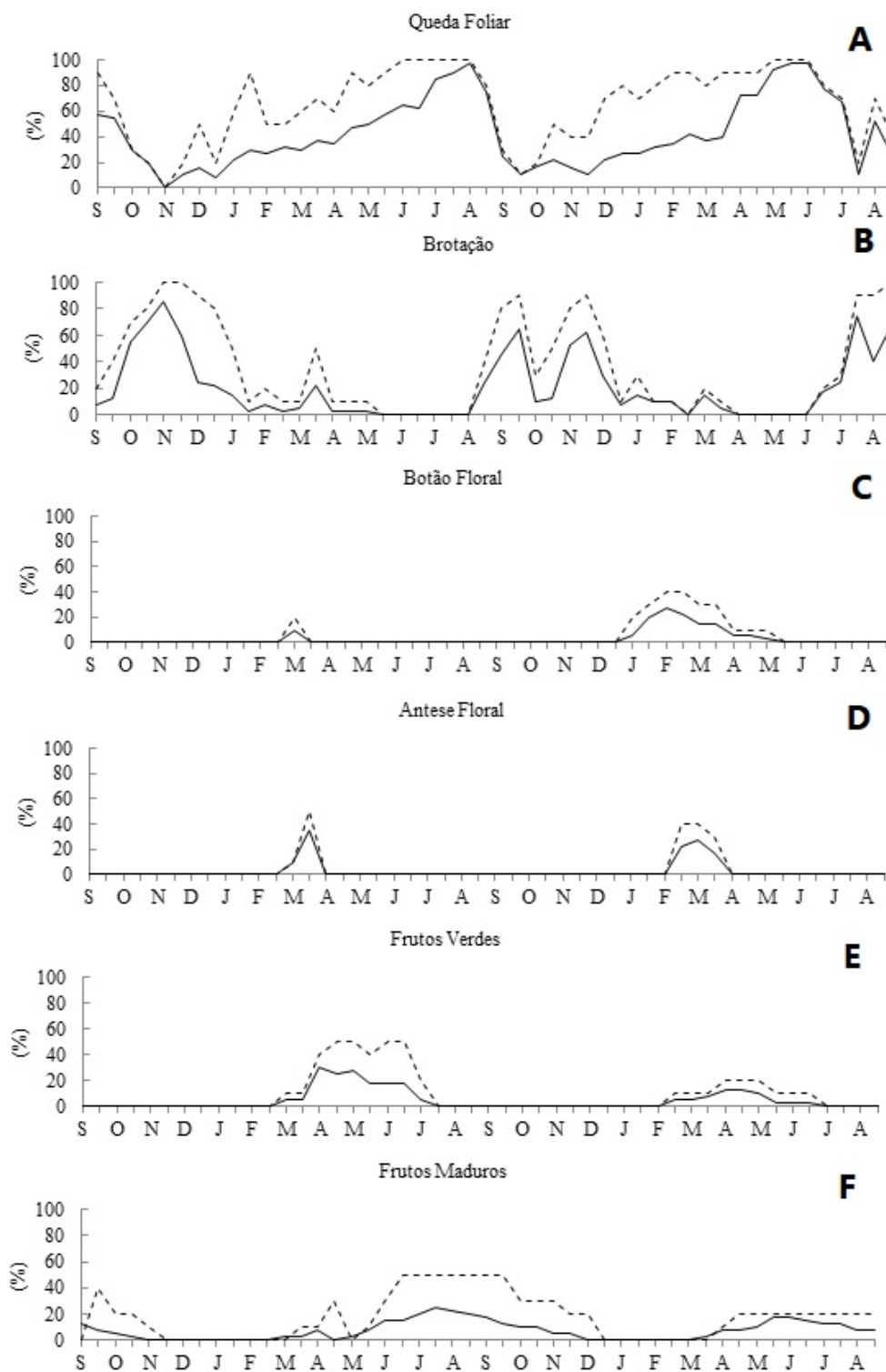
Já a sincronia revela o percentual da presença do evento fenológico na espécie. Com esse parâmetro, observa-se o comportamento da espécie em relação ao evento. Assim, é possível verificar se a ocorrência do evento está relacionada a um potencial do indivíduo ou se é um comportamento da espécie. Para avaliar a sincronia, é considerado assincronismo quando menos de 20% dos indivíduos estão na mesma fenofase, pouca sincronia quando o valor se encontra entre 20 e 60% e sincronia alta quando o número de indivíduos na fenofase ultrapassa 60%.

A metodologia utilizada para avaliar os eventos fenológicos foi a elaborada por Fournier (1974), baseada nas fenofases (botão floral, antese floral, frutos verdes, frutos maduros, queda foliar e brotação).

Um dos princípios da metodologia é a observação, a cada 15 dias, do surgimento dos eventos fenológicos, para que se reduza a chance de perda de informações. Para aumentar a consistência dos dados, o período de acompanhamento da espécie *Pterogyne nitens* foi de 24 meses.

A espécie mostrou-se muito irregular quanto à ocorrência das fenofases e dos valores das amplitudes e sincronias (Figuras 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F). A queda foliar teve seu máximo de 57,5% na primeira quinzena de setembro de 2010. Já em 2011 essa fenofase atingiu uma amplitude máxima de 90% em julho. Esse evento se apresentou em todo o período de observação em variadas amplitudes, com exceção da primeira quinzena de novembro. Nesse período, foi observada a máxima amplitude da brotação, que atingiu um valor de 85%.

Figura 1: Amplitude (—) e sincronia (----) fenológica quinzenal para queda foliar (A), brotação (B), botão floral (C), antese floral (D), frutos verdes (E) e frutos maduros (F) da espécie *Pterogyne nitens* Tul. em Floresta Estacional Semidecidual Montana de Vitória da Conquista, na Bahia.



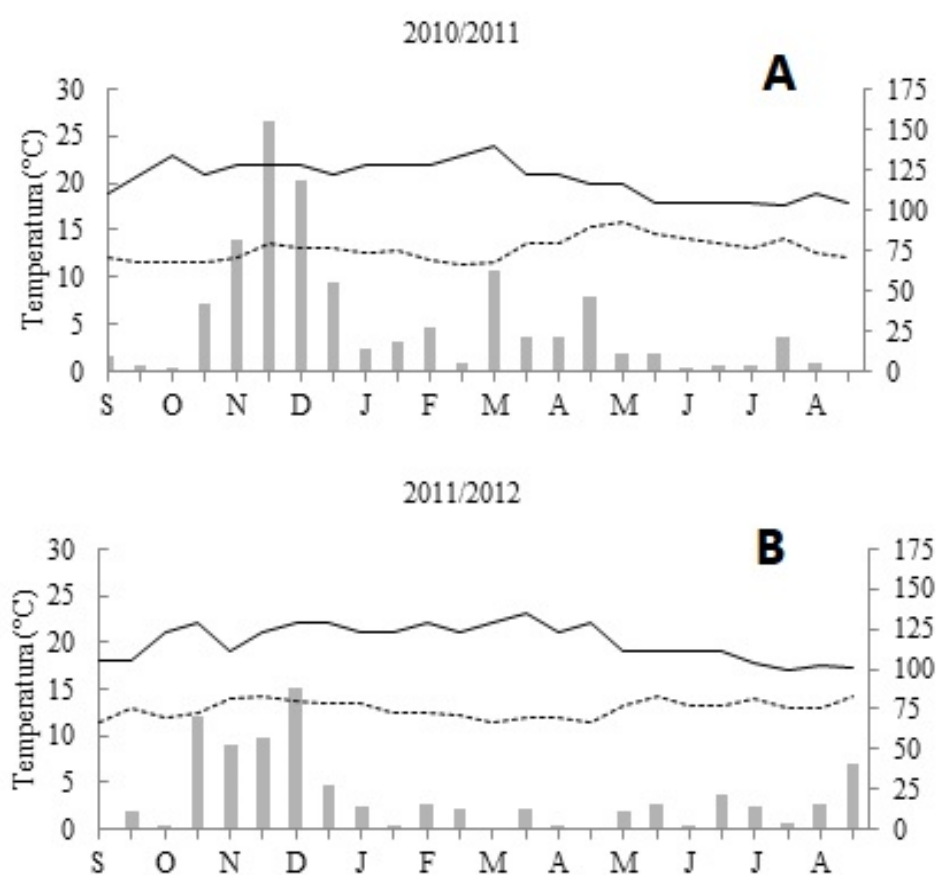
Fonte: Elaborada pelo autor Cássio Maggi Salvia Maciel (2022).

4 Relação da sincronia e amplitude com dados climáticos

Para avaliar os efeitos posteriores dos fenômenos climáticos sobre as fenofases, os eventos fenológicos foram correlacionados aos dados climáticos da quinzena de ocorrência do evento e das cinco quinzenas anteriores, o que totalizou um período de análise de três meses.

A queda foliar em 2011 teve a maior intensidade entre os meses de julho e agosto (Figura 1A; Figuras 2A e 2B). De forma diferente, em 2012, devido à antecipação da precipitação para os meses de novembro, as máximas amplitudes de queda foliar ocorreram nos meses de maio e junho, comprovando o efeito da precipitação na queda das folhas da espécie *P. nitens*.

Figura 2: Precipitações pluviométricas (barras), temperaturas médias (—) e umidades relativas médias quinzenais (---) nos períodos de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) da espécie *Pterogyne nitens* Tul. em Floresta Estacional Semidecidual Montana de Vitória da Conquista, na Bahia.



Fonte: Maciel (2022).

A brotação ocorreu de setembro de 2010 a maio de 2011 (Figura 1A), quando, devido ao baixo índice pluviométrico, aumentou a perda de folhas. Em agosto de 2011, ainda antes do término da estação de estresse hídrico, a brotação teve reinício, intensificando-se posteriormente com as chuvas ocorridas de setembro a dezembro (Figuras 2A e 2B). Em 2012, esse evento teve continuidade em baixa intensidade e com pausas, quando se intensificaram os processos de queda foliar.

A mudança foliar constante dessa espécie pode ser atribuída à infestação foliar por fitoplasma (mosaico amarelo da madeira-nova) em 90% dos indivíduos, o que faz com que a vida útil da folha seja reduzida. Outro fator responsável é a possível característica genética, e, consequentemente, fisiológica, própria da espécie, de renovação da copa.

Frutos maduros foram encontrados durante os meses de setembro e outubro de 2010, em baixa amplitude e baixa sincronia, o que caracterizou o final da frutificação (Figura 1F). Em 2011, estes também foram encontrados juntamente com flores a partir do mês de março, com amplitudes que atingiram um máximo de 35% para flores em antese (Figura 1D) nesse mesmo mês e de 25% para frutos maduros em julho (Figura 1F). O rápido aparecimento dos frutos em março de 2011 demonstrou que os processos de floração e frutificação são curtos, e, mesmo com o intervalo quinzenal de observação, eles não puderam ser registrados antes desse período.

Em 2012, a reprodução se repetiu, e, assim como na queda foliar, com antecipação em relação ao ano de 2011. O processo foi iniciado pela presença de flores em botão a partir do mês de janeiro, em baixa amplitude (máximo de 27,5% em fevereiro), e por frutos maduros a partir da segunda quinzena de março, chegando a uma amplitude máxima de frutos maduros (17,5%) entre maio e junho.

É possível perceber que os frutos dessa espécie têm grande longevidade, ficando disponíveis para as suas diversas finalidades por um período relativamente longo. A disponibilidade de sementes se mostrou, então, como uma característica positiva inerente a essa espécie, quando se tem por finalidade o seu uso na produção de mudas para projetos de recuperação de áreas degradadas.

As sincronias em queda foliar e brotação foram altas, o que não ocorreu com a floração e frutificação, que, ao longo de todo o período de observação, foram eventos classificados de “assincrônicos” ou “pouco sincrônicos”.

Correlacionando os dados fenológicos aos climáticos (Tabela 1), constatou-se que a variável de maior influência foi a temperatura, principalmente para os eventos relacionados à reprodução. Para as fenofases de botão floral, antese floral e frutos verdes, o aumento da temperatura intensifica esses eventos, diferentemente do que ocorre com a maturação dos frutos, que demonstrou correlação negativa com a temperatura.

Tabela 1: Coeficientes de correlação de Spearman entre as fenofases ocorridas na espécie *Pterogyne nitens* Tul. e os fatores climáticos (quinzenais) na quinzena de ocorrência (0) e nas quinzenas anteriores (1, 2, 3, 4 e 5) à ocorrência dos eventos em Vitória da Conquista, na Bahia.

Variável	Amplitude						
	QZ	QF	BR	BF	AF	FV	FM
Temperatura	0	-0,30*	ns	0,43**	0,34**	ns	-0,72**
	1	ns	ns	0,48**	0,42**	ns	-0,67**
	2	ns	ns	0,46**	0,34**	0,32*	-0,57**
	3	ns	-0,32*	0,44**	0,32*	0,48**	-0,50**
	4	0,28*	-0,47**	0,32*	0,30*	0,62**	-0,33**
	5	0,41**	-0,56**	ns	ns	0,63**	ns
Umidade	0	ns	ns	-0,35**	-0,26*	ns	ns
	1	ns	-0,25*	-0,33*	-0,37**	ns	ns
	2	0,28*	ns	ns	-0,28*	ns	ns
	3	ns	ns	ns	ns	ns	0,24*
	4	ns	ns	ns	ns	ns	0,27*
	5	ns	ns	ns	ns	ns	0,24*
Precipitação	0	-0,48**	0,35**	ns	ns	-0,24*	-0,43**
	1	-0,38**	ns	-0,26*	ns	ns	-0,52**
	2	-0,31*	ns	ns	ns	ns	-0,51**
	3	ns	ns	ns	ns	ns	-0,52**
	4	ns	ns	ns	ns	ns	-0,40**
	5	ns	-0,36**	0,37**	0,26*	ns	-0,36**
Variável	Sincronia						
	QZ	QF	BR	BF	AF	FV	FM
Temperatura	0	ns	ns	0,43**	0,34**	ns	-0,66**
	1	ns	ns	0,48**	0,42**	ns	-0,65**
	2	ns	ns	0,45**	0,34**	0,27*	-0,57**
	3	ns	-0,30*	0,44**	0,32*	0,44**	-0,55**
	4	0,39**	-0,44**	0,32*	0,30*	0,60**	-0,42**
	5	0,44**	-0,53**	ns	ns	0,62**	ns
Umidade	0	0,24*	ns	-0,34**	-0,26*	0,25*	ns
	1	0,32*	-0,24*	-0,33*	-0,37**	ns	ns
	2	0,37**	ns	ns	-0,28*	ns	ns
	3	0,28*	ns	ns	ns	ns	0,26*
	4	ns	ns	ns	ns	ns	0,32*
	5	ns	ns	ns	ns	ns	0,31*
Precipitação	0	-0,34**	0,42**	ns	ns	-0,25*	-0,41**
	1	-0,25*	0,26**	-0,26*	ns	ns	-0,51**
	2	ns	ns	ns	ns	ns	-0,45**
	3	ns	ns	ns	ns	ns	-0,45**
	4	ns	ns	ns	ns	ns	-0,32*
	5	ns	-0,34**	0,37**	0,26*	ns	-0,25*

QZ - quinzena, QF - queda foliar, BR - brotação, BF - botão floral, AF - antese floral, FV - frutos verdes, FM - frutos maduros, * = significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F, ** = significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F, ns = não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Fonte: Maciel (2022).

A sazonalidade hídrica foi preponderante na ocorrência de frutos maduros, produzindo efeitos imediatos e posteriores. Os estímulos à umidade foram detectados na sincronia de todos os eventos. No entanto, estes foram maiores sobre a queda foliar, botão floral, antese floral e frutos maduros – nesse último, os efeitos foram posteriores.

A precipitação pluviométrica teve correlações negativas com a queda foliar e efeitos imediatos sobre esse evento. Assim, à medida que aumentaram as precipitações, o índice de queda foliar foi diminuído. A precipitação contribuiu positivamente para o aumento da brotação apenas na quinzena de ocorrência do evento (0). Nas quinzenas anteriores (3, 4, e 5), sua correlação foi negativa. Esses fatos demonstram que a espécie é altamente sensível às variações pluviométricas, que produzem efeitos imediatos sobre ela. Além disso, percebeu-se que o aproveitamento das águas pluviais passadas não foi eficiente, o que pode ser atribuído a diversos fatores, como: a capacidade da espécie em absorver a água armazenada no solo, a abundância das chuvas, o índice de evapotranspiração, ou, até mesmo, a capacidade de armazenamento da água no solo.

As correlações acerca da sincronia obtiveram resultados que corroboram os encontrados para a amplitude. Portanto, pode-se considerar que os eventos como queda foliar e brotação ocorreram de forma sincrônica e que os indivíduos responderam de maneira muito semelhante à sazonalidade climática, com diferenças pouco significativas.

5 Considerações finais

O período para a coleta de frutos maduros se estende de março a dezembro, com maior produção entre julho e outubro.

A constante mudança foliar, a boa disponibilidade de sementes por longos períodos e a boa taxa de crescimento da espécie confirmam o potencial de uso de *Pterogyne nitens* na recuperação de áreas degradadas, que são beneficiadas com o recobrimento do solo por matéria orgânica e a aceleração do processo de recuperação.

A espécie é sensível aos efeitos climáticos, principalmente os relacionados a sua reprodução, tendo maior influência da temperatura.

Referências

ANDREIS, C.; LONGHI, S. J.; BRUN, E. J.; WOJCIECHOWSKI, J. C.; MACHADO, A. A.; VACCARO, S.; CASSAL, C. Z. Estudo fenológico em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual no município de Santa Tereza, RS, Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 55-63, 2005.

BERTAZZONIE, E. C.; DAMASCENO-JÚNIOR, G. A. Aspectos da biologia e fenologia de *Oryza latifolia* Desv. (Poaceae) no Pantanal Sul-Mato-Grossense. *Acta Botânica Brasílica*, Brasília, v. 25, n. 2, p. 476-486, 2011.

CARVALHO, P. E. R. *Espécies arbóreas brasileiras*. Colombo: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. v. 1.

FABRICANTE, J. R.; ANDRADE, L. A.; OLIVEIRA, L. S. B. Fenologia de *Capparis flexuosa* L. (Capparaceae) no Cariri paraibano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 4, n. 2, p. 133-139, 2009.

FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba*, Turrialba, v. 24, n. 4, p. 422-423, 1974.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum, 2008. v. 1.

MANTOVANI, M.; PUCHALSKI, Â.; RUSCHEL, A. R.; REIS, M. S.; NODARI, R. O. Fenologia reprodutiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da floresta atlântica. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 451-458, 2003.

MARCHIORI, J. N. C. *Elementos de dendrologia*. Santa Maria: Editoria da UFSM, 2004.

MATOS, E.; QUEIROZ, L. P. *Árvores para cidades*. Salvador: Solisluna Design, 2009.

SAMPAIO, T. P.; COSTA, M. L. M. N.; MORAES, L. F. D.; LUCHIARI, C. Fenologia de espécies arbóreas em Floresta Atlântica da Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. *Iheringia Série Botânica*, Porto Alegre, v. 63, n. 2, p. 329-339, 2008.

TALORA, D. C.; MORELLATO, P. C. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 13-26, 2000.

Capítulo 2

Produção e desempenho no campo de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tul.)

Adalberto Brito de Novaes

Luís Carlos de Freitas

Hannah Cristina Botelho Lima de Fanola,

Ariane Miranda de Oliveira

Ronaldo Dias Nogueira

1 Introdução

A produção de mudas de espécies florestais no Brasil ainda carece de muitas informações técnico-científicas, tanto no aspecto qualitativo, no sentido de buscar melhorar o seu padrão de qualidade, assim como no aspecto quantitativo, diante da necessidade de atender às crescentes demandas existentes. Nessa linha de raciocínio, ainda é considerado baixo o número de unidades de produção de mudas florestais nativas no Brasil. Os principais e mais importantes viveiros de produção de mudas florestais estão voltados para os gêneros *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp., visando atender os grandes projetos de plantios florestais para fins comerciais e industriais.

Já a demanda por projetos de restauração ambiental – para a recuperação de áreas degradadas, recomposição de margens de rios, arborização urbana e recuperação de nascentes, por exemplo – cresce a cada dia que passa. São vários os projetos elaborados com essa finalidade. Entretanto, um obstáculo aos projetos de restauração é a falta de sementes para a produção de mudas na quantidade exigida. Outro empecilho diz respeito ao **não atendimento** do padrão de qualidade esperado das mudas produzidas, já que, para o êxito dos plantios florestais, independentemente da sua finalidade, a boa formação das mudas, que envolve os seus aspectos morfológicos e fisiológicos, é fundamental.

As florestas brasileiras são detentoras de uma grande diversidade de espécies arbóreas, muitas das quais, apesar de sua qualidade, que apontam para várias finalidades, ainda são carentes de informações técnico-científicas, como a madeira-nova (*Pterogyne nitens*).

A crescente expansão do setor florestal brasileiro, aliada às exigências do mercado consumidor, impõe, conseqüentemente, a busca de novas alternativas tecnológicas de mecanização da maioria das operações que envolvem as atividades de reflorestamento para várias finalidades. A escolha criteriosa da espécie a ser utilizada, além de outros fatores, é importante para o **êxito** de um projeto florestal, seja com finalidades comerciais e industriais, seja com finalidades de restauração ambiental. Não obstante, quando se pretende alcançar melhores resultados no campo, são as características das mudas a serem produzidas que indicam a qualidade das árvores a serem geradas. Uma muda considerada de alto padrão de qualidade deve condizer, de forma eficaz, com

as novas tecnologias adotadas, suportar as adversidades do meio, apresentar altos percentuais de sobrevivência no campo, possibilitar a diminuição da frequência dos tratos culturais e alcançar altos índices de crescimento inicial (Novaes, 1998). Nos últimos anos, foi notória a evolução das técnicas de produção de mudas de espécies florestais nativas e exóticas, o que resultou numa melhoria da qualidade das mudas produzidas.

À luz das evidências expostas até aqui, objetivou-se, neste capítulo, concentrar, de forma compacta, o máximo de informações sobre a produção de mudas de espécies florestais nativas, particularmente da espécie madeira-nova (*Pterogyne nitens*), sob a ótica do enriquecimento de informações técnico-científicas voltadas para a execução de projetos de recuperação de áreas degradadas, recomposição de matas ciliares, enriquecimento de vegetação e recuperação de nascentes, considerando a sua importância para o ambiente semiárido do Planalto de Conquista.

2 Viveiros florestais

Os viveiros florestais correspondem aos locais ou áreas onde se concentram todas as atividades pertinentes à produção de mudas de espécies arbóreas nativas e/ou exóticas até o momento de sua expedição para o campo (Oliveira *et al.*, 2016). A necessidade da produção de mudas de espécies arbóreas nesses ambientes deve-se, entre outros fatores, à sua fragilidade, já que precisam de proteção na fase inicial e de manejos especiais, voltados à obtenção de maior uniformização de crescimento, que lhes permitam resistir às condições adversas do campo (Gomes, 2001). Esses viveiros florestais podem ser temporários, quando são construídos de material mais simples, o suficiente para atender uma pequena demanda em um curto período, ou permanentes, quando são construídos visando à produção de mudas por um tempo indeterminado – dessa forma, usam-se, para a sua construção, materiais mais sofisticados e duradouros (Carneiro, 1995).

3 Localização do viveiro florestal

O local a ser escolhido para a construção de um viveiro florestal é de fundamental importância, tendo em vista os objetivos ensejados e o cumprimento das metas anteriormente estabelecidas. Muitos autores, entre eles Carneiro (1995), recomendaram considerar os seguintes aspectos:

3.1 Facilidades de acesso e distância da área de plantio

A época de expedição das mudas para o campo normalmente coincide com a estação chuvosa. Dessa forma, as estradas que dão acesso ao Viveiro Florestal devem estar em boas condições de trafegabilidade, ou seja, em perfeitas condições de conservação (Carneiro, 1995). Para esse autor, a localização do viveiro florestal a ser construído deve ser estratégica, portanto, de preferência, mais próxima ao local onde serão plantadas as mudas.

3.2 Mão de obra

Considerando que o Viveiro Florestal consiste em uma empresa, torna-se de fundamental importância a contratação de pessoas treinadas para desenvolver as atividades pertinentes à produção das mudas, ou que possam ser treinadas quando da sua contratação. É importante dar preferência àquelas pessoas que moram no entorno ou nos centros urbanos mais próximos. Ainda assim, deve-se contratar um viveirista que possa morar no interior da **área** do estabelecimento, tendo em vista algumas atividades específicas que devem ser desenvolvidas diariamente, como monitoramento de pragas e doenças e operacionalização do sistema de irrigação (Carneiro, 1995).

3.3 Declividade da área

Recomenda-se que, na área de produção das mudas, os canteiros devam ser construídos no sentido perpendicular ao escoamento das águas. Sugere-se uma declividade de aproximadamente 2%. Não se recomenda, para essa finalidade, o uso de áreas planas, tendo em vista o empoçamento de água, proveniente da chuva ou mesmo do sistema de irrigação, o que irá dificultar as atividades pertinentes à produção das mudas (Gomes; Paiva, 2011; Carneiro, 1995).

3.4 Iluminação solar

Independentemente das exigências de sombrite por parte de algumas espécies florestais nativas, a área do viveiro não deve receber sombra durante o dia. Algumas espécies florestais exigem plena luminosidade para o seu desenvolvimento (Carneiro, 1995).

3.5 Suprimento de água

Em um viveiro florestal, o fator água é considerado o mais importante e limitante em todo o processo de produção das mudas. Trata-se do recurso mais importante para o funcionamento em todas as fases de produção (Arco-Verde; Moreira, 2002). A água pode ser obtida de cacimbas, lagos, rios e também ter origem subterrânea. Todavia, recomenda-se, antes do seu uso, uma análise em laboratório, com a finalidade de verificar a sua qualidade. Água com altas concentrações de sais pode comprometer toda a produção de mudas (Carneiro, 1995).

4 Recipientes e substratos

A produção de mudas em recipientes constitui o sistema mais utilizado e mais importante até o momento, principalmente por permitir melhor qualidade e bom desempenho após o plantio no campo (Gomes, 2001). Para cada recipiente, há uma série de fatores que devem ser considerados na produção, entre os quais se destacam seus formatos e dimensões, substratos e seus respectivos volumes e componentes, tipos de adubos, frequência e quantidade de água de irrigação, além de

técnicas e manejo no viveiro (Carneiro, 1995). Atualmente, conforme esse mesmo autor, os sistemas de produção mais usados no Brasil correspondem a produção de mudas em sacos plásticos, tubetes, raiz nua e, mais recentemente, recipientes biodegradáveis (Alfenas *et al.*, 2009).

Considerando a espécie florestal comumente chamada de madeira-nova, ainda são escassos os estudos, particularmente na produção de mudas. Todavia, algumas pesquisas têm revelado importantes resultados na produção em que são utilizados sacos plásticos e tubetes, com diferentes dimensões e volumes de substrato. Em se tratando dos recipientes, recomenda-se, para essa espécie, o uso de sacos plásticos nas dimensões de 22,0 cm de altura e 11,0 cm de diâmetro, com capacidade volumétrica para 2.090 cm³ (Bomfim; Novaes; Grisi, 2009). Ainda para esses autores, como substrato, recomenda-se para enchimento dos recipientes o uso de terra de subsolo e esterco de curral curtido na proporção 3:2.

5 Adubação de mudas no viveiro e campo

Para a adubação de mudas em um viveiro florestal, é de fundamental importância o conhecimento das fontes de fertilizantes e suas respectivas composições químicas, principalmente daqueles mais utilizados em um viveiro florestal, tais como superfosfato simples, cloreto de potássio e sulfato de amônio. Em geral, recomenda-se, para a produção de mudas em sacos plásticos, conforme Schorn e Formento (2003), para cada m³ de substrato o uso de 700 g de superfosfato simples como fonte de fósforo, 150 g de sulfato de amônio, 100 g de cloreto de potássio como fonte de potássio e, conforme for, recomenda-se a aplicação de 500 g de calcário dolomítico para 1,0 m³ de terra de subsolo. Quando do plantio das mudas no campo, deve-se atentar para a análise de solo. A adubação de plantio é necessária para um bom desenvolvimento das mudas, devendo-se disponibilizar quantidades necessárias de nitrogênio, fósforo e potássio, além de outros elementos considerados importantes, como manganês, enxofre, ferro, cobre, zinco, sódio, cloro e boro (Scremin-Dias *et al.*, 2006).

6 Resultados de pesquisas com a espécie madeira-nova

Pesquisa realizada com essa espécie, no período de setembro a fevereiro, no Campo Agropecuário da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, nas coordenadas geográficas de 14°51' de latitude sul e 40°50' de longitude oeste, região de relevo plano a levemente ondulado e precipitação pluviométrica com variação de 700 a 1.100 mm anuais, sendo os meses mais chuvosos de novembro a março, conforme Novaes *et al.* (2008), revelou, conforme Tabela 1, valores significativos de altura da parte aérea e diâmetro de colo de mudas produzidas em sacos plásticos com maiores dimensões, quando comparados aos demais recipientes pesquisados. Esses resultados foram atribuídos ao maior volume de substrato, que, provavelmente, proporcionou maior retenção e melhor aproveitamento de água e, conseqüentemente, maior teor de solução no substrato, possibilitando maior disponibilidade de nutrientes para as raízes (Barroso; Carneiro;

Leles, 2000). Também foram avaliadas as biomassas fresca, seca e total, cujos valores constam na Tabela 2. Da mesma forma, houve melhor resposta das mudas dessa espécie quando produzidas em recipientes do tipo sacos plásticos, de maiores dimensões, com a apresentação dos mais altos valores para essas variáveis (Bomfim; Novaes; Grisi, 2009). Outrossim, conforme esses autores, considera-se importante o desenvolvimento de pesquisas com recipientes do tipo tubetes, com 288 cm³ de capacidade volumétrica, tendo em vista os resultados apresentados no presente trabalho e considerando a operacionalidade e facilidade de manuseio desses recipientes no viveiro.

Tabela 1: Valores médios de altura da parte aérea e diâmetro de colo de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens*) produzidas no período primavera-verão, seis meses após a semeadura.

Recipiente	Altura da parte aérea (cm)	Diâmetro de colo (mm)
Saco plástico (2.080 cm ³)	32,70 a	4,07 a
Sacos plásticos (577 cm ³)	20,60 b	3,20 b
Tubete (288 cm ³)	20,18 b	3,18 b
Tubete (55 cm ³)	10,80 c	1,95 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

Fonte: Novaes (2022)

Outra pesquisa realizada no Campo Agropecuário da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia no período de abril a setembro, portanto nas estações outono-inverno, com temperaturas mais baixas, conforme mostra a Tabela 2, revelou, com base na estatística não paramétrica, valores com a mesma tendência daqueles observados no período primavera-verão (Tabela 1), embora fossem bem inferiores, o que demonstra a influência da época do ano na produção de mudas dessa espécie (Bomfim; Novaes; Grisi, 2009).

Tabela 2: Valores médios de altura da parte aérea e diâmetro de colo de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens*) no período outono-inverno, seis meses após a semeadura.

Recipiente	Altura da parte aérea (cm)	Diâmetro de colo (mm)
Saco plástico (2080 cm ³)	15,64	3,26
Tubete (288 cm ³)	7,41	2,93
Saco plástico (577 cm ³)	6,46	2,28
Tubete (55 cm ³)	5,93	1,86

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

Fonte: Novaes (2022)

A Figura 1 demonstra a superioridade das mudas produzidas nos recipientes tipo sacos plásticos, de maiores dimensões. Nessa pesquisa, as mudas produzidas em tubetes e sacos plásticos, respectivamente de maiores e menores dimensões, equivaleram-se, já as mudas produzidas em tubetes, de menores dimensões, apresentaram valores mais baixos.

Figura 1: Aspectos de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens*)

Fonte: Novaes (2022).

Analisando a Tabela 3, observa-se que os sacos plásticos, de maiores dimensões, apresentaram as maiores médias de altura para as variáveis avaliadas. Quanto à biomassa seca, maiores resultados apontam para uma muda de maior vigor, podendo, quando plantada no campo, apresentar maior resistência às adversidades ambientais. Biomassa seca constitui uma boa indicação da capacidade de resistência das mudas em condições de campo (Gomes; Paiva, 2011). Essa variável se trata de um parâmetro de qualidade considerável, correlacionando-se positivamente com o crescimento em altura das plantas no campo.

Tabela 3: Valores médios de biomassas fresca e seca de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens*), seis meses após a semeadura.

Recipiente	Biomassa fresca (g)			Biomassa seca (g)		
	Parte aérea	Raiz	Total	Parte aérea	Raiz	Total
Saco plástico (2.080 cm ³)	4,63 a	6,55 a	11,17 a	2,27 a	3,79 a	6,06 a
Saco plástico (577 cm ³)	1,68 b	3,25 b	4,94 b	0,87 b	1,90 b	2,77 b
Tubete (288 cm ³)	2,23 b	3,43 b	5,66 b	0,78 b	1,71 b	2,50 b
Tubete (55 cm ³)	0,29 c	0,35 c	0,64 c	0,14 c	0,29 c	0,43 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

Fonte: Novaes (2022).

7 Desempenho das mudas no campo

O desempenho das mudas no campo é parte complementar da avaliação da qualidade das mudas no viveiro, ainda que alguns fatores de natureza edafoclimática, encontrados no campo, possam influenciar no seu estabelecimento. Quando da avaliação da qualidade de mudas florestais,

considera-se de grande importância a mensuração de algumas variáveis de campo plenamente correlacionáveis com os métodos e técnicas utilizadas por ocasião da produção das mudas no viveiro. O plantio no campo, para a espécie estudada, e com base na pesquisa realizada, consistiu, após a limpeza da área e realização de uma gradagem simples, da abertura de covas com as dimensões de 40 cm x 40 cm x 40 cm. O espaçamento utilizado foi de 3,0 m x 3,0 m com adubação localizada, composta de 100 g de superfosfato simples. Quanto aos tratos culturais, foram realizadas duas capinas manuais na linha (coroamento) e na entre linha do experimento, a primeira aos dois e a segunda aos seis meses de idade. Conforme a época de plantio e a incidência de ervas daninhas, essas recomendações podem ser alteradas.

Para a espécie em estudo, foi avaliado o percentual de sobrevivência das mudas no campo e o crescimento inicial por meio da mensuração do diâmetro do coleto e da altura da parte aérea, conforme mostram os resultados constantes na Tabela 4.

Tabela 4: Valores de sobrevivência de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens*) 90 dias após a semeadura e crescimento inicial, 24 meses do plantio.

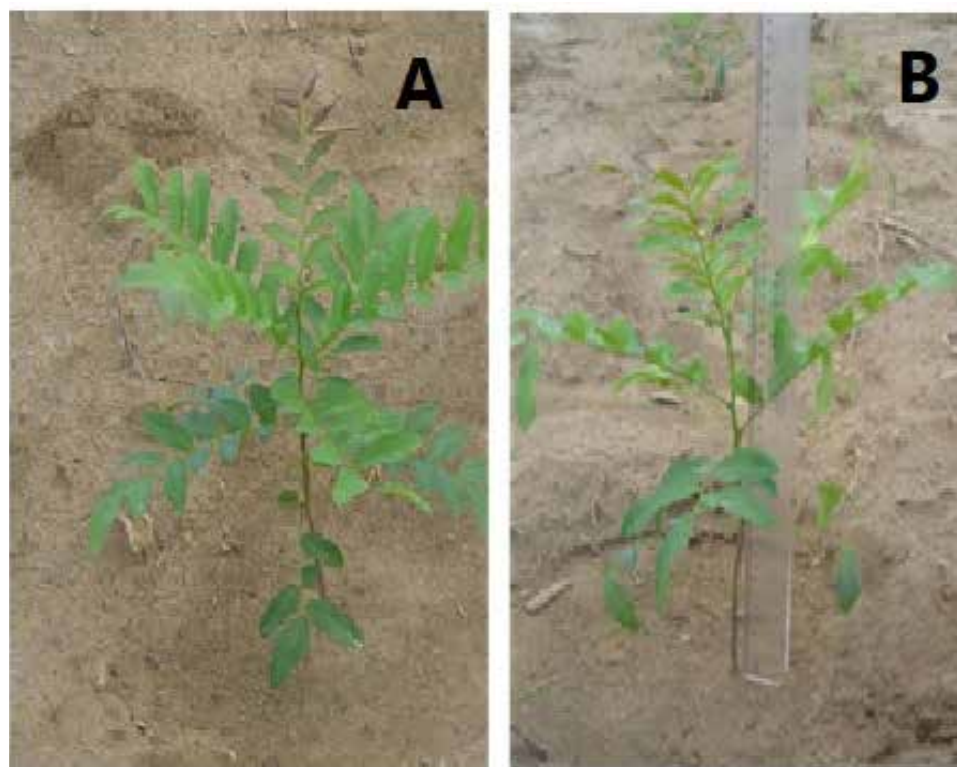
Tratamento	Sobrevivência (%)	Altura	Diâmetro do coleto
Saco plástico (2.080 cm ³)	99,4	2,62 a	5,92 a
Tubete (288 cm ³)	94,7	1,94 b	3,37 b
Saco plástico (165 cm ³)	95,8	1,93 b	3,36 b
Tubete (55 cm ³)	86,0	1,16 c	1,92 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

Fonte: Novaes (2022).

As mudas produzidas em sacos plásticos, com maior volume de substrato, apresentaram, no viveiro, superioridade em todas as fases de avaliação. No campo, quando comparadas aos demais recipientes, observou-se os maiores índices de sobrevivência e crescimento inicial em altura da parte aérea e diâmetro do coleto (Figura 2), o que comprova a relação entre as características das mudas que saem do viveiro com o seu desempenho após o plantio. Atribuem-se a esse maior ritmo de crescimento inicial as maiores dimensões desses recipientes e, conseqüentemente, maior volume de substrato proporcionado ao sistema radicial das mudas, condições essenciais de manutenção de umidade, maior taxa de absorção de nutrientes e favorável crescimento de raízes, que possibilitam uma melhor performance das plantas no campo. Mudas produzidas em tubetes de maior volume de substrato apresentaram resultados satisfatórios, ainda que ligeiramente inferiores aos de sacos plásticos de maiores dimensões, demonstrando um grande potencial e perspectivas de uso, pela facilitação da operacionalidade e manejo das mudas no viveiro. Gomes *et al.* (1990), encontraram resultados satisfatórios avaliando a altura da parte aérea de ipê amarelo, copaíba e angico-vermelho, plantas cujas mudas foram produzidas em sacos plásticos.

Figura 2: Aspectos de plantas de madeira-nova (*Pterogyne nitens*) no campo aos 90 dias após o plantio, produzidas em sacos plásticos e tubetes.



Fonte: Novaes (2022).

8 Considerações finais

Os sacos plásticos com 2.090 cm³ de capacidade volumétrica em todas as fases de avaliação, no viveiro e campo, foram superiores aos demais recipientes utilizados, demonstrando, assim, sua eficiência na produção de mudas dessa espécie e comprovando a relação entre as características das mudas que saem do viveiro com o seu desempenho no campo. Os bons resultados obtidos com tubetes de 288 cm³ no presente trabalho, sugerem o desenvolvimento de pesquisas, considerando a operacionalidade e facilidade de manuseio desses recipientes no viveiro.

Referências

- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. *Clonagem e doenças do eucalipto*. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009.
- ARCO-VERDE, M. F.; MOREIRA, M. A. B. *Viveiros florestais: construção, custos, cuidados e atividades desenvolvidas para a produção de mudas*. Boa Vista: Embrapa, 2002.
- BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; LELES, P. S. S. Qualidade de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *E.urophylla* produzidas em tubetes e em blocos prensados com diferentes substratos. *Floresta e Ambiente. Seropédica*, v. 7, n. 1, p. 238-250, 2000.

BOMFIM, A. A.; NOVAES, B. N.; GRISI, F. A. Avaliação morfológica de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tul.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e seu desempenho no campo. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 39, n. 1, p. 33-40, 2009.

CARNEIRO, J. G. A. *Produção e controle de qualidade de mudas florestais*. Curitiba: UFPR-FUPEF, 1995.

GOMES, J. M. *Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de Eucalyptus grandis produzidas em diferentes tamanhos de tubetes e dosagens de N-P-K*. 2001. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – UFV, Viçosa, 2001.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. *Viveiros florestais (propagação sexuada)*. Viçosa: Editora UFV, 2011.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; BORGES, R. C. G.; FREITAS, S. C. Influência do tamanho da embalagem plástica na produção de mudas de ipê (*Tabebuia serratifolia*), da copaíba (*Copaifera langsdorffii*) e de angico vermelho (*Piptadenia peregrina*). *Revista Árvore*, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 26-34, 1990.

NOVAES, A. B. *Avaliação morfofisiológica da qualidade de mudas de Pinus taeda L. produzidas em raiz nua e em diferentes tipos de recipientes*. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – UFPR, Curitiba, 1998.

NOVAES, A. B.; LONGUINHOS, M. A. A.; RODRIGUES, J.; SANTOS, I. F.; GUSMÃO, J. C. Caracterização e demanda florestal da região sudoeste da Bahia. In: SIMPÓSIO SOBRE REFLORESTAMENTO NA REGIÃO SUDOESTE DA BAHIA, 2., 2008, Colombo, *Memórias* [...]. Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, p. 25-43, 2008.

OLIVEIRA, M. C.; OLIVEIRA, M. C.; OGATA, R. S.; ANDRADE, G. A.; SANTOS, D. S.; SOUZA, R. M.; GUIMARÃES, T. G.; SILVA, M. C. J.; PEREIRA, D. J. S.; RIBEIRO, J. F. *Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado*. Brasília: Editora Rede de Sementes do Cerrado, 2016.

SCHORN, L. A.; FORMENTO, S. *Silvicultura II – produção de mudas florestais*. Blumenau: URB, 2003.

SCREMIN-DIAS, E.; KALIFE, C.; MENEGUCCI, Z. R. H.; SOUZA, P. R. *Produção de mudas de espécies florestais nativas*. Campo Grande: UFMS, 2006.

Capítulo 3

Microrganismos de solos de ocorrência em cultivo de *Pterogyne nitens* Tul. (madeira-nova)

Renata Soares dos Santos
Joilson Silva Ferreira

1 Introdução

Atualmente existe uma grande preocupação em proteger e recuperar as florestas. Entretanto, um dos grandes problemas encontrados no Brasil é a baixa fertilidade natural dos solos em alguns locais, principalmente de P e N, o que limita o crescimento e a produtividade das plantas (Siqueira, Lambais; Sturmer, 2002).

As leguminosas arbóreas merecem destaque nesse cenário, pois favorecem a deposição de serrapilheira com baixa relação C/N (Caldeira *et al.*, 1997; Ribeiro *et al.*, 2017) e, associadas ao uso de microrganismos, reduzem a aplicação de fertilizantes, já que muitas das espécies utilizadas são capazes de formar simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (Nogueira *et al.*, 2019) e com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), que contribuem para a absorção de nutrientes, com realce para o fósforo, devido à sua baixa mobilidade no solo (Nogueira *et al.*, 2012).

Segundo Nogueira *et al.* (2012), as leguminosas arbóreas, por apresentarem um sistema radicular profundo e ramificado, com uma grande produção de matéria orgânica, influenciam positivamente as propriedades do solo e seus processos químicos e biológicos (Bertoni; Lombardi Neto, 2008; Gei; Powers, 2013), fornecendo diferentes serviços ambientais (Duarte *et al.*, 2013).

Na região de Vitória da Conquista, na Bahia, os poucos fragmentos de mata encontrados são classificados como Floresta Estacional Decidual, por apresentarem duas estações climáticas bem demarcadas: uma chuvosa, com precipitação média mensal abaixo de 120 mm (Santos; Barreto; Scoriza, 2014), e uma de longo período de seca, no qual mais de 50% dos indivíduos perdem as folhas (Carvalho, 2003). A região também apresenta baixa fertilidade do solo. Assim, de acordo com Bomfim *et al.* (2009), a utilização de uma espécie florestal adaptada às condições ambientais da região é de fundamental importância para programas de reflorestamento.

Diante disso, o uso de microrganismos é uma ótima estratégia para alcançar a sustentabilidade de qualquer ecossistema e maximizar os processos biológicos benéficos do solo. A seguir, neste capítulo, será apresentado o uso de rizóbio na produção de mudas de *Pterogyne nitens* Tul., além da importância dos FMAs nessa espécie florestal e nas demais encontradas na região de Vitória da Conquista.

2 Bactérias fixadoras de nitrogênio associadas ao cultivo de madeira-nova

As leguminosas arbóreas fixam nitrogênio pela simbiose com bactérias conhecidas por “rizóbio”, que são representadas por 13 gêneros, entre os quais se destacam *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Ensifer* e *Mesorhizobium*, somando 98 espécies conhecidas (Weir, 2014). São importantes do ponto de vista econômico e ecológico, pois podem dispensar total ou parcialmente os fertilizantes nitrogenados, contribuindo para viabilizar reflorestamentos e minimizar possíveis impactos ambientais decorrentes da utilização desses insumos (Barberi *et al.*, 1998; Moreira; Siqueira, 2006).

Faria *et al.* (1989), comparando a ocorrência da nodulação nas três subfamílias de Fabaceae nas principais fitofisionomias do Sudeste do Brasil, verificaram que somente 23% das espécies de Caesalpinioideae examinadas nodulavam, e esse número era muito menor quando comparado aos 90% de nodulação verificados em Mimosoideae e 97% em Papilionoideae.

A espécie *Pterogyne nitens* (subfamília Caesalpinioideae) que foi avaliada por Santos; Ferreira; Scoriza (2014) para isolar bactérias fixadoras de nitrogênio em Vitória da Conquista não apresentou nódulos, como já havia sido observado por Faria *et al.* (1989). Segundo Moreira (1994) e Sprent (2001), a ausência de nodulação em Caesalpinioideae pode estar relacionada ao fato de essa subfamília conter gêneros de espécies arbóreas mais arcaicos na escala de evolução, que são incapazes de nodular. Belini *et al.* (2014) avaliaram a eficiência de estirpes de *Bradyrhizobium* (*Bradyrhizobium elkanii* e *Bradyrhizobium japonicum*) no crescimento de *Pterogyne nitens* em casa de vegetação e constataram que não ocorreu a nodulação em nenhum dos tratamentos aplicados. Moreira e Siqueira (2006) verificaram que a maioria das espécies não nodulíferas eram Caesalpinioideae, e, nesse grupo, 76% das espécies já examinadas eram incapazes de estabelecer simbiose com rizóbio.

Segundo Fonseca *et al.* (2010), a associação com bactérias fixadoras de nitrogênio é uma estratégia incomum em Caesalpinioideae, mas novas informações de espécies arbóreas nodulíferas em leguminosas sugere que essa família apresenta ainda potencial de investigação (Faria *et al.*, 2010), como constatado por Lemos (2009), que, promovendo a prospecção de rizobactérias promotoras de crescimento dessa espécie, obteve sete isolados de bactérias rizosféricas e duas endofíticas (*Sphingomonas* sp., *Rhizobium tropici*, *Dyella* sp. e *Sphingobium chlorophenolicum*). Santos; Ferreira; Scoriza (2014) também isolaram estirpe de rizóbio em raízes de mudas de *Pterogyne nitens* – e, considerando as suas características morfológicas, o isolado apresentou semelhanças à estirpe BR 3630 da Embrapa Agrobiologia, que pertence ao gênero *Mesorhizobium* (Figura 1).

Figura 1: Bactéria isolada da raiz de *Pterogyne nitens* (1,2). 1. Acidificação do meio e coloração (meio 79, com indicador azul bromotimol). 2. Quantidade de muco em meio 79, com indicador vermelho congo. 3. Isolado da Estirpe *Mesorhizobium elkanii* (BR 3630) em meio 79, com indicador azul bromotimol, apresentando acidificação do meio e muita quantidade de muco.



Fonte: Santos, Scoriza e Ferreira (2014).

3 Fungos micorrízicos arbusculares (FMAS)

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são organismos biotróficos obrigatórios da grande maioria das espécies vegetais conhecidas. Hospedeiros de raízes metabolicamente ativas de plantas vasculares terrestres, epífitas e rizóides estabelecem uma relação simbiótica mutualista denominada micorriza arbuscular (Trappe; Schenck, 1982; Linderman, 1994; Moreira; Siqueira, 2006).

Após estabelecerem a simbiose com a planta, as hifas externas dos FMAs promovem um incremento significativo do volume de solo explorado e da área de absorção de nutrientes das plantas colonizadas (Zangaro *et al.*, 2005), maximizando o aproveitamento de água e nutrientes, como o fósforo (P), o nitrogênio (N) e o potássio (K), e micronutrientes (Jesus; Schiavo; Faria, 2005; Smith; Read, 2008; Stürmer *et al.*, 2009; Balota; Machineski; Stenzel, 2011).

As micorrizas presentes em leguminosas arbóreas podem favorecer a absorção do P, Mo, Zn com a expansão do volume de solo explorado (Caldeira *et al.*, 1999). Também auxiliam no estabelecimento de mudas e sua sobrevivência no campo, principalmente em áreas degradadas, com solos de baixa fertilidade (Nogueira; Cardoso, 2000; Zangaro; Bononi; Trufen, 2000; Balota; Machineski; Stenzel, 2011). Payá *et al.* (2011) avaliaram o crescimento inicial de *Pterogyne nitens* com a inoculação de FMAs nativos e *Gigaspora margarita*, que proporcionaram aumentos significativos na altura e no diâmetro das plantas comparadas com o tratamento sem inoculação, e também observaram uma maior colonização micorrízica na espécie *G. margarita*. Para espécies de grande uso comercial, como o eucalipto, verificaram que a inoculação com FMAs favoreceu o crescimento e absorção dos nutrientes como N, P e K (Lima; Sousa, 2014).

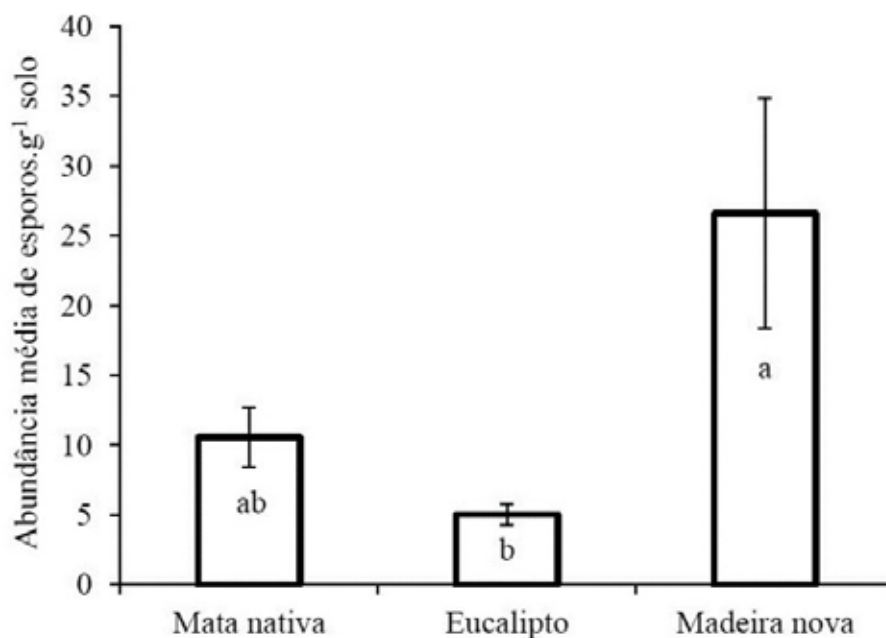
O estudo sobre a diversidade e a especificidade de fungos micorrízicos em florestas plantadas mostra-se de extrema importância para o conhecimento e o aproveitamento do potencial das associações micorrízicas, tanto em viveiros como em plantações comerciais de cada região (Allen *et al.*, 2003). Apesar do seu potencial e benefícios, o uso em larga escala dos FMAs ainda

é restrito, principalmente pela baixa disponibilidade de inoculante em altas quantidades e a baixo custo, além da pouca praticidade de inoculação em campo e da baixa produção comercial da cultura monospórica (Souza *et al.*, 2006; Miranda, 2008; Ijdo; Cranenbrouch; Declerck, 2011). Sabe-se que o desenvolvimento da colonização micorrízica e da esporulação na rizosfera das plantas está relacionado a alguns fatores ambientais como fertilidade, textura do solo e pH do solo (Mello; Silva; Saggin Júnior, 2012; Jansa *et al.*, 2014).

O uso de inoculante de FMA produzido por meio do solo florestal é o método mais confiável e recomendado, pela sua alta diversidade de espécies e por seu potencial de acelerar a restauração ecológica do ambiente do solo e promover a germinação e crescimento das plantas (Klironomos, 2003; Huante *et al.*, 2012; Paluch; Thomsen; Volk, 2013). Segundo Bagyaraj e Stürmer (2010), uma forma de favorecer a esporulação para a produção de inoculantes de solos nativos é o uso do vaso armadilha, que tem a função de fornecer esporos jovens e saudáveis.

Santos, Scoriza e Ferreira (2013) observaram uma maior abundância média de esporos em plantios de madeira-nova (*Pterogyne nitens*) quando comparados com plantios de Eucalipto e um fragmento de Mata Nativa, todos localizados em Vitória da Conquista, na Bahia (Figura 2), já que diversos fatores de natureza biótica e abiótica regulam a ocorrência desses fungos, interferindo na sobrevivência e na germinação dos propágulos infectivos e alterando o processo e os efeitos da colonização radicular nas plantas (Cardoso *et al.*, 2010).

Figura 2: Abundância média de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nas diferentes coberturas florestais em Vitória da Conquista, na Bahia. Letras iguais não diferem segundo o Teste Tukey, a 5%.



Fonte: Santos, Scoriza e Ferreira (2013).

Entre esses fatores, estão a quantidade e a composição de fungos micorrízicos, a presença de outros microrganismos do solo, a fisiologia do hospedeiro e as condições climáticas (Zangaro

Bononi; Trufen, 2000). Além disso, diferentes espécies de plantas exibem diferentes susceptibilidades à colonização, apresentando variações inter e intraespecíficas e influenciando a diversidade e a abundância de FMAs (Moreira; Siqueira, 2006; Miller; Kling, 2000).

Para Miranda (2008), a diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares presentes num solo deve ser avaliada por meio de esporos frescos, isolados de vasos armadilha. O uso de vaso armadilha possibilita os estudos da real diversidade de FMAs nas áreas avaliadas, pois revela espécies que não estavam esporulando no campo na época da amostragem (Bagyaraj; Stürmer, 2010).

Em vasos armadilhas montados com solos de plantios de madeira-nova, foi observado um aumento no número de espécies, tendo sido encontradas 11 espécies (*Acaulospora laevis* Gerdemann & Trappe; *Acaulospora scrobiculata* Trappe; *Acaulospora tuberculata* Janos & Trappe; *Acaulospora* sp.; *Archaeospora leptoticha* (Schenck & Smith) Morton & Redecker; *Gigaspora* sp.; *Glomus lamellosum* Dalpe, Koske & Tews; *Glomus macrocarpum* Tulasne & Tulasne; *Glomus microcarpum* Tulasne & Tulasne; *Glomus tenebrosum* (Thaxter) Berch; *Scutelospora heterogama* (Nicol. & Gerdemann) Walker & Sanders), ao longo de cinco meses (Santos; Ferreira; Scoriza, 2017).

Winagrask *et al.* (2019) realizaram uma pesquisa sobre os FMAs, listando mais de 100 espécies, em diferentes ecossistemas florestais. Em *Pterogyne nitens*, foi descrita a presença de nove espécies de Fungos Micorrízicos: *A. laevis*, *A. scrobiculata*, *A. tuberculata*, *C. lamellosum*, *D. heterogama*, *G. macrocarpum*, *G. microcarpum* e *G. tenebrosum*. Urcelay *et al.* (2019) descreveram que a *Pterogyne nitens* é uma das 46 espécies nativas estudadas que são dominadas por Micorrizas Arbusculares (MA).

4 Considerações finais

Existem muitos trabalhos realizados com bactérias fixadoras de nitrogênio, mas com poucos estudos sobre a *Pterogyne nitens*, sendo encontrados somente dois trabalhos que obtiveram o isolamento de estirpes de rizóbio. A dificuldade de estudar essa espécie pode ser pela ausência da formação de nódulos nas suas raízes.

Os FMAs apresentaram diferenças marcantes de composição e diversidade na espécie *Pterogyne nitens*, mas ainda são encontrados poucos trabalhos sobre a cobertura florestal.

Referências

- ALLEN, M. F.; SWENSON, W.; QUEREJETA, J. I.; EGERTONWARBURTON, L. M.; TRESEDER, K. K. Ecology of mycorrhizae: A conceptual framework for complex interactions among plants and fungi. *Annual Review of Phytopathology*, Danvers, v. 41, p. 271-303, 2003.
- ANGELINI, G. A. R.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares e ectomicorrízicos para simbioses eficientes com *Acacia mangium* willd. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, p. 3529-3542, 2013.

BAGYARAJ, J. D.; STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). In: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. (org.). *Manual de biologia dos solos tropicais: Amostragem e caracterização da biodiversidade*. Lavras: Editora UFLA, p. 205-226, 2010.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; STENZEL, N. M. C. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fosforo. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 1, p. 160-175, 2011.

BARBERI, A.; CARNEIRO, M. A. C.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Nodulação em leguminosas florestais em viveiros no sul de Minas Gerais. *Cerne*, Lavras, v. 4, n. 1, p. 145-153, 1998.

BELINI, C. M.; RIBEIRO, L.; CAMELO, A. D.; GALDIANO JUNIOR, R. F.; MOREIRA, W. M. Q. Crescimento de leguminosas arbóreas inoculadas com rizóbios em casa de vegetação. *Revista Fafibe On-Line*, Bebedouro, v. 7, n. 1, p. 35-47, 2014.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 7. ed. São Paulo: Editora Ícone, 2008.

BOMFIM, A. A.; NOVAES, A. B.; JOSÉ, A. R. S.; GRISI, F. A. Avaliação morfológica de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tul.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e de seu desempenho no campo. *Floresta*, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 33-40, 2009.

CALDEIRA, M. V. W.; SILVA, E. M. R.; FRANCO, A. A.; ZANON, M. L. B. Crescimento de leguminosas arbóreas em respostas a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 1-10, 1997.

CALDEIRA, M. V. W.; SILVA, E. M. R.; FRANCO, A. A.; ZANON, M. L. B. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de duas leguminosas arbóreas. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 63-70, 1999.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARETTA, C. R. D. M.; PAULA, M. A. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (org.). *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras: Editora UFLA; 2010. p. 153-214.

CARVALHO, P. E. R. *Espécies arbóreas brasileiras*. Colombo: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. v. 1.

DUARTE, E. M. G.; CARDOSO, I. M.; STIJNEN, T.; MENDONÇA, M. A. F. C.; COELHO, M. S.; CANTARUTTI, R. B.; KUYPER, T. W.; VILLANI, E. M. A.; MENDONÇA, E. S. Decomposition and nutrient release in leaves of Atlantic Rainforest tree species used in agroforestry systems. *Agroforest Systems*, Berlim, v. 28, p. 835-847, 2013.

FARIA, S. M.; DIEDHILOU, A. G.; LIMA, H. C.; RIBEIRO, R. D.; GALIANA, A.; CASTILHO, A. F.; HENRIQUES, J. C. Evaluating the nodulation status of leguminous species from the Amazonian forest of Brazil. *Journal of Experimental Botany*, Lancaster, v. 61, n. 11, p. 3119-3127, 2010.

FARIA, S. M.; LEWIS, G. P.; SPRENT, J. I.; SUTHERLAND, J. M. Occurrence of nodulation in the Leguminosae. *New Phytologist*, Lancaster, v. 111, p. 607-619, 1989.

FONSECA, M. B.; FRANÇA, M. G. C.; ZONTA, E.; GIORNI, V. Crescimento inicial de *Dimorphandra wilsonii* (Fabaceae – Caesalpinioideae) em diferentes condições de fertilidade em solo de cerrado. *Acta Botânica Brasilica*, Brasília, v. 24, n. 2, p. 322-327, 2010.

GEI, M. G.; POWERS, J. S. Do legumes and non-legumes tree species affect soil properties in unmanaged forest and plantations in Costa Rican dry forests? *Soil Biology & Biochemistry*, Madison, v. 57, p. 264-272, 2013.

HUANTE, P.; CECCON, E.; OROZCO-SEGOVIA, A.; SÁNCHEZ-CORONADO, M. E.; ACOSTA, I.; RINCÓN, E. The role of arbuscular mycorrhizal fungi on the early-stage restoration of seasonally dry tropical forest in Chamela, Mexico. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36, p. 279-289, 2012.

IJDO, M.; CRANENBROUCH, S.; DECLERCK, S. Methods for large-scale production of AM fungi: past, present, and future. *Mycorrhiza*, Berlim, v. 21, n. 1, p.1-16, 2011.

JANSA, J.; ERB, A.; OBERHOLZER, H.; SMILAUER, P.; EGLI, S. Soil and geography are more important determinants of indigenous arbuscular mycorrhizal communities than management practices in Swiss agricultural soils. *Molecular Ecology*, v. 23, p. 2118-2135, 2014.

JESUS, E. C.; SCHIAVO, J. A.; FARIA, S. M. Dependência de micorrizas para a nodulação de leguminosas arbóreas tropicais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 545-552, 2005.

KLIRONOMOS, J. N. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology*, Washington, v. 84, p. 2292-2301, 2003.

LEMOES, M. T. O. *Prospecção de rizobactérias promotoras de crescimento em quatro espécies arbóreas nativas do Brasil*. 2009. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Universidade Estadual Paulista, Jaboatão, SP, 2009.

LIMA, F. S.; SOUSA, C. S. Crescimento e nutrição de mudas de clones de eucalipto inoculadas com fungos micorrízicos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 44, n. 2, p. 110-118, 2014.

LINDERMAN, R. G. Role of VAM fungi in biocontrol. In: PFLEGER, F. L.; LINDERMAN, R. G. (org.). *Mycorrhizae and Plant Health*. St Paul: APS, 1994. p. 1-26.

MELLO, A. H.; SILVA, E. M. R.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares eficientes para promoção do crescimento da leguminosa *Mimosa artemisiana* Heringer & Paula. *Agroecossistemas*, Belém, v. 4, n. 2, p. 40-51, 2012.

MILLER, R. M.; KLING, M. The importance of integration and scale in the arbuslar mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, Berlim, v. 226, p. 295-309, 2000.

MIRANDA, J. C. C. *Cerrado: micorriza arbuscular – ocorrência e manejo*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

MOREIRA, F. M. S. Fixação biológica do nitrogênio em espécies arbóreas. In: ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. (org.). *Microrganismos de importância agrícola*. Brasília: EMBRAPA, 1994. p. 121-150.
MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.

- NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Produção de micélio externo de fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 329-338, 2000.
- NOGUEIRA, N. O.; OLIVEIRA, O. D.; MARTINS, C. D. S.; BERNARDES, C. D. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. *Enciclopédia Biosfera*, Jandaia, v. 8, n. 14, p. 2012-2031, 2012.
- NOGUEIRA, C. B.; MENÉNDEZ, E.; RAMÍREZ-BAHENA, M. H.; VELÁZQUEZ, E.; PEIX, A.; MATEOS, P. F.; SCOTTI, M. R. The N-fixing legume *Periandra mediterranea* constrains the invasion of an exotic grass (*Melinis minutiflora* P. Beauv) by altering soil N cycling. *Sci. Rep.*, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2019.
- PALUCH, E. S.; THOMSEN, M. A.; VOLK, T. Effects of resident soil fungi and land use history outweigh those of commercial mycorrhizal inocula: testing a restoration strategy in unsterilized soil. *Restoration Ecology*, v. 21, p. 380-389, 2013.
- PAYÁ, T. I. A.; SCHIAVO, J. A.; ZANELLA, D. F. P.; ABREU, P. M.; SIQUEIRA, M. N. Crescimento Inicial de amendoim do campo inoculado com fungos micorrízicos arbusculares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. *Anais [...]*. Uberlândia: 2011.
- RIBEIRO, P. C.; MENENDEZ, E.; SILVA, D. S.; BONIECK, D.; RAMÍREZ-BAHENA, M. H.; RESENDE-STOIANOFF, M. A.; PEIX, A.; VELÁZQUEZ, E.; MATEOS, P. F.; SCOTTI, M. R. Invasion of the Brazilian campo rupestre by the exotic grass *Melinis minutiflora* is driven by the high soil N availability and changes in the N cycle. *Sci. Total Environ.*, v. 577, n. 15, p. 202-211, 2017.
- SANTOS, R. S.; BARRETO, P. A. B.; SCORIZA, R. N. Efeito da sazonalidade na comunidade de fungos micorrízicos arbusculares em um fragmento de mata de cipó em Vitória da Conquista, Bahia. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 46, 2014.
- SANTOS, R. S.; FERREIRA, J. S.; SCORIZA, R. N. Inoculum production of arbuscular mycorrhizal fungi native to soils under different forest covers. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 64, n. 2, p. 109-111, 2017.
- SANTOS, R. S.; FERREIRA, J. S.; SCORIZA, R. N. Isolamento e caracterização de estirpes de rizóbio na espécie *Pterogyne nitens* Tul. *Revista de Ciências Ambientais*, Canoas, v. 8, n. 1, p. 71-76, 2014.
- SANTOS, R. S.; SCORIZA, R. N.; FERREIRA, J. S. Fungos Micorrízicos Arbusculares em Diferentes Coberturas Florestais em Vitória da Conquista, Bahia. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 344-350, 2013.
- SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STURMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares: características, associação simbiótica e aplicação na agricultura. *Biotechnologia, Ciência e Desenvolvimento*, Brasília, v. 25, p. 12-21, 2002.
- SMITH, S. E.; READ, D. J. *Mycorrhizal symbiosis*. Londres: Academic Press, 2008.

SOARES, A. C. F.; SOUSA, C. S.; GARRIDO, M. D. S.; LIMA, F. D. S. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas de jenipapeiro. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 47-54, 2012.

SOARES, C. R. F. S.; CARNEIRO, M. A. C. Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (org.) *Micorrizas: 30 anos de Pesquisa no Brasil*. Lavras, Editora UFLA, 2010. p. 441-474.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G.; BARRETO, A. F. Estudo sobre fungos micorrízicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, p. 612-618, 2006.

SPRENT, J. I. *Nodulation in legumes*. Kew, UK: Royal Botanic Gardens, 2001.

STÜRMER, S. L.; CARDOSO, E. J. B. N.; SOUZA, F. A.; KASUYA, M. C. M. “Além das raízes: o papel dos fungos micorrízicos”. Viçosa: Boletim Informativo SBCS, p. 30-32, 2009.

TRAPPE, J. M.; SCHENCK, N. C. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonales). In: SCHENCK, N. C. (org.). *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1982. p. 1-9.

URCELAY, C.; TECCO, P. A.; BORDA, V.; LONGO, S. Latitudinal distribution of mycorrhizal types in native and alien trees in Montane Ecosystems from Southern South America. In: PAGANO, M.; LUGO, M. (org.). *Mycorrhizal Fungi in South America*. Berlim: Springer, Cham, 2019. p. 29-48.

WEIR, B. S. *The current taxonomy of rhizobia*. Disponível em: <http://www.rhizobia.co.nz/taxonomy/rhizobia>. Acesso em: 16 abr. 2014.

WINAGRASKI, E.; KASCHUK, G.; MONTEIRO, P. H. R.; AUER, G.; HIGA, A. R. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in forest ecosystems of Brazil: a review. *Cerne*, Lavras, v. 25, n. 1, p. 25-35, 2019.

ZANGARO, W.; BONONI, V. L. R.; TRUFEN, S. B. Mycorrhizal dependency, inoculum potential and habitat preference of native woody species in South Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, Winchelsea, v. 16, p. 603-622, 2000.

ZANGARO, W.; NISHIDATE, F.R.; CAMARGO, F.R.S.; ROMAGNOLI, G.G.; VANDRESEN, J. Relationship among AM fungi symbiosis, root morphology and seedling growth of tropical native woody species in south Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, Berlim, v. 21, p. 529-540, 2005.

Capítulo 4

Análise econômica na produção de madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tul.): uma avaliação preliminar

*Luís Carlos de Freitas
Adalberto Brito de Novaes
Júlio Conceição dos Santos Neto
Liniker Fernandes da Silva*

1 Introdução

A crescente demanda por produtos madeireiros e a quantidade cada vez mais escassa desse recurso faz da economia uma ciência estratégica e essencial para o setor florestal brasileiro. Tal importância pode ser entendida por meio do próprio conceito da economia, definido como a ciência que trata da alocação de recursos escassos, como, por exemplo, a madeira, de forma a suprir as necessidades individuais e coletivas da população. Apesar de se caracterizar como um recurso renovável, a madeira encontra-se cada vez mais limitada, em virtude do avanço do desmatamento e da perda da capacidade produtiva dos solos, impactos que comprometem a sua disponibilidade para a população, com reflexos na escassez e no aumento de preços.

Na busca de espécies promissoras para atender as necessidades humanas, merece atenção a espécie *Pterogyne nitens* (madeira-nova), com potencial para vários segmentos produtivos: movelaria, carpintaria, marcenaria, construção civil, carvoaria, entre outros. Com a crescente demanda por produtos madeireiros, busca-se normalmente o aumento do suprimento de madeira e, nessa perspectiva, a produção de espécies nativas com potencial econômico e de multiuso deve ser avaliada.

Apesar da espécie *P. nitens* apresentar alguns aspectos promissores para o produtor florestal, o processo de decisão para investimento em projetos de reflorestamento deverá se basear primeiramente em uma análise de viabilidade econômica. O resultado dessa análise dependerá de uma gama de variáveis, de natureza endógena e exógena, podendo ser consideradas endógenas as atividades intrínsecas ou diretamente relacionadas ao projeto florestal e exógenas as taxas de juros ofertadas pelos bancos, condições climáticas, principalmente a pluviosidade, preço de mercado da madeira, entre outras (Chichorro; Bauer; Pereira, 2014).

A etapa inicial para se estabelecer uma análise econômica consiste na determinação da receita líquida, a qual deverá ser projetada com base nos custos e receitas ao longo do horizonte de planejamento. Os critérios habitualmente utilizados são o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Periódico Equivalente (VPE), a Razão Benefício/Custo (RB/C) e o Custo Médio de Produção (CMP). Tais critérios permitem não apenas inferir sobre a viabilidade do projeto, mas também na escolha das melhores alternativas a serem implementadas.

Ainda que a análise econômica seja um dos principais parâmetros na tomada de decisão para efetivação de um projeto florestal, deve-se analisar a viabilidade técnica, operacional, financeira, social e ambiental, de forma a garantir maior probabilidade de sucesso e retorno dos investimentos efetuados.

Neste capítulo, foi contextualizada uma projeção econômica para produção de madeira-nova (*Pterogyne nitens*). A análise foi embasada em cinco critérios (VPL, RB/C, VPE, TIR, CMP) e no Valor Esperado da Terra (VET). Visando a obter um cenário mais abrangente em relação aos critérios analisados, elaborou-se uma análise de risco considerando as oscilações na taxa de juros e no preço de mercado da madeira. Os dados deste trabalho foram obtidos por meio de experimentos para fins de pesquisa em uma instituição de ensino no estado da Bahia bem como informações de literatura, principalmente pela carência de pesquisas sobre a espécie em questão.

2 Custos de produção

O custo de produção da madeira em pé está relacionado com as seguintes etapas do processo de silvicultura: produção de mudas, implantação e condução do povoamento.

A Tabela 1 ilustra as principais atividades de silvicultura e as estimativas de custos referentes à produção de madeira-nova, com informações baseadas em literaturas bem como experiências práticas vivenciadas no campus experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).

Tabela 1: Estimativas de custos, por hectare, relacionadas aos processos de implantação e condução de um reflorestamento com madeira-nova

Anos de ocorrência	Atividades de Silvicultura	Custos (R\$) Atividades + insumos
Implantação		
0	Mudas (1.145 unidades)*	5.152,50
0	Capina química (limpeza primária)	350,00
0	Sulcamento	87,50
0	Plantio/adubação	254,00
0	Replantio	10,00
0	Coroamento	120,00
0	Combate às formigas	125,00
0	Irrigação das mudas (2x)	390,00
0	Roçada química (pulverização costal)	255,00
Condução		
1...20	Custo de arrendamento da terra	210,00
1...20	Combate às formigas	36,50
1	Roçada mecanizada	80,00
1...20	Limpeza de aceiros	15,40

* Preço unitário da muda: R\$ 4,50; quantidade de mudas/ha (espaçamento 3m x 3m): 1.111 mudas + 3% para replantio.

Fonte: Freitas (2019).

3 Receita

A receita de um empreendimento florestal normalmente está atrelada à venda de madeira ou de seus subprodutos. Para o empreendedor, é de suma importância a perspectiva de um cenário

mais promissor, com a transformação do produto de base florestal em subprodutos, o que permite agregar valor à matéria-prima (madeira), com consequente maximização de receitas.

No caso da espécie *P. nitens* (madeira nova), as possibilidades são amplas, em virtude da diversidade de uso, o que torna essa espécie mais estratégica em relação ao mercado e à geração de renda. Apesar das possibilidades de maximização de receitas, com agregação de valor monetário ao produto de base florestal, considerou-se neste capítulo uma análise de viabilidade econômica projetada para comercialização da madeira em pé.

A receita de um projeto florestal pode ser determinada basicamente pelo produto de três variáveis, a saber: a idade de corte, o incremento médio anual (IMA) e o preço de venda da madeira (Freitas *et al.*, 2018). Para determinação dos indicadores econômicos, foram considerados os seguintes valores: preço de venda do metro cúbico de madeira em pé (R\$ 400,00), Incremento Médio Anual (6,00 m³/ha/ano) e ciclo de corte ou horizonte de planejamento do projeto (20 anos).

Após projeções dos custos e receitas, procedeu-se à análise de viabilidade, considerando cinco critérios econômicos, tal como o Valor Esperado da Terra (VET).

4 Análise de viabilidade econômica

A análise de viabilidade econômica foi embasada nos seguintes critérios: Valor Presente Líquido, Razão Benefício/Custo; Custo Médio de Produção, Taxa Interna de Retorno e Valor Periódico Equivalente. Para uma análise mais abrangente, considerou-se ainda o Valor Esperado da Terra. As fórmulas abaixo foram descritas de acordo com Silva, Jacovine e Valverde (2005); Rezende e Oliveira (2013).

4.1 Valor Presente Líquido (VPL)

É a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos, conforme ilustrado na Equação 1:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j} \quad (\text{Equação 1})$$

em que:

R_j = valor atual das receitas; C_j = valor atual dos custos; i = taxa de juros; j = período em que a receita ou o custo ocorrem e; n = número máximo de períodos.

4.2 Razão Benefício/Custo (RB/C)

Pode ser definida como a razão entre o valor atual das receitas e o valor atual dos custos, de acordo com a Equação 2:

$$B/C = \frac{\sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}} \quad (\text{Equação 2})$$

em que:

R_j = valor atual das receitas; C_j = valor atual dos custos; i = taxa de juros; j = período em que a receita ou o custo ocorrem e; n = número máximo de períodos.

4.3 Benefício (Custo) Periódico Equivalente (B(C)PE)

Este critério transforma o valor atual do projeto (VPL) em um fluxo de receitas ou custos periódicos e contínuos, equivalente ao valor atual, durante e vida útil do projeto.

$$B(C)PE = VPL * \frac{[(1+i)^t - 1]}{[1 - (1+i)^{-nt}]} \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

VPL = Valor Presente Líquido; t : número de períodos de capitalização dentro do período de ocorrência da parcela nt = número total de períodos de capitalização.

4.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Consiste na taxa de desconto que iguala o valor presente das receitas ao valor presente dos custos. O valor desta taxa reflete, portanto, um VPL nulo ou igual a zero, conforme ilustrado na Equação 4:

$$\sum_{j=0}^n R_j (1+TIR)^{-j} = \sum_{j=0}^n C_j (1+TIR)^{-j} \quad (\text{Equação 4})$$

4.5 Custo Médio de Produção (CMP)

O Custo Médio de Produção pode ser determinado pela razão entre o valor atual dos custos e o valor atual da produção. No caso em estudo, representa o preço mínimo de venda da madeira em pé de forma que o projeto de reflorestamento em questão não seja inviabilizado (Equação 5):

$$CMP = \frac{\sum_{j=0}^n CT_j (1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n PT_j (1+i)^{-j}} \quad (\text{Equação 5})$$

em que:

CT_j = custo total atualizado em cada período; PT_j = produção total equivalente em cada período; i = taxa de juros; j = período em que a receita ou o custo ocorrem; e n = número máximo de períodos.

4.6 Valor Esperado da Terra (VET)

O Valor Esperado da Terra, também conhecido como Expected Value Soil, é um termo consolidado na área florestal para representar o valor atual de uma área de terra nua, a ser utilizada para a produção de madeira, levando-se em consideração uma série infinita de rotações. Apresenta uma importância fundamental, pois possibilita nortear o produtor quanto ao valor

máximo a ser pago por hectare de terra nua, permitindo ainda tomada de decisões em relação aos projetos de melhor atratividade. Por ser baseado em um horizonte infinito, o VET permite comparações de projetos de diferentes durações, aspecto este de grande vantagem. O cálculo do Valor Esperado da Terra pode ser realizado mediante a Equação 6:

$$VET = \frac{R}{(1+i)^t - 1} \quad (\text{Equação 6})$$

em que:

R: fluxo de receitas líquidas perpétuas; t: número de períodos de capitalização dentro do período de ocorrência da parcela; e i: taxa de juros.

De posse dos indicadores supracitados e dos cenários de custos e receitas ao longo do horizonte de planejamento, foi possível inferir sobre a viabilidade econômica, sendo considerada para análise uma taxa de juros de 6% ao ano. A Tabela 2 ilustra os valores dos indicadores referentes à projeção econômica para produção de madeira-nova, considerando um horizonte de 20 anos.

Tabela 2: Indicadores econômicos e Valor Esperado da Terra (VET) referentes à projeção econômica para produção de madeira-nova

Indicadores econômicos e VET	Valores observados	Condição de viabilidade
VPL	R\$ 5.143,18	VPL > 0
VPE	R\$ 448,41	VPE > 0
RB/C	1,52	RB/C > 1
TIR	9,00 %	TIR > TMA
CMP	R\$ 262,52/ m ³	Preço da madeira* > CMP
VET	R\$ 10.973,44	VET > Valor da terra**

* Preço da madeira em pé: R\$ 400,00/m³.

** Valor para o hectare de terra nua na região de Vitória da Conquista para exploração mista: R\$ 3.550,00 (INCRA, 2020).

Fonte: Freitas (2019).

Dos resultados da Tabela 2, pode-se concluir que a projeção contextualizada apresentou viabilidade econômica para todos os indicadores analisados.

O VPL indica que o projeto é capaz de gerar receitas líquidas de R\$ 5.143,18/ha para um horizonte de 20 anos. Considerando a distribuição dessa receita em base anual (VPE), ao longo do horizonte de planejamento, obteve-se valor na ordem de R\$ 448,41/ha. A razão Receita/Custo, com índice de 1,52, mostra que a receita supera os custos contemplados no projeto.

O preço do metro cúbico da madeira em pé (R\$ 400,00) é superior ao custo médio de produção, mostrando que o valor de mercado é suficiente para cobrir os custos do processo produtivo, com um saldo líquido de R\$ 137,48 para cada metro cúbico comercializado. O valor encontrado para TIR é superior à taxa mínima de atratividade (6% a.a.), o que confere viabilidade econômica para a projeção em estudo.

Considerando o Valor Esperado da Terra (VET), pode-se concluir que, para a execução do projeto, é possível pagar, por hectare de terra nua, até R\$ 10.973,44. Tal resultado se revela atrativo, uma vez que este valor supera o preço da terra (Tabela 2).

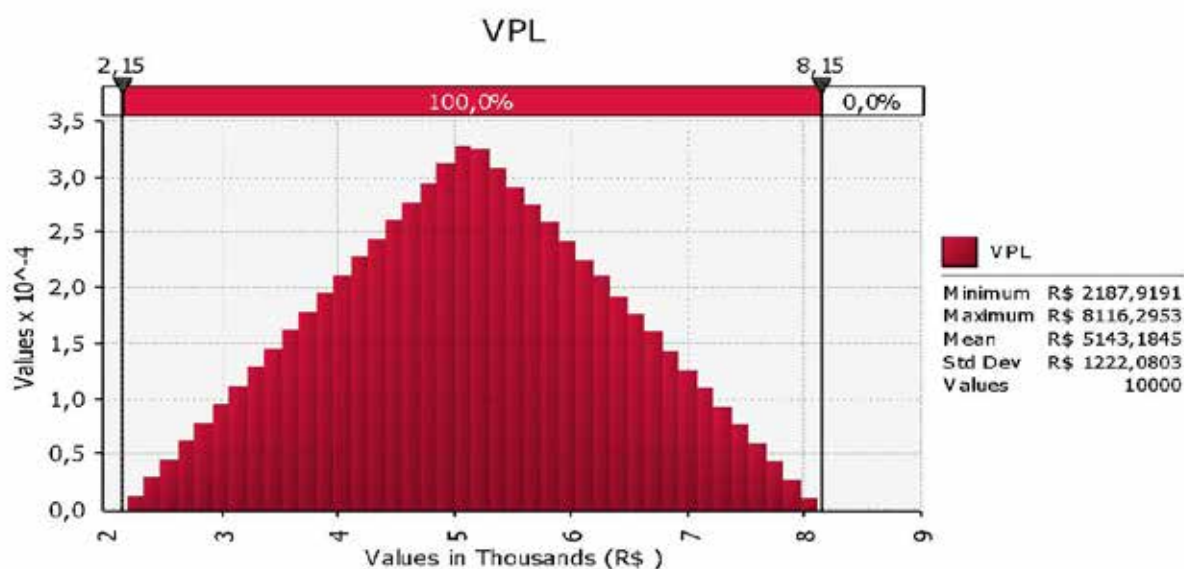
5 Análise de risco

Para a análise de risco, utilizou-se o programa @Risk, desenvolvido para realizar simulações pelo método Monte Carlo, possibilitando a projeção de uma realidade por meio de modelos e cenários aleatórios, de modo que o trabalho foi desenvolvido de forma integrada com a planilha EXCEL (PALISADE CORPORATION, 2002).

Foram realizadas 10.000 iterações, considerando como variáveis de entrada (*inputs*) o preço de mercado da madeira (com oscilações de $\pm 20\%$) e a taxa anual de juros, com variações de $\pm 3\%$. Como variáveis de saída (*outputs*), foram considerados o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

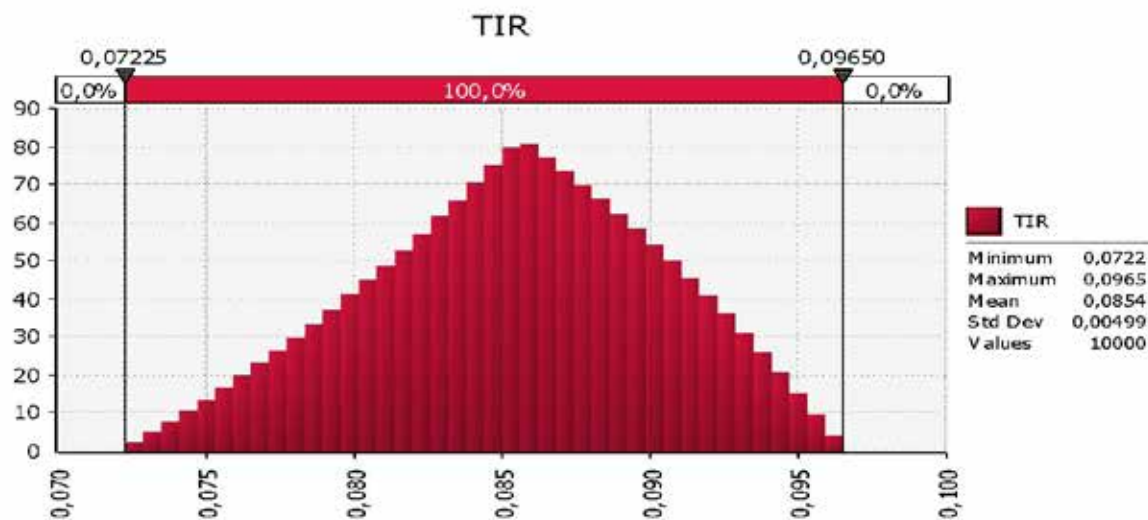
Dos resultados ilustrados na análise de risco, pode-se concluir que as variações percentuais de 20% no preço da madeira não proporcionaram risco, com valores mínimos de VPL na ordem de R\$ 2.187,91 e valores máximos de R\$ 8.116,29 (Figura 1). Em relação à TIR, os valores mínimos (7,22 %) e máximos (9,65%) mostram-se superiores à taxa mínima de atratividade (6% a.a.), indicando, da mesma forma, um cenário com ausência de risco (Figura 2). Considerando oscilações de 3% a.a. para mais e para menos em relação à taxa anual de juros aplicada, obteve-se um cenário com 1,10% de probabilidade de encontrarmos valores de VPL negativos (Figura 3), evidenciando risco, embora pouco significativo.

Figura 1: Probabilidade de distribuição relativa do VPL para o projeto de reflorestamento com horizonte de 20 anos, para produção de madeira-nova, considerando variações de $\pm 20\%$ no preço de mercado da madeira.



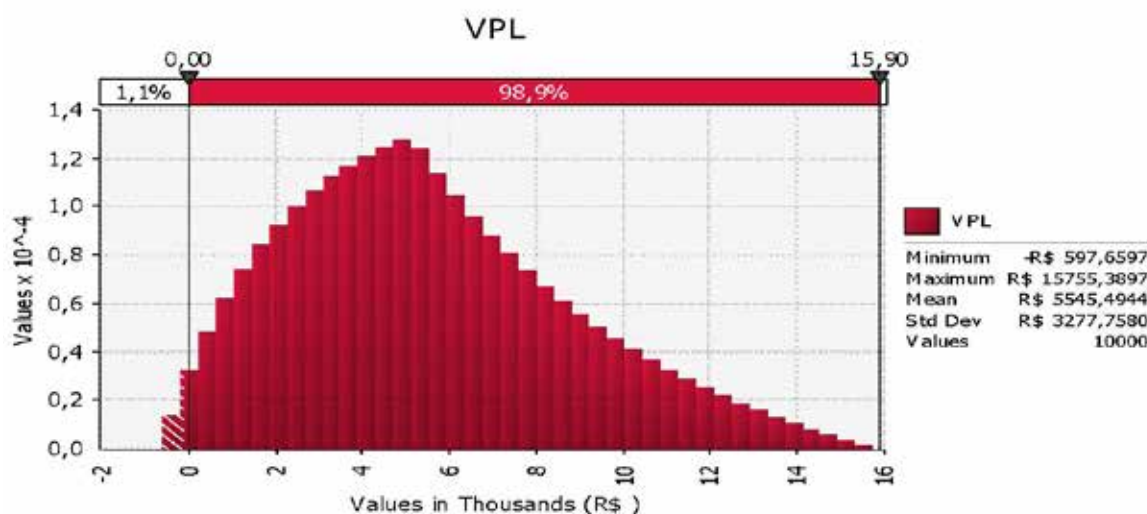
Fonte: Freitas (2019).

Figura 2: Probabilidade de distribuição relativa da TIR para o projeto de reflorestamento com horizonte de 20 anos, para produção de madeira-nova, considerando variações de +/-20% no preço de mercado da madeira.



Fonte: Freitas (2019).

Figura 3: Probabilidade de distribuição relativa do VPL para o projeto de reflorestamento com horizonte de 20 anos, para produção de madeira-nova, considerando variações de 3% para mais e para menos na taxa anual de juros.



Fonte: Freitas (2019).

Considerando as projeções avaliadas para às variáveis de entrada, torna-se possível inferir risco econômico mínimo do projeto, em face da variável taxa de juros, tal como da ausência de risco para a variável preço de mercado da madeira.

6 Considerações finais

Os resultados mostraram viabilidade econômica para todos os indicadores analisados, com risco econômico mínimo, para as projeções na taxa de juros, além de ausência de risco, para as projeções no preço da madeira.

Recomendam-se estudos silviculturais para a espécie avaliada de forma a promover uma base técnica de dados mais consistentes, com valores de custos e receitas capazes de nortear cenários mais seguros para as análises econômicas e de riscos.

Por fim, cabe ressaltar que os custos e receitas, bem como a taxa de juros contextualizada neste trabalho se referem ao cenário pré-pandemia.

Referências

CHICHORRO, J. F.; BAUER, M. O.; PEREIRA, D. P. Viabilidade econômica e mercados para as florestas de produção em pequenas propriedades. In: SILVA, E. N.; FIEDLER, N. C.; PEREIRA, D. P.; PAULA, M. O. (org.). *Florestas de produção*. Viçosa: Suprema, 2014. p. 183-210.

FREITAS, L. C.; PRADO, W. B.; VIRGENS, A. P.; LUZ, D. S.; MOREIRA, A. C. D. Preço mínimo de venda da madeira de eucalipto para os segmentos de carvão e serraria. *Nativa*, Sinop, v. 6, n. 5, p. 526-531, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). *Relatório de Análise de Mercado de Terras (RAMT)*. Disponível em: https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/relatorio-de-analise-de-mercados-de-terras/ppr_ramt_sr05_2020.pdf. Acesso em: 26 jan. 2024.

PALISADE CORPORATION. *Risk analysis and simulation add-in for Microsoft Excellor Lotus 1-2-3*. New York: Palisade Corporation, 2002.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. *Análise econômica e social de projetos florestais*. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. *Economia Florestal*. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005.

Capítulo 5

Volume, biomassa e carbono de árvores de *Pterogyne nitens* Tul.

Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia

Alessandro de Paula

Fabiano Pereira Rodrigues

Thaís Chaves Almeida

1 Introdução

A madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tul.) figura entre as espécies nativas do Brasil que apresentam potencial de cultivo no Nordeste e destaca-se por ser adaptada às condições ambientais da região, possuir rusticidade, rapidez de crescimento e gerar madeira de valor econômico para diferentes finalidades, como para lenha e carvão (Carvalho, 1994) e movelaria (Lorenzi, 1992). A espécie também costuma ser recomendada para recuperação de áreas degradadas, por apresentar facilidade em se estabelecer sobre solos pobres em nutrientes e matéria orgânica (Santos; Nascimento; Mauro, 2008).

Apesar da comprovada importância da *Pterogyne nitens* para a região Nordeste, o conhecimento a seu respeito ainda é incipiente, principalmente no que se refere aos aspectos de silvicultura e dendrometria, o que limita o entendimento do seu potencial produtivo e utilização adequada. Segundo Tonini, Arco-Verde e Sá (2005), em geral, grande parte dos trabalhos que envolvem o estudo de variáveis dendrométricas se relaciona a espécies exóticas, de rápido crescimento, como os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, em decorrência da maior disponibilidade de informações acerca da sua biometria, ecologia e silvicultura.

A estimativa do potencial produtivo e estoque madeireiro de povoamentos florestais é fundamental para o correto manejo, planejamento e sustentabilidade da produção, sendo normalmente obtida de variáveis dendrométricas, como o volume produzido e a biomassa das árvores. A avaliação dessas variáveis em um povoamento florestal geralmente é realizada por meio de inventário florestal, utilizando-se de dados de uma amostra como base para se fazer inferências sobre seus parâmetros. A adoção de método destrutivo para realização de cubagem rigorosa ou quantificação da biomassa e, posteriormente, o emprego dos dados obtidos para o ajuste de equações de regressão constituem a técnica mais comumente utilizada (Soares *et al.*, 2011). No entanto, ainda que muitos modelos matemáticos se mostrem adequados, nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições, fazendo-se necessária a análise do seu desempenho por meio de estatísticas apropriadas, a fim de identificar o melhor para cada situação.

Da mesma forma que para o volume e a biomassa, os estoques de carbono das árvores também podem ser estimados via modelagem, com base em relações dendrométricas, cujas

equações, em geral, envolvem altura e diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores. No entanto, no caso de espécies que bifurcam próximo à base, apresentando multiperfilhos nem sempre retos, a utilização do DAP torna-se pouco viável, uma vez que há o interesse na estimativa da biomassa arbórea total, incluindo todos os fustes. Por tal razão, a variável diâmetro equivalente (DEq) tem sido empregada como uma alternativa eficiente, já que constitui uma medida de diâmetro a 1,30 m, que representa o conjunto de fustes de uma árvore (MacDicken; Wolf; Briscoe, 1991; Lima; Oliveira; Machado, 1996; Silva, 2005; Fraga; Barreto; Paula, 2014). Fraga, Barreto e De Paula (2014) ajustaram equações de volume para *Pterogyne nitens*, que apresenta crescimento predominantemente perfilhado, e não verificaram diferenças significativas entre as estimativas obtidas por equações ajustadas em função do DEq e ajustadas em função do DAP.

A avaliação da biomassa florestal é muito utilizada quando a finalidade é a quantificação de madeira de todos os componentes da árvore (raízes, tronco e galhos), especialmente quando se tem em vista o seu emprego para fins energéticos ou uso de resíduos de manufatura de produtos florestais. Além disso, estimativas de biomassa representam um importante indicador para monitorar e avaliar os estoques de carbono (C) e nutrientes de ecossistemas florestais (Higuchi *et al.*, 1998). O conhecimento dos estoques de carbono na biomassa das florestas também pode indicar o potencial dessas coberturas em sequestrar C da atmosfera (Ravindranath; Ostwald, 2008) e, conseqüentemente, permitir uma avaliação adequada da exportação com a exploração florestal, na busca de minimizar os impactos ambientais gerados por essa atividade.

Diante do exposto e considerando a carência de informações sobre variáveis dendrométricas da espécie *Pterogyne nitens*, este capítulo propõe caracterizar o volume, quantidade de biomassa e de carbono de árvores em condição de plantio puro, bem como o potencial de obter relações dendrométricas que permitam estimar essas variáveis. Para isso, dados experimentais publicados (extraídos de estudos realizados na Bahia e em Minas Gerais) e não publicados (fornecidos pelos respectivos autores) foram reunidos neste capítulo.

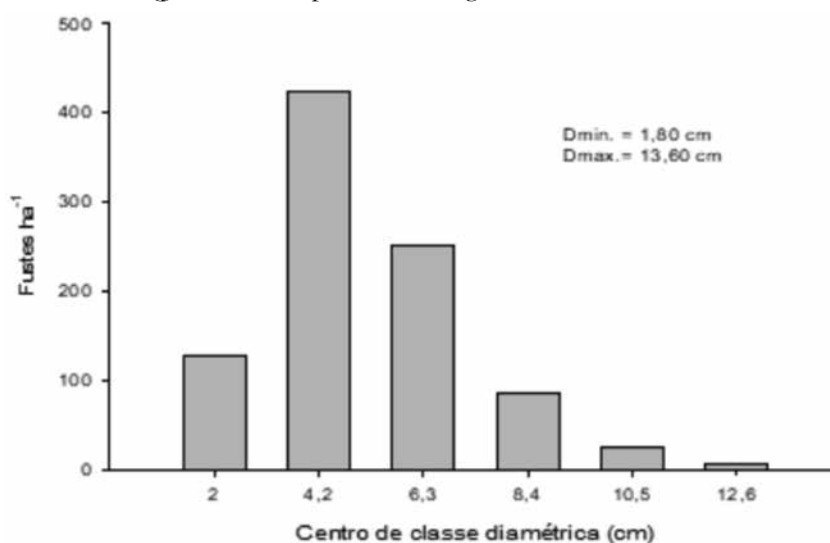
2 Diâmetro e altura

Em inventários florestais, a obtenção de medidas de diâmetro à altura do peito (DAP) e da altura total e/ou comercial das árvores constitui etapa fundamental para estimação dos recursos disponíveis existentes em uma floresta, já que permitem calcular a área basal e volume de madeira. Embora o DAP seja facilmente obtido, pela medição direta das árvores, a altura é uma variável de difícil medição, implicando em maior tempo para a sua mensuração, o que torna a operação mais onerosa.

A utilização do DAP para a estimativa de variáveis dendrométricas é otimizada quando se trata de espécies de fuste retilíneo e sem perfilhamento. No entanto, no caso de espécies nativas com fustes tortuosos e ramificações abaixo de 1,30 m de altura, como a *Pterogyne nitens*, a utilização do diâmetro equivalente (DEq), conforme será discutido aqui, pode constituir uma importante alternativa, uma vez que o cálculo dessa variável permite a obtenção de uma medida de diâmetro a 1,30 m que representa o conjunto de fustes de uma árvore (Silva, 2005). Nesse sentido, Fraga, Barreto

e De Paula (2014) observaram, em povoamento homogêneo, com 6 anos de idade, no Sudoeste da Bahia, que as árvores de *P. nitens*, em sua maioria, apresentavam múltiplos fustes (cerca de 75%) e DAP com variação entre 1,8 e 13,6 cm. Na mesma área de estudo, Barreto-Garcia *et al.* (2019) constataram que a distribuição dos diâmetros em seis classes diamétricas (amplitude de 2,1 cm) apresentava padrão normal, conforme teste de normalidade de Shapiro-Wilk (Figura 1). Portanto, havia maior concentração de indivíduos nas classes centrais, configurando uma distribuição típica de povoamentos florestais equiâneos, que são constituídos de indivíduos originados na mesma data.

Figura 1: Distribuição diamétrica dos fustes de árvores de *Pterogyne nitens* em plantio homogêneo, com 6 anos de idade.



Fonte: Barreto-Garcia *et al.* (2019).

Aragão *et al.* (2015) observaram, nas mesmas áreas de pesquisa de Fraga, Barreto e Paula (2014) e Barreto-Garcia *et al.* (2019), que as árvores de *Pterogyne nitens*, aos 6 anos de idade, apresentavam de baixo a médio porte, com altura máxima de 10,5 m e mínima de 2,5 m. Tal informação está em concordância com Lorenzi (1992), segundo o qual as árvores dessa espécie possuem porte médio e não ultrapassam 15 metros de altura.

Estudando relações hipsométricas para estimar a altura total (H) da *P. nitens* em função do DAP, Soares *et al.* (2011) observaram que o valor máximo de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) foi 68,9%, indicando limitações no grau de ajuste da variável dependente H em função da variável independente DAP. Por outro lado, Aragão *et al.* (2015), ao ajustar equações para estimar H de árvores da mesma espécie em função do diâmetro equivalente (DEq), encontraram valores de R^2_{aj} entre 65,6 e 92,2%, com resultado superior a 90% somente para o modelo de Prodan (Equação 6), que apresentou menor desempenho quanto ao erro padrão da estimativa ($S_{yx} = 31,5\%$), conforme Tabela 1. De acordo com Scolforo e Figueiredo Filho (1998), é comum verificar valores de R^2_{aj} menores de 80% em relações hipsométricas, já que a correlação altura/diâmetro não é tão eficiente quanto altura/volume.

Tabela 1: Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos no ajuste de modelos hipsométricos (em função do DEq) para *Pterogyne nitens* em plantio puro, com 6 anos de idade

Nº	Modelo	β_0	β_1	β_2	R^2_{aj}	S_{yx}	F	VP
1	$H = \beta_0 + \beta_1 D + \varepsilon$	3,3214	0,3697		65,55	13,41	53,27	17
2	$H = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \varepsilon$	2,2843	0,5960	-0,0108	66,41	13,49	26,69	17
3	$Ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{D} + \varepsilon$	2,4419	-4,4507		67,11	12,88	85,70	8
4	$Ln(H) = \beta_0 + \beta_1 LnD + \varepsilon$	0,6643	0,5600		65,55	12,89	69,36	14
5	$H = \beta_0 + \beta_1 Ln D + \varepsilon$	-0,7262	3,4818		68,55	12,82	61,03	9
6	$H = \frac{D^2}{\beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2} + \varepsilon$	-3,8150	1,5880	0,0253	92,16	31,49	158,60	9
7	$Ln(H) = \beta_0 + \beta_1 LnD + \beta_2 \frac{1}{D} + \varepsilon$	2,5084	-0,0213	-4,6108	65,81	12,79	41,33	12

1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 = modelos da Linha reta, Parabólico, Curtis, Stofel, Henriksen, Prodan e Silva (1980), respectivamente; β_i = coeficientes dos modelos; H = altura total da árvore ou altura total do fuste em m; D = DAP (diâmetro com casca 1,30 m do solo, em cm) ou DEq (diâmetro equivalente com casca a 1,30 m do solo, em cm); Ln = Logaritmo neperiano; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado (%); S_{yx} = erro-padrão da estimativa (%); F = valor de F de análise de variância; VP = Valor ponderado dos escores, determinado a partir da soma de pesos atribuídos aos critérios estatísticos (peso 1 para o modelo mais eficiente, 2 para o segundo e assim sucessivamente).

Fonte: Aragão *et al.* (2015).

Ainda no estudo de Aragão *et al.* (2015), com base no valor ponderado dos escores estatísticos (VP) que considera o conjunto dos critérios estatísticos analisados, os modelos que apresentaram melhor desempenho na estimativa de altura de *Pterogyne nitens* foram os de Prodan, Curtis e Henriksen.

3 Volume

A predição do volume constitui uma das informações de maior importância para o diagnóstico do potencial de uma floresta. Como essa variável não é facilmente mensurável, vários métodos são utilizados para a sua estimativa, estando entre os principais o emprego de fatores ou quocientes de forma e de equações volumétricas, que normalmente são ajustadas com medidas de DAP e altura das árvores. No entanto, no caso de espécies que bifurcam próximo à base e apresentam multifustes, como a *Pterogyne nitens*, o DEq pode ser empregado em substituição ao DAP, por constituir uma medida de diâmetro a 1,30 m que representa o conjunto de fustes de uma árvore (MacDicken; Wolf; Briscoe, 1991; Lima; Oliveira; Machado, 1996; Silva, 2005; Fraga; Barreto; De Paula, 2014). Plantios homogêneos de *Pterogyne nitens*, no Sudoeste da Bahia, aos 6 anos de idade, apresentaram volume médio de 0,04553 m³, o que representa cerca de 51 m³ ha⁻¹ (Fraga; Barreto; De Paula, 2014). Os mesmos autores observaram que as árvores definiam um fator de forma médio (f) de 0,60 e quociente de forma médio (Q) de 0,70. Esses valores de fator e quociente de forma são esperados para plantios jovens, o que corrobora os resultados já publicados na literatura que demonstram que, em geral, árvores mais jovens apresentam uma relação mais próxima da forma cilíndrica, enquanto indivíduos mais velhos possuem formas mais cônicas (Drescher *et al.*, 2001; Figueiredo; Scolforo; Oliveira, 2005; Rossi, 2015).

Apesar disso, o emprego dos valores médios de fator de forma e quociente de forma, ainda no estudo de Fraga, Barreto; De Paula (2014), ocasionou superestimação do volume em

relação ao volume obtido pela cubagem rigorosa (Tabela 2). Por outro lado, os mesmos autores constataram que o emprego de equações ajustadas, tanto em função de DEq quanto em função do DAP, resultaram em estimativas consistentes de volume, da mesma maneira que ocorria na cubagem rigorosa.

Tabela 2: Volume real e volumes estimados por meio do fator de forma médio, quociente de forma médio e modelo de Stoate, em função do DEq e em função do DAP, para *Pterogyne nitens* em plantio puro, com 6 anos de idade

V real ⁽¹⁾	V(f)	V(Q)	V (DEq, H _f)	V (DAP, H _f)
0,04553 b	0,05668 a	0,05746 a	0,04467 b	0,04553 b

⁽¹⁾ Vreal= volume médio da cubagem rigorosa; V(f)= volume médio estimado em função do fator de forma; V(Q)= volume médio estimado em função do quociente de forma; V (DEq)= volume médio estimado por meio do modelo de Stoate ajustado em função de DEq e altura total da árvore; V (DAP)= volume médio estimado por meio do modelo de Stoate ajustado em função do DAP e altura do fuste; médias seguidas pela mesma minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fonte: Fraga, Barreto e Paula (2014).

Para avaliar a estimação do volume em função do DAP e H (situação 1) e em função do DEq e H (situação 2), Fraga, Barreto e Paula (2014) testaram oito modelos matemáticos disponíveis na literatura (Tabela 3). Na situação 1, os autores observaram que os modelos de Stoate (7) e de Spurr (4) foram os que apresentaram melhores resultados para o conjunto de parâmetros estatísticos considerados, já que obtiveram os menores valores de VP (Tabela 4), com evidência de que o primeiro seria o mais adequado para estimação do volume dos fustes, uma vez que apresentou distribuição mais uniforme dos resíduos em relação à média (Figura 2A e 2B). Na situação 2, os modelos de Koperzky-Gehrhardt (3) e Stoate (7) foram os mais indicados para estimação do volume das árvores com casca de *Pterogyne nitens*, com base no VP (Tabela 4) e na distribuição gráfica dos resíduos (Figura 2C e 2D). Segundo os autores, como a determinação da altura das árvores é uma operação onerosa e sujeita a erros, a utilização do modelo de Koperzky-Gehrhardt pode representar redução de tempo e custos das operações de inventário florestal em plantios de *Pterogyne nitens*, uma vez que esse modelo estima o volume em função apenas do DAP.

Tabela 3: Modelos de relação volumétrica utilizados para estimar o volume de árvores individuais

Nº	Modelo
1	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 H$
2	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D) + \beta_2 \ln(H) + \varepsilon$
3	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D^2 H) + \varepsilon$
4	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \varepsilon$
5	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \varepsilon$
6	$V = \beta_0 + \beta_1 \ln(D) + \beta_2 \ln(H) + \varepsilon$
7	$H = \frac{D^2}{\beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2} + \varepsilon$
8	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 D^2 H + \beta_3 H + \varepsilon$

V= volume da árvore (Vt) ou volume do fuste (Vf); β_i = coeficientes dos modelos; H = altura total da árvore (Ht) ou altura total do fuste (Hf) em m; D = DAP (diâmetro com casca a 1,30 m do solo, em cm) ou DEq (diâmetro equivalente com casca a 1,30 m do solo, em cm); Ln = Logaritmo neperiano; ε = erro aleatório.

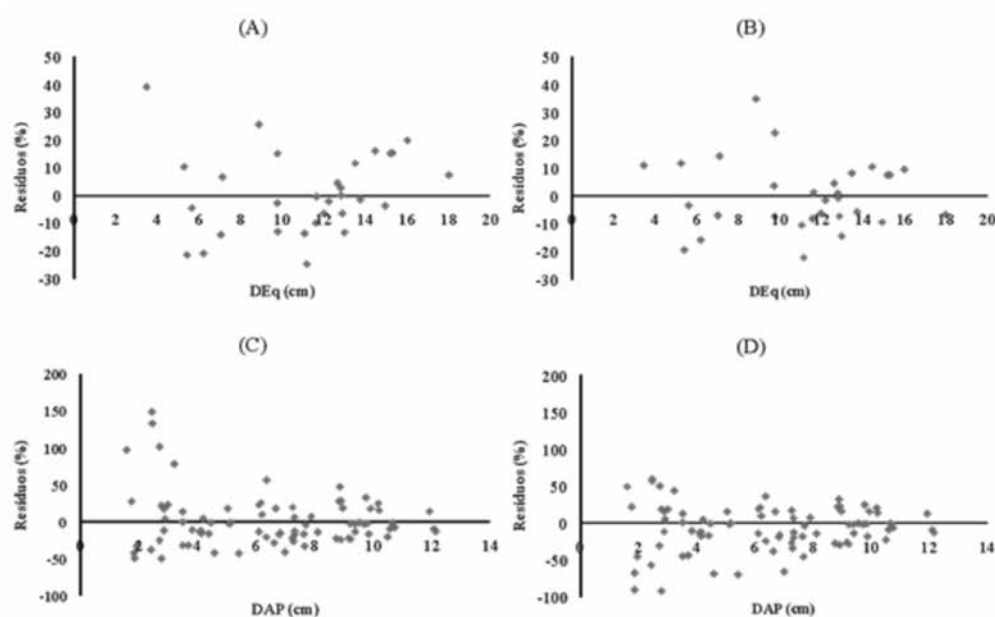
Fonte: Fraga, Barreto e Paula (2014).

Tabela 4: Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos no ajuste dos modelos para estimativa do volume com casca de *Pterogyne nitens* em plantio puro, com 6 anos de idade.

Nº	β_0	β_1	β_2	β_3	R^2_{aj}	S_{yx}	$S_{yx}\%$	F	VP
Volume do fuste em função do DAP e Ht									
1	-0,00948	0,00410			85,73	0,00504	29,88	481,97	20
2	-7,72692	1,589967	0,271686		90,71	0,00427	24,84	369,17	17
3	-7,87645	0,63741			85,62	0,00600	35,59	477,50	24
4	0,00057	0,00032			90,82	0,00404	23,96	793,06	7
5	0,00172	-0,00042	0,00036		90,74	0,00406	24,07	393,17	13
6	-0,01706	0,02288	-0,00312		73,63	0,00685	40,63	112,72	31
7	0,00057	0,00032	3,44E-09	1,42E-06	91,48	0,00389	23,09	269,54	8
8	-0,00962	0,00426	-0,00014		86,45	0,00491	29,12	256,24	21
Volume da árvore em função do DEq e Ht									
1	-0,03013	0,00681			88,07	0,00920	19,97	215,07	27
2	-7,70301	1,58387	0,35203		96,09	0,00646	14,31	357,35	13
3	-7,89077	0,68919			95,76	0,00614	13,64	655,40	8
4	0,00047	0,00033			93,88	0,00651	14,30	446,10	16
5	0,01316	-0,00264	0,00045		94,15	0,00640	13,99	234,28	14
6	-0,09537	0,05470	0,00645		75,10	0,01310	28,85	44,73	32
7	0,00110	0,00010	0,00002	0,00081	95,98	0,00530	11,59	231,71	9
8	-0,03803	0,00594	0,00234		88,44	0,00900	19,66	111,90	25

β_i = coeficientes dos modelos; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado percentual (%); S_{yx} = erro-padrão da estimativa; $S_{yx}\%$ = erro-padrão da estimativa em percentual; F = valor de F de análise de variância; VP = valor ponderado dos escores; DEq = diâmetro equivalente, Ht = altura total da árvore, DAP = diâmetro à altura do peito. Hf = altura do fuste.

Fraga, Barreto e Paula (2014).

Figura 2: Distribuição dos resíduos dos modelos volumétricos de Spurr (A) e de Stoate (B) em função do diâmetro equivalente (DEq) de árvores e dos modelos de Koperzky-Gehrhardt (C) e Stoate (D) em função do diâmetro a 1,3 m de altura (DAP) de fustes de *Pterogyne nitens* em plantio puro, com 6 anos de idade.

Fraga, Barreto e Paula (2014).

4 Biomassa e carbono

Assim como o volume, a biomassa constitui uma variável muito utilizada na estimativa do potencial disponível em um povoamento florestal. Normalmente é empregada quando o objetivo é a quantificação de madeira de todos os componentes da árvore (raízes, tronco, galhos), especialmente quando se tem em vista a sua utilização para fins energéticos ou uso de resíduos de manufatura de produtos florestais. Além disso, o conhecimento dos estoques de carbono na biomassa das florestas pode indicar o potencial dessas coberturas em sequestrar C da atmosfera (Ravindranath; Ostwald, 2008) e, consequentemente, possibilitar uma avaliação adequada da exportação com a exploração florestal.

A quantificação da biomassa florestal pode ser realizada por métodos diretos ou indiretos. De acordo com Vieira (2011), os métodos diretos implicam determinações, por meio das quais as árvores são cortadas e todos os componentes pesados, enquanto os métodos indiretos permitem a obtenção de estimativas por meio da utilização de dados de inventários florestais, modelagem e técnicas de sensoriamento remoto.

Quando em plantio homogêneo, a *Pterogyne nitens*, com 6 anos de idade, no Sudoeste da Bahia, apresentou biomassa arbórea de, aproximadamente, 32 Mg ha⁻¹, o que representa cerca de 29 kg por indivíduo, com maior participação do fuste (45,7%), acompanhado dos galhos (43,4%) e folhas (10,9%) (Tabela 5). Esse mesmo padrão de distribuição (fuste > galhos > folhas) foi constatado por Drumond *et al.* (2008) para espécies arbóreas nativas do semiárido brasileiro.

Tabela 5: Biomassa seca, teores e quantidades de carbono orgânico dos componentes de árvores de *Pterogyne nitens* aos 6 anos de idade

Componente	Biomassa			Carbono		% do total de Carbono(1)
	kg árvore ⁻¹	Mg ha ⁻¹	%	kg árvore ⁻¹	Mg ha ⁻¹	
Folhas	3,24 (0,64)	3,6	48,46	1,57 (0,31)	1,74	11,59
Galhos	12,57 (2,6)	13,97	46,06	5,79 (1,18)	6,43	42,84
Fuste	13,37 (1,5)	14,85	46,07	6,16 (0,70)	6,84	45,57
Total	29,17	32,41		13,51	15,01	100

(1) % = concentração de carbono; % do total de carbono = proporção do total de carbono fixado na biomassa arbórea; valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=18).

Fraga, Barreto e Paula (2014).

Embora o fuste seja sempre considerado o compartimento mais representativo em armazenamento de carbono, já que constitui o principal reservatório da planta (Kuzyarov; Domanski, 2000), os valores expressivos de biomassa tanto de fuste quanto de galhos na *Pterogyne nitens*, ambos com participação acima de 40% (Tabela 6), podem ser explicados pelo fato de a espécie apresentar crescimento perfilhado, com bifurcações em praticamente todos os fustes, conforme discutido no item 2. Portanto, essa característica morfológica estaria sendo responsável pela elevada biomassa de galhos (12,6 kg árvore⁻¹).

Os teores médios de carbono nas árvores variaram entre 46,1%, para fuste e galhos, e 48,4%, para folhas. O coeficiente de variação, o desvio padrão e os valores máximos e mínimos indicam a ausência de grandes diferenças entre as amostras vegetais (Tabela 6).

Tabela 6: Estatísticas descritivas dos teores de carbono (%) nos compartimentos da parte aérea de árvores de *Pterogyne nitens* aos 6 anos de idade

Compartimento	Teores de carbono				
	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Máximo	Mínimo
Folhas	48,43	0,85	1,76	49,75	46,64
Galhos	46,06	0,60	1,30	46,96	44,44
Fuste	46,06	0,58	1,25	47,31	45,06

⁽¹⁾ CV = coeficiente de variação.
Fraga, Barreto e Paula (2014).

O teor médio de carbono, considerando-se todos os compartimentos (46,3%), é inferior ao valor padrão sugerido pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006). Todavia, na literatura existem diversos outros trabalhos onde se verifica a ocorrência de teores médios ponderados de carbono inferiores ou superiores a 50%, como os de Miranda *et al.* (2012) (43%), em indivíduos de *Euterpe oleracea* Mart., Vieira, Sanquetta e Barbeiro (2009) (42%), em *Nectandra grandiflora* Nees, Sette Junior *et al.* (2006) (55%), em *Pinus taeda*, e Torres *et al.* (2013) (47%), em Floresta Estacional.

O estoque de C da biomassa arbórea totalizou, aproximadamente, 15,0 Mg ha⁻¹ (Tabela 2). A distribuição entre os componentes seguiu o mesmo padrão da biomassa, com maior participação do fuste (6,2 Mg ha⁻¹), que representou cerca de 46%, seguido dos galhos (5,8 Mg ha⁻¹), que contribuiu com 43% de todo o estoque de C na biomassa. Essa mesma sequência de distribuição foi observada por Caldeira *et al.* (2011), em povoamento de *Acacia mearnsii* com 6 anos de idade, e por Watzlawick, Koehler e Kirchner (2003), em plantio de *Araucaria angustifolia* com 30 anos. Esses resultados evidenciam o potencial de utilização dos diferentes componentes das árvores de *Pterogyne nitens* (com destaque para fuste e galhos) e, como consequência, a possibilidade de emprego da espécie em plantios florestais comerciais ou em projetos de reposição florestal.

Utilizando a mesma base de dados de Barreto-Garcia *et al.* (2019) para testar modelos para estimativa de biomassa de *Pterogyne nitens*, foram encontrados valores de R²_{aj} entre 86 e 91% e de S_{yx} entre 26,0 e 30,7 % (Tabela 7), mas apenas três modelos obtiveram valor de R²_{aj} menor que 90%, o que indica desempenho estatístico satisfatório para a maioria dos modelos. Os modelos aritméticos apresentaram melhores ajustes se comparados com os logarítmicos e, de acordo com o valor ponderado, os modelos 2, 3, 4 e 7 apresentaram melhor desempenho (Tabela 7).

Em concordância com esses resultados, Scolforo *et al.* (2004) também encontraram valores satisfatórios de R²_{aj} e valores altos de S_{yx}, atribuindo esse resultado à variabilidade encontrada nas árvores-amostra de vegetação nativa. Dessa forma, os valores de S_{yx} observados podem estar refletindo a grande heterogeneidade do povoamento estudado.

Tabela 7: Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos no ajuste dos modelos para estimativa da biomassa total seca de árvores de *Pterogyne nitens* aos 6 anos de idade

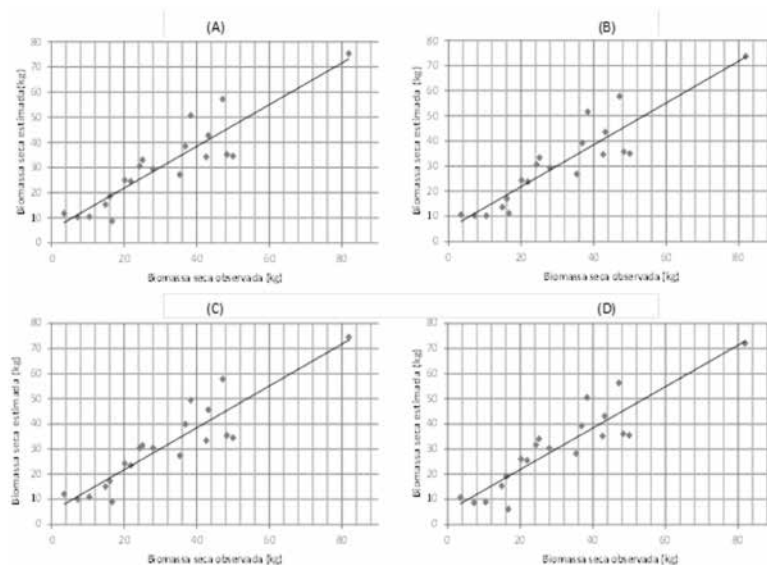
Nº	Modelo	$\beta_0^{(1)}$	β_1	β_2	β_3	$R^2_{aj} \%$	$S_{yx} \%$	VP
1	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln DEq + \epsilon$	-2,1278	2,2064			85,72	26,32	12
2	$Y = \beta_0 + \beta_1 DEq + \beta_2 DEq^2 + \epsilon$	12,4536	-2,7654	0,3475		91,09	26,62	7
3	$Y = \beta_0 + \beta_1 DEq^{0,5} + \beta_2 \ln DEq + \epsilon$	-1,4822	184,6643	-245,0580		91,29	26,33	4
4	$Y = \beta_0 + \beta_1 DEq + \beta_2 DEq^2 + \beta_3 (DEq^2 H) + \epsilon$	19,8424	-4,5035	0,4982	-0,0076	91,26	27,18	8
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 (DEq^2 H) + \epsilon$	-2,8519	0,2309			90,79	27,03	11
6	$Y = \beta_0 + \beta_1 DEq + \beta_2 (DEq^2 H) + \epsilon$	-14,8698	2,8244	0,0106		89,83	28,34	15
7	$Y = \beta_0 + \beta_1 DEq^2 + \beta_2 (DEq^2 H) + \epsilon$	-2,8197	0,2298	0,0001		90,79	26,03	6
8	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln DEq + \beta_2 \ln H + \epsilon$	-2,8517	1,9698	0,6362		86,49	29,82	17
9	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln (DEq^2 H) + \epsilon$	-3,1143	0,9197			86,31	30,7	19
10	$Y = \beta_0 + \beta_1 DEq^2 + \beta_2 DEq^2 H + \beta_3 H + \epsilon$	4,4802	0,2017	0,0041	-1,0250	90,85	27,78	11

⁽¹⁾ Y = biomassa seca ou carbono da parte aérea da árvore; β_i = coeficientes da regressão; H = altura total da árvore em m; DEq = diâmetro equivalente com casca à altura de 1,30 m em cm; Ln = Logaritmo neperiano; ϵ = erro aleatório; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; $S_{yx} (\%)$ = erro padrão da estimativa percentual; VP = valor ponderado dos escores estatísticos.

Fraga, Barreto e Paula (2014).

Analisando a distribuição gráfica da biomassa observada *versus* estimada por esses modelos, não foram encontradas tendências nítidas na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão (Figura 3). Os modelos selecionados demonstraram comportamento semelhante na distribuição, porém o modelo 3 obteve menor amplitude absoluta dos resíduos, mostrando que essa equação é mais recomendada para estimar a variável de interesse.

Figura 3: Biomassa total seca observada e estimada pelos modelos 2 (A), 3 (B), 4 (C) e 7 (D) para árvores de *Pterogyne nitens* aos 6 anos de idade.



Fraga, Barreto e Paula (2014).

Além disso, tendo em vista que a obtenção da altura das árvores é uma operação onerosa e passível de erros, o modelo 3 proporciona vantagens como a redução de tempo e custos durante a realização do inventário florestal, uma vez que esse modelo estima a biomassa em função apenas do diâmetro.

5 Considerações finais

Em condições de plantio homogêneo, as árvores de *Pterogyne nitens* apresentam teores de carbono entre 46,1 e 48,4% e podem estocar 34 Mg ha⁻¹ de biomassa total, 16 Mg ha⁻¹ de carbono e 51 m³ ha⁻¹ de volume até os 6 anos de idade. A espécie mostra crescimento predominantemente perfilhado, com uma quantidade expressiva de galhos, o que corresponde a 43% da biomassa total e constitui participação quase equivalente à dos fustes (45,7%). Isso evidencia o potencial de aplicação da espécie em plantios florestais comerciais, com vistas à utilização dos seus diferentes componentes arbóreos, e em projetos de reposição florestal.

Observa-se grande potencial de aplicação do DEq, substituindo o DAP, em funções matemáticas para obtenção de estimativas de altura, biomassa, carbono e volume da madeira-nova. Para estimativas de volume das árvores, observa-se potencial de aplicação do modelo de Koperzky-Gehrhardt. Tal modelo pode representar redução de tempo e custos das operações de inventário florestal, uma vez que estima o volume em função apenas do DAP e que a determinação da altura das árvores é uma operação onerosa e sujeita a erros. Para estimativas de biomassa total e carbono, melhores ajustes foram propiciados pelos modelos $Y = \beta_0 + \beta_1 \text{DEq}^{0,5} + \beta_2 \text{LnDEq}$ e $Y = \beta_0 + \beta_1 \text{DEq} + \beta_2 \text{DEq}^2 + \beta_3 \text{DEq}^2 H$, respectivamente.

Referências

- ARAGÃO, M. A.; BARRETO, P. A. B.; DE PAULA, A.; CARVALHO, F. F.; FRAGA, M. P. Modelos de altura para *Pterogyne nitens* Tul. em plantio puro no Sudoeste da Bahia. *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 21, p. 1340-1351, 2015.
- AZEVEDO, G. B.; SOUSA, G. T. O.; BARRETO, P. A. B.; CONCEIÇÃO JUNIOR, V. Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no Sudoeste da Bahia. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 68, p. 309-318, 2011.
- BARRETO-GARCIA, P. A. B.; MATOS, P. S.; SANQUETTA, C. R.; MONROE, P. H. M. Inventory of Organic Carbon in a *Pterogyne nitens* Tul. plantation in Southwest Bahia, Brazil. *Floresta e Ambiente*, v. 26, n. 4, 2019.
- CALDEIRA, M. V. W. *et al.* Biomassa de povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild., Rio Grande do Sul, Brasil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 39, p. 133-141, 2011.
- CARVALHO, P. E. R. *Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira*. Colombo, Paraná, EMBRAPA/CNPQ, 1994.

- DRESCHER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; QUEIROZ, F. L. C. Fator de forma artificial de *Pinus elliottii* Engelm para a região da Serra do Sudeste do estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v. 31, n. 1, p. 37-42, 2001.
- DRUMOND, M. A.; PIRES, I. E.; DE OLIVEIRA, V. R.; DE OLIVEIRA, A. R.; ALVAREZ, I. A. Produção e distribuição de biomassa de espécies arbóreas no semi-árido brasileiro. *Revista Árvore*, v. 32, n. 4, p. 665 - 669, 2008.
- FIGUEIREDO, E. O; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. *Estimativa do percentual de casca e do fator de forma em povoamentos jovens de teca (Tectona grandis L.F.)*. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005.
- FINGER, C.A.G. *Fundamentos de Biometria Florestal*. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.
- FRAGA, M. P.; BARRETO, P. A. B.; DE PAULA, A. Estimação de volume de *Pterogyne nitens* em plantio puro no sudoeste da Bahia. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 34, n. 79, p. 207-215, 2014.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da Floresta Tropical Úmida de terra firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 28, p. 153-166, 1998.
- KUZYAROV, Y.; DOMANSKI, G. Carbon input by plants in to the soil. Review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 163, n. 4, p. 421-431, 2000.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, v. 123, n. 1-2, p. 1-22, 2004.
- LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, E. B.; MACHADO, S. A. Equações para estimativa de biomassa de espécies de Prosopis no semi-árido brasileiro. *Boletim de Pesquisa Florestal*, v. 32/33, p. 67-79, 1996.
- LORENZI, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1992.
- MACDICKEN, K. G.; WOLF, G. V.; BRISCOE, C. B. *Standard research methods for multipurpose trees and shrubs*. Arlington: Winrock International Institute for Agricultural Development/ICRAF, 1991.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. *Dendrometria*. Curitiba: Editora dos Autores, 2003. 309 p.
- MIRANDA, D. L. C.; SANQUETTA, C. R.; COSTA, L. G. S.; CORTE, A. P. D. Biomassa e carbono em *Enterpe oleracea* Mart. na ilha do Marajó – PA. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 336-343, 2012.
- NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; KUMAR, B. M.; HAILE, S. G. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environmental Science & Policy*, v. 12, n. 8, p. 1099-1111, 2009.
- RAVINDRANATH, N. H.; OSTWALD M. *Carbon Inventory Methods Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Round Wood Production Projects: advances in global change research*. Dordrecht: Springer, 2008.
- ROSSI, A. S. *Fator de forma e afilamento para povoamentos não desbastados de Pinus caribaea var. caribaea na região centro-sul de Mato Grosso*. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CORTE, A. P. D.; FERNANDES, L. DE A. V. *Inventários florestais: planejamento e execução*. 2. ed. Curitiba: Multigraphics, 2009.

SANTOS, M. J. C.; NASCIMENTO, A. V. S.; MAURO, R. A. Germinação do amendoim bravo (*Pterogyne nitens* Tul) para utilização na recuperação de áreas degradadas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 3, n. 1, p. 31-34, 2008.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. *Biometria Florestal: medição e volumetria de árvores*. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998.

SCOLFORO, J. R. S.; MOSQUERA, J. F. P.; CAMOLESI, J. F.; ROCHA, L. F. B.; WEIMAR, F. A. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a Candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Mac Leish). *Cerne*, v. 10, n. 1, p. 87-102, 2004.

SETTE JUNIOR, C. R.; NAKAJIMA, N.; GEROMINI, M. Captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. na Região de Rio Negrinho, SC. *Floresta*, Curitiba, v. 36, n. 1, jan./abr. 2006.

SILVA, G. T. A.; QUEIROZ, R. O. M.; NÓBREGA, P. O.; CAMPELLO, E. F. C.; RESENDE, A. S. Caracterização dos teores de nitrogênio, polifenol e relação C:N no tecido foliar de diferentes espécies vegetais em um sistema silvipastoril. In: JORNADA CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, 14., 2004, Seropédica. *Anais* [...]. Seropédica: UFRJ, 2004. p. 55-59.

SILVA, J. A. *Fitossociologia e relações alométricas em Caatinga nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte*. 2005. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE JUNIOR, H. U.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, L. T. M. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. *Revista Árvore*, v. 35, n. 5, p. 1039-1053, 2011.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. *Dendrometria e inventário florestal*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. P. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no Estado de Roraima – Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), Ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). *Acta Amazonica*, v. 35, n. 3, p. 353-362, 2005.

TORRES, C. M. M. E. *et al.* Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no parque tecnológico de Viçosa, MG. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 37, n. 4, p. 647-655, 2013.

VIEIRA, G. *Modelagem da biomassa viva e do estoque de carbono de Nectandra grandiflora* Nees em São João do Triunfo-PR. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R.; BARBEIRO, L. S. S. Estoque individual de biomassa e carbono em *Nectandra grandiflora* Nees (Canela-amarela). *Floresta*, v. 39, n. 3, p. 547-554, 2009.

WATZLAWICK, L. F.; KOEHLER, H. S.; KIRCHNER, F. F. Estimativa de biomassa e carbono em plantios de *Pinus taeda* L. utilizando imagens do satélite Ikonos II. *Ciência e Natura*, p. 45-60, 2006.

Capítulo 6

Biomassa e carbono no sistema serapilheira-solo de *Pterogyne nitens* Tul.: um estudo de caso na Bahia

Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia

Paulo Henrique Marques Monroe

1 Introdução

O potencial produtivo de um ecossistema florestal está intimamente associado à quantidade de carbono e nutrientes estocados em seus vários compartimentos, que incluem a vegetação, o solo e a serapilheira. Esse último componente refere-se à camada de matéria orgânica disposta na superfície do solo. Em ambientes florestais, a serapilheira é constituída por folhas, galhos, cascas, órgãos reprodutivos e detritos (Costa *et al.*, 2010; Scoriza *et al.*, 2012).

A serapilheira possibilita o retorno de matéria orgânica e o seu reaproveitamento no ciclo de nutrientes do ecossistema, quando, por meio do processo de decomposição e mineralização, libera para o solo nutrientes que poderão ser reabsorvidos pelas raízes das plantas (Schumacher *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 2007; Momolli *et al.*, 2018). Portanto, esse material orgânico é indispensável para a manutenção do equilíbrio biogeoquímico de qualquer ecossistema florestal.

A capacidade de acumular serapilheira, bem como o fluxo de elementos oriundos desse componente, é condicionada por diversos fatores – abióticos e bióticos –, com destaque para as características da vegetação, como composição de espécies e idade, que determinam a quantidade e qualidade do material formador da serapilheira. Tais características regulam a velocidade de decomposição e, como consequência, o acúmulo de carbono orgânico no solo (COS) (Haag, 1987; Moreira e Siqueira, 2002; Pegado *et al.*, 2008; Barreto; Gama-Rodrigues, E. F.; Gama-Rodrigues, A. C., 2014) e a ciclagem de nutrientes (Costa; Gama-Rodrigues; Cunha, 2005; Andivia *et al.*, 2010; Godinho *et al.*, 2013).

A *Pterogyne nitens* Tul. é uma leguminosa arbórea e produz serapilheira com elevados teores de nitrogênio e baixos valores de relação C/N, quando comparada a outras espécies florestais, o que ocasiona altas taxas de decomposição. Isso proporciona rápida ciclagem de nutrientes e o acúmulo de uma camada pouco espessa de serapilheira sobre o solo (Figura 1), especialmente porque a espécie também apresenta baixo aporte de resíduos vegetais, o que exerce influência no suprimento da sua demanda de nutrientes e no armazenamento de COS.

Figura 1: Serapilheira acumulada no plantio de *Pterogyne nitens* em campo experimental da UESB, no campus de Vitória da Conquista.



Fonte: Monroe (2022).

O COS tem influência em praticamente todos os processos edáficos, da agregação ao suprimento de nutrientes para as plantas (Bayer; Mielniczuk, 2008). Por essa razão, tem sido frequentemente empregado na avaliação do estado de conservação e sustentabilidade de ecossistemas florestais, especialmente em regiões tropicais, onde geralmente são encontrados solos com condições químicas restritivas e baixa atividade da fração mineral (Zinn; Resck; Silva, 2002; Barreto; Gama-Rodrigues, E. F.; Gama-Rodrigues, A. C., 2014; Batista *et al.*, 2018).

Diante do exposto, este capítulo propõe caracterizar a dinâmica de deposição e acúmulo de serapilheira e o potencial de sequestro de carbono no sistema serapilheira-solo em plantio homogêneo de *Pterogyne nitens*. Para isso, dados experimentais de trabalhos realizados no Sudoeste da Bahia que compararam *Pterogyne nitens* com floresta nativa e *Eucalyptus urophylla* foram reunidos na construção deste estudo de caso.

2 Serapilheira

2.1 Aporte

Por definição, entende-se como aporte de serapilheira a deposição de resíduos vegetais numa determinada área dentro de determinado espaço de tempo. O método de estimativa do aporte de serapilheira utiliza coletores distribuídos sobre o solo e pode ser definido pela seguinte equação:

$$\text{Serapilheira aportada} = \frac{(PS \cdot 10000)}{AC}$$

em que: serapilheira aportada = produção média anual de serapilheira ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); PS = produção média mensal de serapilheira ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$); 10.000 = um hectare expresso em m^2 ; e AC = área do coletor (m^2).

O aporte de serapilheira da *Pterogyne nitens* é normalmente menor do que a quantidade aportada por espécies florestais mais utilizadas no Brasil, como, por exemplo, o eucalipto. Santos Neto *et al.* (2015), avaliando plantios florestais homogêneos no Sudoeste da Bahia, observaram que, aos 6 anos de idade, a *Pterogyne nitens* apresentou produção mensal média de serapilheira de 177,5 kg ha⁻¹ mês⁻¹, o que representa um terço da produção observada em áreas de floresta nativa e eucalipto adjacentes ao plantio (Tabela 1). Isso demonstra que a espécie apresenta baixo potencial de adição de materiais formadores de serapilheira. Por outro lado, os valores de produção da *Pterogyne nitens* são próximos aos observados em plantio de *Luehea grandiflora* Mart. (açoita cavalo), em consórcio com outras espécies arbóreas, que apresentou média de 199,8 kg ha⁻¹ mês⁻¹ (Duarte, 2007).

O baixo aporte de serapilheira da *Pterogyne nitens* pode ser atribuído a características intrínsecas à espécie ou de estrutura do povoamento, como árvores de baixo porte (máximo de 10 metros de altura) e dossel aberto. De acordo com Vidal *et al.* (2007), o porte das árvores e o consequente tamanho do dossel constituem aspectos mais determinantes na produção mensal de serapilheira do que a abundância de espécies.

Considerando-se a produção mensal individual das frações da serapilheira observada por Santos Neto *et al.* (2015), em comparação com eucalipto e floresta nativa, nota-se que a *Pterogyne nitens* apresenta aporte inferior para todas as frações, exceto para a casca (Tabela 1), que representou 1,5% da produção total de serapilheira. Tal participação foi semelhante à da floresta nativa (2,2%), o que é indicativo de similaridade entre espécies nativas quanto à produção desse componente.

Tabela 1: Produção mensal média de serapilheira em pesquisa realizada por um período de dez meses em plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla*, com 6 e 5 anos de idade, respectivamente, e Floresta Estacional Semidecidual Montana (floresta nativa).

Povoamentos	Frações da Serapilheira (kg ha ⁻¹ mês ⁻¹)			
	Folhas	Cascas	ER(1)	Total
<i>Pterogyne nitens</i>	114,97 Ca	2,61 Bc	6,91 Cc	177,48 B
Floresta nativa	380,08 Aa(2)	12,15 Bc	22,50 Bc	544,63 A
<i>Eucalyptus urophylla</i>	309,46 Ba	33,93 Ac	48,20 Ac	522,58 A

(1)ER: materiais reprodutivos; (2) Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste t de Student.

Fonte: Santos Neto *et al.* (2015).

As folhas constituem maior proporção da serapilheira aportada, tanto para a *Pterogyne nitens* quanto para a floresta nativa e o eucalipto, correspondendo, em média, a 65% da produção total (Tabela 1). Diversos estudos em florestas naturais e plantadas também constataram que a folha constitui o principal componente do material aportado sobre o solo (Schumacher *et al.*, 2004; Andrade *et al.*, 2008; Carvalho *et al.*, 2019; Barreto-Garcia *et al.*, 2019a).

Após a fração foliar, a participação média das outras frações ocorreu na ordem: galhos (26,2 %) > materiais reprodutivos (5,7 %) > cascas (3,4 %). Esse mesmo padrão de distribuição foi verificado em florestas naturais como Cerradão (Silva *et al.*, 2007), Caatinga (Andrade *et al.*, 2008) e Mata Atlântica (Pinto *et al.*, 2008).

2.2 Acúmulo

Entende-se como acúmulo de serapilheira todos os resíduos vegetais acumulados na superfície do solo. O método de determinação da serapilheira acumulada consiste na utilização de gabaritos (geralmente 25 cm × 25 cm), lançados aleatoriamente na área, com a coleta de todo o material de origem vegetal sobre o solo na área do coletor. Proporcionalmente, utiliza-se a massa contida nessa área para extrapolação por hectare, seguindo a seguinte equação:

$$\text{Serapilheira acumulada} = \frac{(\text{QS} \cdot 10000)}{\text{AC}}$$

em que: serapilheira acumulada = quantidade total de serapilheira acumulada sobre o solo (kg ha⁻¹); QS = massa seca da serapilheira contida no gabarito (g); 10.000 = um hectare expresso em m²; AC = área do coletor (m²).

Nas mesmas áreas de pesquisa de Santos Neto *et al.* (2015) e nas mesmas condições experimentais, Barbosa *et al.* (2017) avaliaram o acúmulo de serapilheira sobre o solo, constatando menores resultados no plantio de *Pterogyne nitens* (Tabela 2). Assim, o acúmulo convergiu para o mesmo padrão do aporte de serapilheira (Tabela 1). O reduzido acúmulo no plantio de *P. nitens* pode ser atribuído ao seu menor aporte mensal (Tabela 1) ou, ainda, conforme relatado por Barbosa *et al.* (2017), à melhor qualidade da sua serapilheira, expressa por maiores teores de nitrogênio e menores relações C/N (embora esses valores sejam estatisticamente similares aos da floresta nativa, conforme Tabela 2), que estariam conferindo ao material uma menor resistência à ação dos organismos decompositores. De acordo com Swift, Heal e Anderson (1979), dentro de uma mesma região climática, a qualidade do substrato é o fator determinante de variações nas taxas de decomposição.

Tabela 2: Valores médios de biomassa, teores de nitrogênio e relação C/N das frações da serapilheira de plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla*, com 6 e 5 anos de idade, respectivamente, e Floresta Estacional Semidecidual Montana (floresta nativa).

Povoamentos	Folhas	Galhos	Cascas	ER (1)	MA	Total
Biomassa (Mg ha ⁻¹)						
<i>Pterogyne nitens</i>	0,46 c	1,00 b	0,01 c	0,02 c	0,02 b	1,49 c
Floresta nativa	2,52 b	2,76 a	0,64 a	0,22 b	0,11 a	6,24 b
<i>Eucalyptus urophylla</i>	8,44 a	3,54 a	0,25 b	0,65 a	0,19 a	13,07 a
Nitrogênio (%)						
<i>Pterogyne nitens</i>	2,2 a	0,8 a	0,2 b	1,3 a	0,7 ab	
Floresta nativa	1,9 a	1,0 a	1,3 a	1,4 a	1,1 a	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	0,9 b	0,2 b	0,4 b	0,6 b	0,5 b	
Relação C/N						
<i>Pterogyne nitens</i>	20,0 b	53,0 b	95,0 a	21,9 b	61,4 a	34,8 b
Floresta nativa	23,3 b	41,9 b	32,7 b	32,6 b	34,8 b	30,7 b
<i>Eucalyptus urophylla</i>	49,3 a	266,5 a	124,9 a	71,0 a	45,0 b	66,7 a

(1) ER- Estruturas Reprodutivas; MA – Material amorfo. Valores apresentados são provenientes da média de quatro repetições. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de significância.

Fonte: Barbosa *et al.* (2017).

Apesar de as folhas constituírem a fração predominante no aporte de serapilheira (Tabela 1), conforme reportado por Santos Neto *et al.* (2015), os resultados de Barbosa *et al.* (2017) mostraram que os galhos constituem a fração preponderante na serapilheira acumulada total da *Pterogyne nitens* (Tabela 2). É provável que essa menor participação das folhas na composição da serapilheira estocada sobre o solo (30,7%) tenha relação com a sua constituição química, já discutida, que estaria reduzindo o tempo de residência da fração foliar e aumentando o tempo de permanência dos galhos, que constituem materiais mais recalcitrantes, com elevado teor de lignina e alta resistência à decomposição.

2.3 Decomposição

O estudo da decomposição da serapilheira foliar com o uso de *litterbags* em plantios florestais no Sudoeste da Bahia, realizado por Pinto *et al.* (2016), mostrou que a taxa de decomposição da *Pterogyne nitens* é superior às taxas de floresta nativa e de *Eucalyptus urophylla*. Esse resultado é uma constatação de que o acúmulo de serapilheira é regulado não apenas pela quantidade de material decíduo aportado sobre o piso florestal, mas também por sua taxa de decomposição. Ao final de seis meses de experimento, a massa residual da *Pterogyne nitens* (Tabela 3) representava apenas 46% da inicial, enquanto que as coberturas de referência apresentavam massas remanescentes de 68% (floresta nativa) e 74% (eucalipto).

Tabela 3: Percentual de massa remanescente da serapilheira foliar de plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla*, com 6 e 5 anos de idade, e de Floresta Estacional Semidecidual Montana (floresta nativa)

Dias(1)	Povoamentos		
	<i>Pterogyne nitens</i>	Floresta nativa	<i>Eucalyptus urophylla</i>
0	100,00 a	100,00 a	100,00 a
30	88,32 a	85,22 b	86,04 b
60	78,93 a	81,32 a	79,38 a
90	52,36 b	74,91 a	76,03 a
120	62,20 a	78,58 a	80,76 a
150	32,73 b	79,71 a	75,00 a
180	46,25 b	67,77 a	73,56 a

(1)Dias= número de dias após a instalação dos litterbags; Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

Fonte: Pinto *et al.* (2016).

Tendo em vista que a decomposição da serapilheira é influenciada pela característica do material formador da serapilheira, a maior taxa de decomposição da *P. nitens* pode ser atribuída à melhor qualidade do seu material foliar. Nesse sentido, Pinto *et al.* (2016) verificaram que as menores relações C:N, CEL:N e POL+CEL:N e o maior conteúdo de N (Tabela 4) desse material estariam favorecendo a atividade dos organismos decompositores. Fernandes *et al.* (2006) verificaram padrão semelhante do sabiá, também pertencente à família Fabaceae, em relação ao da floresta nativa, comprovando o favorecimento da decomposição pelo maior conteúdo de nitrogênio na serapilheira.

Tabela 4: Caracterização da composição inicial da serapilheira foliar de plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla*, com 6 e 5 anos de idade, e de Floresta Estacional Semidecidual Montana (floresta nativa)

Atributos	Povoamentos		
	<i>Pterogyne nitens</i>	Floresta nativa	<i>Eucalyptus urophylla</i>
C (g kg ⁻¹) (1)	492,80 a(1)	480,67 a	519,73 a
N (g kg ⁻¹)	29,12 a	17,87 b	15,69 b
POL(g kg ⁻¹)	31,30 b	17,71 c	45,07 a
CEL (g kg ⁻¹)	140,07 b	178,93 a	140,00 b
LIG (g kg ⁻¹)	301,73 a	171,60 c	221,87 b
C:N	16,92 c	26,90 b	33,12 a
POL:N	1,07 b	0,99 b	2,87 a
CEL:N	4,81 b	10,01 a	8,92 a
LIG:N	10,36 b	9,60 b	14,14 a
POL+CEL:N	5,88 b	11,00 a	11,80 a
POL+LIG:N	11,44 b	10,59 b	17,07 a

(1)C = carbono orgânico; N = nitrogênio total; POL = polifenóis; CEL = celulose; LIG = lignina; C:N = relação carbono/nitrogênio; POL:N = relação polifenóis/N; CEL:N = relação celulose/N; LIG:N = relação lignina/N; POL+CEL/N = relação celulose+polifenóis/N; POL+LIG:N = relação lignina+polifenóis/N; Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

Fonte: Pinto *et al.* (2016).

Além disso, a atuação da comunidade de organismos decompositores no povoamento de *Pterogyne nitens* também pode ter sido favorecida pela maior fertilidade do solo da área de plantio, que apresenta maiores valores de pH, teor de P e saturação por bases (cerca de 60% superior em relação ao solo das demais áreas estudadas) (Tabela 5). Staaf (1987) destaca o fato de que as propriedades físico-químicas do solo influenciam as taxas de decomposição, já que afetam a atividade dos organismos envolvidos no processo.

Tabela 5: Caracterização química e composição granulométrica dos solos (profundidade 0-5 cm) em plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla*, com 6 e 5 anos de idade, e em Floresta Estacional Semidecidual Montana (floresta nativa)

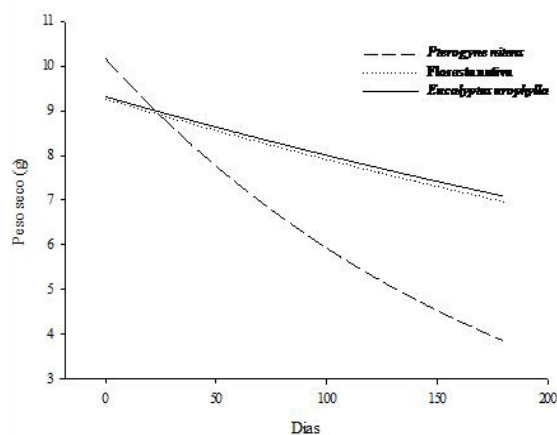
Povoamentos	pH(1)	P	H+Al	K	Ca	Mg
		mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³			
<i>Pterogyne nitens</i>	5,6	1,3	2,6	0,20	1,13	1,00
Floresta nativa	4,3	2,0	10,1	0,12	1,20	0,78
<i>Eucalyptus urophylla</i>	4,8	2,0	5,8	0,08	0,63	0,58
Povoamentos	MO	V	m	Argila	Areia	Silte
	g dm ⁻³	%		g kg ⁻¹		
<i>Pterogyne nitens</i>	16,3	46,9	13,0	380	608	12
Floresta nativa	46,0	16,3	43,8	450	540	10
<i>Eucalyptus urophylla</i>	26,3	18,1	41,1	490	500	10

(1) Análises realizadas de acordo com a EMBRAPA (1979): pH (água); P e K extraíveis por Mehlich-1; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1 mol.L⁻¹ e matéria orgânica (MO) por oxidação com Na₂Cr₂O₇ 4 N. Para cada cobertura florestal, foram utilizadas quatro amostras, compostas por 20 amostras simples, coletadas das mesmas parcelas utilizadas para a coleta de serapilheira.

Fonte: Santos Neto *et al.* (2015).

De acordo com Pinto *et al.* (2016), as curvas e constantes de decomposição (k) obtidas a partir do ajuste do modelo exponencial negativo (Figura 2 e Tabela 6) demonstram um padrão de perda de massa da *Pterogyne nitens* diferenciado do padrão da floresta nativa e do *Eucalyptus urophylla*, numa maior inclinação da curva, o que indica uma aceleração maior do processo de decomposição das folhas que o dos demais povoamentos estudados.

Figura 2: Curvas de decomposição da fração foliar da serapilheira de plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla* e da floresta nativa ajustadas ao modelo exponencial simples para a obtenção da constante k.



Fonte: Pinto *et al.* (2016).

A constante de decomposição (k) da serapilheira foliar da *Pterogyne nitens* foi superior ($0,0054 \text{ g g}^{-1}\text{dia}$) à da floresta nativa ($0,0016 \text{ g g}^{-1}\text{dia}$) e do *Eucalyptus urophylla* ($0,0015 \text{ g g}^{-1}\text{dia}$). O tempo médio para que ocorra decomposição de 50% da serapilheira da *Pterogyne nitens* ($t_{1/2}$) foi estimado em 128,36 dias, enquanto a floresta nativa e o *Eucalyptus urophylla* apresentaram valores superiores a 430 dias. A maior taxa de decomposição das folhas da *Pterogyne nitens* bem como o seu menor tempo médio de residência são próximos dos encontrados para folíolos de *Pseudosamanea guachapele* Harms por Balieiro *et al.* (2004): $k = 0,0047 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}$ e $t_{1/2} = 147$ dias.

Tabela 6: Constantes de decomposição da fração foliar da serapilheira de plantios homogêneos de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla*, com 6 e 5 anos de idade, e Floresta Estacional Semidecidual Montana (floresta nativa) obtidas do ajuste de modelo exponencial.

Parâmetros	Povoamentos		
	<i>Pterogyne nitens</i>	Floresta nativa	<i>Eucalyptus urophylla</i>
P0(1) (g)	10,00	9,96	10,01
r ²	0,94*	0,84*	0,86*
EPE	0,64	0,57	0,52
k ($\text{g.g}^{-1}\text{dia}$)	0,0054	0,0016	0,0015

(1)P0 = massa inicial; k = constante da decomposição; r^2 = coeficiente de determinação do ajuste para a estimativa do k ; EPE = Erro padrão da estimativa de k ; $t_{1/2}$ = tempo de meia-vida do folheto; * $p < 0,0001$.

Fonte: Pinto *et al.* (2016).

Os dados apresentados no tópico 2, referentes ao aporte, acúmulo e decomposição da serapilheira de *Pterogyne nitens*, constituem fortes evidências de uma dinâmica de serapilheira diferenciada daquela da floresta nativa e do eucalipto. Características intrínsecas à *Pterogyne nitens*, especificamente sobre a qualidade dos resíduos vegetais adicionados ao solo, conferem um rápido *turnover*, o que pode promover o aumento da fertilidade do solo. Por outro lado, a ciclagem acelerada dos resíduos vegetais pode desfavorecer o acúmulo de matéria orgânica no solo, reduzindo a sua proteção. Assim, no tópico 3, será abordada a influência da serapilheira adicionada pela *Pterogyne nitens* no estoque de carbono do solo até 40 cm de profundidade, comparativamente aos sistemas de referência: floresta nativa e plantio de *Eucalyptus urophylla*.

3 Carbono no sistema serapilheira-solo

O carbono orgânico tem grande contribuição para a fertilidade do solo, atuando diretamente sobre as suas propriedades, uma vez que constitui fonte de energia para a biomassa microbiana (Santos *et al.*, 2019), participa do armazenamento e ciclagem de nutrientes e está ligado à disponibilidade de água para as plantas, infiltração, formação de agregados e densidade do solo, além de influenciar a capacidade de troca de cátions (Reeves, 1997; Longo; Espíndola, 2000; Bayer; Mielniczuk, 2008). Nesse sentido, os sistemas florestais em geral, nativos ou plantados, podem melhorar e conservar a qualidade do solo, já que proporcionam aporte contínuo de material senescente, o que favorece o acúmulo de matéria orgânica e, consequentemente, de C orgânico no solo.

3.1 Serapilheira

A serapilheira constitui a principal via de retorno de carbono orgânico para o solo. Barreto-Garcia *et al.* (2019b), realizando um inventário do carbono orgânico do sistema planta–serapilheira–solo em plantio de *Pterogyne nitens*, com 6 anos de idade – o mesmo plantio estudado por Santos Neto *et al.* (2015), Pinto *et al.* (2016) e Barbosa *et al.* (2017), conforme citado anteriormente –, observaram que a biomassa seca da serapilheira acumulada sobre o solo apresentou teor de carbono de 42%, o que correspondeu a 0,7 Mg de C ha⁻¹ (Tabela 7). Esse teor é superior ao indicado pelo IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2006), que sugere 37% para a serapilheira. No entanto, é inferior ao observado por Torres *et al.* (2013) em Floresta Estacional Semidecidual em Minas Gerais (52%) e se aproxima dos valores observados por Higuchi e Carvalho Júnior (1994) em Floresta Tropical na Região Amazônica (39%) e Morais *et al.* (2017) em vegetação de Cerrado no Estado de Minas Gerais (44%).

A quantidade de C acumulada na serapilheira da *Pterogyne nitens* (Tabela 7) aproximou-se da quantidade encontrada por Gama-Rodrigues *et al.* (2008) em plantio homogêneo de claraíba (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab.), com 22 anos de idade, no Sudoeste da Bahia, (1,4 Mg de C ha⁻¹). No entanto, valores superiores são relatados em outros estudos, como os de Watzlawick *et al.* (2002), em Floresta Ombrófila Mista Montana, no Paraná (2,90 Mg ha⁻¹), e de Schneider *et al.* (2005), em povoamento de *Acacia mearnsii*, com 4 anos de idade, no Rio Grande do Sul (2,26 Mg ha⁻¹).

Tabela 7: Teores e quantidades de carbono orgânico dos componentes da serapilheira acumulada em plantio homogêneo de *Pterogyne nitens*, aos 6 anos de idade

Componente	Carbono		% do total de Carbono(1)
	%	Mg ha ⁻¹	
Folhas	45,94 (1,04)	0,242	37,17
Galhos	44,99 (1,25)	0,392	60,22
Cascas	43,48 (1,09)	0,003	0,46
ER	42,91 (1,18)	0,004	0,61

(1)% do carbono total = proporção do total de carbono fixado na biomassa da serapilheira; ER = estruturas reprodutivas; MA = material amorfo. Valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=20).

Fonte: Barreto-Garcia *et al.* (2019b).

Assim como a biomassa seca (Tabela 2), os galhos foram o componente com maior quantidade de C fixado por hectare, representando cerca de 60% do carbono estocado na serapilheira (Tabela 7). Apesar disso, os teores de C desse componente (45%) foram semelhantes aos encontrados nas folhas (46%), que contribuíram com 37% do C da serapilheira. Os demais componentes apresentaram pequena participação na composição total de C: cascas (0,5%), estruturas reprodutivas (0,6 %) e material amorfo (1,5 %).

3.2 Solo

Ainda de acordo com os resultados de Barreto-Garcia *et al.* (2019b), a quantidade de C estocada no solo sob *Pterogyne nitens* (até 40 cm de profundidade) foi de 31,4 Mg ha⁻¹, cerca de 56% inferior ao solo sob floresta nativa e plantio de eucalipto, que apresentaram estoques de 75,3 e 62,8 Mg de C ha⁻¹, respectivamente (Tabela 8). Resultados ainda maiores foram encontrados por Balbinot *et al.* (2003), em solos sob plantio de *Pinus taeda*, com 5 anos de idade (148 Mg ha⁻¹). No entanto, Caldeira *et al.* (2003) observaram acúmulo correspondente a apenas 19,7 Mg de C ha⁻¹ na mesma profundidade de solo sob plantio de *Acacia mearnsii*, com 6 anos de idade, no Rio Grande do Sul.

Tabela 8: Teores (g kg⁻¹) e estoques de C orgânico (Mg ha⁻¹) nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de solo sob plantios homogêneos de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla*, com 6 e 5 anos de idade, e Floresta Estacional Semidecidual Montana (floresta nativa).

Profundidade cm	Ds		Carbono		% do total de Carbono(1)
	kg dm ⁻³	gkg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹ cm ⁻¹	
<i>Pterogyne nitens</i>					
0-5	1,11 (0,01)	10,40 (1,37)	5,77 (0,69)	1,04 (0,14)	17,22
5-10	1,00 (0,04)	8,81 (1,21)	4,41 (0,61)	0,88 (0,12)	14,57
10-20	1,06 (0,04)	8,29 (0,14)	8,79 (0,14)	0,83 (0,01)	27,46
20-40	1,01 (0,04)	6,15 (1,38)	12,42 (1,1)	0,62 (0,14)	40,74
Total			31,39		100,00
Profundidade cm	Ds		Carbono		% do total de Carbono(1)
	kg dm ⁻³	gkg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹ cm ⁻¹	
Floresta nativa					
0-5	1,34 (0,03)	35,92 (1,45)	17,96 (1,73)	3,59 (0,35)	23,86
5-10	1,39 (0,03)	23,50 (0,22)	11,75 (0,11)	2,35 (0,02)	15,61
10-20	1,36 (0,08)	18,10 (0,86)	18,10 (0,86)	1,81 (0,09)	24,05
20-40	1,42 (0,03)	13,73 (0,74)	27,45 (1,48)	1,37 (0,07)	36,48
Total			75,26		100,00
<i>Eucalyptus urophylla</i>					
0-5	1,39 (0,08)	21,08 (0,77)	10,54 (0,38)	2,11 (0,08)	16,77
5-10	1,40 (0,03)	19,58 (1,27)	9,79 (0,64)	1,96 (0,13)	15,59
10-20	1,49 (0,05)	17,71 (1,42)	17,71 (1,43)	1,77 (0,14)	28,19
20-40	1,47 (0,02)	12,39 (0,72)	24,79 (1,43)	1,24 (0,07)	39,45
Total			62,83		100,00

(1) % do carbono total = proporção do total de carbono fixado na profundidade 0-40 cm do solo;

Ds = densidade do solo; valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=4).

Fonte: Barreto-Garcia *et al.* (2019b) – adaptado.

Variações entre povoamentos florestais quanto à capacidade de estocar carbono no solo podem ser atribuídas a diferenças na quantidade e qualidade da serapilheira aportada no solo ao longo dos anos, bem como ao turnover de raízes. Dessa forma, o estoque de 10,2 Mg de C ha⁻¹, verificado na camada de 0-10 cm do solo sob *Pterogyne nitens* (Tabela 8), seria consequência de um menor aporte mensal de serapilheira (Tabela 1) e de uma alta taxa de decomposição (Tabela 6),

que ocasionam um menor acúmulo de serapilheira (Tabela 2). No geral, em solos com composição granulométrica semelhante, uma serapilheira mais facilmente decomponível resulta em menor acúmulo de C no solo, quando comparada a uma serapilheira mais recalcitrante, composta de substâncias mais resistentes à decomposição (Gama-Rodrigues; Barros; Mendonça, 1999).

Na maioria dos plantios florestais e, especificamente, no plantio de *Pterogyne nitens*, o estoque de C no solo é maior nas camadas superficiais e menor, progressivamente, nas mais profundas (Tabela 8). Ao somar os acúmulos de carbono (Mg ha^{-1}) das três primeiras camadas do solo, nota-se que a camada 0-20 cm armazena cerca de 60% do total estocado no perfil de 40 cm (Tabela 8), o que denota a forte influência da *Pterogyne nitens* sobre a distribuição de C no solo. Balbinot *et al.* (2003), avaliando os estoques de carbono a 100 cm de profundidade de solo sob plantio de *Pinus taeda*, observaram que 37% do carbono estava acumulado na camada 0-20 cm.

Também foi possível observar um nível de fertilidade superior na camada superficial do solo (0-5 cm), que diminui com a profundidade (Tabela 5). Essa distribuição corrobora os resultados discutidos anteriormente, demonstrando a importante contribuição da *Pterogyne nitens* para a melhoria das características do solo, dada a contínua deposição de resíduos orgânicos, que, embora apresentem baixo estoque de C comparados aos da floresta nativa e do *Eucalyptus urophylla*, favorecem a ciclagem de nutrientes nas camadas mais superficiais. Resultados semelhantes foram encontrados por Neves *et al.* (2004), Grimm *et al.* (2008), Qiji *et al.* (2008) e Neumann-Cosel *et al.* (2011). De acordo com Gama-Rodrigues *et al.* (2008), é comum verificar o aumento da soma de bases nas camadas superficiais do solo em plantios de leguminosas arbóreas, logo no início da estabilização do cultivo.

4 Considerações finais

O aporte e acúmulo de serapilheira da *Pterogyne nitens* em plantio homogêneo situa-se em uma posição inferior ao da floresta nativa e do povoamento de *Eucalyptus urophylla*. Embora as folhas constituam a fração que mais contribui para a composição da serapilheira aportada, os galhos são a fração predominante na serapilheira acumulada.

Os reduzidos acúmulos de serapilheira com predominância de galhos são reflexo da rápida decomposição de uma serapilheira mais facilmente decomponível, evidenciada por seus maiores conteúdos de N e menores relações C:N, CEL:N e POL+CEL:N. Essa rápida decomposição proporciona à espécie menor potencial de acúmulo de carbono no solo. Até a profundidade de 40 cm, o C estocado no sistema serapilheira-solo do plantio de *Pterogyne nitens* totalizou $32,1 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto a floresta nativa e o eucalipto propiciaram estoques superiores a 62 Mg ha^{-1} .

Por outro lado, a melhor qualidade dos resíduos vegetais da *Pterogyne nitens* expressa uma maior capacidade de reciclar matéria orgânica e nutrientes e, com isso, melhorar os indicadores de fertilidade do solo. Os resultados apresentados e discutidos neste capítulo revelam, portanto, o potencial de utilização da *Pterogyne nitens* em programas de recomposição ou recuperação de áreas degradadas, como estratégia para estimular a ciclagem de nutrientes e melhorar a qualidade do solo.

Referências

- ANDIVIA, E.; FERNÁNDEZ, M.; VÁZQUEZ-PIQUÉ, J.; GONZÁLEZ-PÉREZ, A.; TAPIAS, R. Nutrients return from leaves and litterfall in a Mediterranean Cork Oak (*Quercus Suber* L.) forest in Southwestern Spain. *European Journal of Forest Research*, Berlin, v. 129, n. 1, p. 5-12, 2010.
- ANDRADE R. L.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; BEZERRA, D. M. Deposição de serrapilheira em área de Caatinga na RPPN Fazenda Tamanduá, Santa Terezinha – PB. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 223-230, 2008.
- BALBINOT, R.; SHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 59-68, 2003.
- BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; PEREIRA, M. G.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M.; ALVES, B. J. R. Dinâmica da serrapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 6, p. 597-601, 2004.
- BARBOSA, V. A.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; PAULA, A. Biomassa, carbono e nitrogênio na serrapilheira acumulada de florestas plantadas e nativa. *Floresta e Ambiente*, v. 24, n. 1, p. 1-9, 2017.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Carbono das frações da matéria orgânica em solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, p. 571-580, 2014.
- BARRETO-GARCIA, P. A. B.; OLIVEIRA, M. F.; OLIVEIRA, F. G. R.; LACERDA, L. R. L. Edge Effect on the Litter Production of a Semi-Deciduous Seasonal Forest Fragment. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 26, n. 4, e20171032, 2019a.
- BARRETO-GARCIA, P. A. B.; MATOS, P. S.; SANQUETTA, C. R.; MONROE, P. H. M. Inventory of Organic Carbon in a *Pterogyne nitens* Tul. plantation in Southwest Bahia, Brazil. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 26, n. 4, e20160426, 2019b.
- BATISTA, S. G. M.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; PAULA, A.; MIGUEL, D. L.; BATISTA, W. C. A. Oxidizable fractions of soil organic carbon in Caatinga forest submitted to different forest managements. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 48, n. 10, e20170708, 2018.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. de O. (ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Cap. 2, p. 7-18.
- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BARICHELO, L. R.; VOGEL, H. L. M. Determinação de carbono orgânico em povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild. plantados no Rio Grande do Sul. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 47-54, 2003.

- CARVALHO, F. F.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; ARAGÃO, M. A.; VIRGENS, A. P. Litterfall and litter decomposition in Pinus and native forests. *Floresta e Ambiente, Seropédica*, v. 26, n. 3, e20170165, 2019.
- COSTA, C. C. A.; CAMACHO, R. G. V.; MACEDO, I. D.; SILVA, P. C. M. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na FLONA de Açú-RN. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 259-265, 2010.
- COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CUNHA, G. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamento de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 563-570, 2005.
- COSTA, M. G.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Leguminosas arbóreas para recuperação de áreas degradadas com pastagem em Conceição de Macabu, Rio de Janeiro, Brasil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, n. 1, p. 101-112, 2014.
- DUARTE, E. M. G. *Ciclagem de nutrientes por árvores em Sistemas Agroflorestais na Mata Atlântica*. 2007. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- FERNANDES, M. M.; PEREIRA, M. G.; MAGALHÃES, L. M. S.; CRUZ, A. R.; GIÁCOMO, R. G. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na Flona Mário Xavier, RJ. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 2, p.163-175, 2006.
- GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S. Alterações edáficas sob plantios puros e misto de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 581-592, 1999.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 1521-1530, 2008.
- GODINHO, T. O.; CALDEIRA, M. V. W.; CALIMAN, J. P.; PREZOTTI, L. C.; WATZLAWICK, L. F.; AZEVEDO, H. C. A.; ROCHA, J. H. T. Biomassa, macronutrientes e carbono orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 131-144, 2013.
- GRIMM, R.; BEHRENSB, T.; MÄRKERA, M.; ELSENBEER, H. Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island-digital soil mapping using random forest analysis. *Geoderma, Wageningen*, v. 146, p. 102-113, 2008.
- HAAG, H. P. A nutrição mineral e o ecossistema. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. *Ecofisiologia da produção agrícola*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1987. p. 49-52.
- HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO “EMIÇÃO X SEQUESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL”, 2., 1994. Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 127-153.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: agriculture, forestry and other land use*. Japan: IGES, 2006. v. 4.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência na introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de cerrado e floresta Amazônica. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 723-729, 2000.

MOMOLLI, D. R.; SCHUMACHER, M. V.; DICK, G.; VIERA, M.; SOUZA, H. P. Decomposição da serapilheira foliar e liberação de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* no Bioma Pampa. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 46, n. 118, p. 199-208, 2018.

MORAIS, V. A.; SANTOS, C. A.; MELLO, J. M.; DADID, H. C.; ARAÚJO, E. J. G.; SCOLFORO, J. R. S. Spatial and vertical distribution of litter and belowground carbon in a brazilian Cerrado vegetation. *Cerne*, Lavras, v. 23, n. 1, p. 43-52, 2017.

MOREIRA, F. M.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: Editora UFLA, 2002.

NEUMANN-COSEL, L.; ZIMMERMANN, B.; HALL, J. S.; BREUGEL, M. V.; ELSENBEEER, H. Soil carbon dynamics under youngtropical secondary forests on former pastures: a case study from Panama. *Forest Ecology and Management*, Arizona, v. 261, p. 1625-1633, 2011.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região Noroeste do estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, 2004.

PEGADO, C. M. A.; BARBOSA, L. J. N.; MENDES, J. E. M. F.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S. Decomposição superficial e subsuperficial de folhas de fava (*Phaseolus lunatus* L.) na região do Brejo da Paraíba, Brasil. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 218-223, 2008.

PINTO, H. C. A.; BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, F. G. R. B.; PAULA, A.; AMARAL, A. R. Decomposição da serapilheira foliar de floresta nativa e plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla* no Sudoeste da Bahia. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1141-1153, 2016.

PINTO, S. I. C.; MARTINS, S. V.; BARROS, N. F.; DIAS, H. C. T. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual na Reserva Mata do Paraíso, em Viçosa, MG. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 545-556, 2008.

QIJI, W.; SHIXIONG, L.; ZENGCHUN, J.; WENYING, W. Response of carbon and nitrogen content in plants and soilsto vegetation cover change in alpine *Kobresia meadow* of the source region of Lantsang, Yellow and Yangtze Rivers. *Acta Ecologica Sinica*, Beijing, v. 28, n. 3, p. 885-894, 2008.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuos cropping systems. *Soil Tillage Research*, Amsterdam, v. 43, p. 131-167, 1997.

SANTOS NETO, A. P.; BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; NOVAES, A. B.; PAULA, A. Produção de serapilheira em Floresta Estacional Semidecidual e em plantios de *Pterogyne nitens* Tul. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Sudoeste da Bahia. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 631-641, 2015.

- SANTOS, M. O. D.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Soil Microbial Biomass as an Edge Effect Indicator in Semi-Deciduous Seasonal Forest Fragments. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 26, n. 4, e20171037, 2019.
- SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; SOBRINHO, V. G.; SCHNEIDER, P. S. P. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de Acácia-Negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 391-402, 2005.
- SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; RODRIGUES, L. M.; SANTOS, E. M. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 791-798, 2003.
- SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; HERNANDES, J. I.; KÖNIG, F. G. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 29-37, 2004.
- SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, G. H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. R. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 2, n. 2, p. 1-18, 2012.
- SILVA, C. J.; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Produção de serrapilheira no Cerrado e na floresta de transição Amazônia-Cerrado do Centro Oeste brasileiro. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 37, n. 4, p. 543-548, 2007.
- STAAF, H. Foliage litter turnover and earthworm populations in three beech forests of contrasting soil and vegetation types. *Oecologia*, Berlin, v. 72, p. 58-64, 1987.
- SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Oxford: Blackwell, 1979.
- TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA NETO, S. N.; SANTOS, R. D.; CASTRO NETO, F. Quantificação de Biomassa e Estocagem de Carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual, no parque tecnológico de Viçosa, MG. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 647-655, 2013.
- VIDAL, M. M.; PIVELLO, V. R.; MEIRELLES, S. T.; METZGER, J. P. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 521-532, 2007.
- WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHUMACHER, M. V. Fixação de carbono em floresta ombrófila mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R. et al. (ed.). *As florestas e o carbono*. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 153-173.
- ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. *Forest Ecology and Management*, Arizona, v. 166, p. 285-294, 2002.

Capítulo 7

Caracterização física, química e anatômica da madeira de *Pterogyne nitens* Tul.

Dalton Longue Júnior
Allana Katiussya Silva Pereira
Brunela Pollastrelli Rodrigues

1 Introdução

O setor florestal brasileiro vem apresentando momentos de intenso desenvolvimento nos últimos tempos. O avanço tecnológico ocorrido nas florestas e nos parques industriais de transformação da madeira, aliado ao crescimento populacional e à alta demanda de produtos de origem florestal, é o principal fator que impulsiona essa evolução. Essa tendência tem levado ao aumento da produção florestal com foco em alimentos, óleos essenciais, resinas, gomas e, principalmente, madeira. Esse material é largamente requisitado, pois abastece as indústrias de celulose e papel, energia (lenha e carvão vegetal), produtos sólidos de madeira (madeira serrada e produtos de madeira reconstituída), entre outros.

É muito importante que esse intenso desenvolvimento do setor seja acompanhado pelo aumento das áreas por florestas plantadas. Em 2021, a área de florestas plantadas no Brasil foi de 9,6 milhões de hectares, um crescimento ainda muito modesto para um país de dimensões continentais (IBÁ, 2022). Uma vez que o Brasil apresenta biomas característicos e condições de crescimento diferenciadas, observa-se a necessidade de identificar e estudar espécies alternativas para atender a essas especificidades edafoclimáticas.

Os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* ocupam a maior parte dessa área total florestada no país, com cerca de 96% dos plantios, devido ao fato de serem os mais estudados e adaptados às mais diferentes regiões do Brasil e seus produtos comercializados em todo o mundo. As demais espécies cultivadas em plantios homogêneos não superam 7% dessa área, sendo as principais espécies: acácia, araucária, teca, seringueira e paricá.

O estreitamento dessa biodiversidade, associado à grande dependência desses gêneros pelo setor florestal brasileiro, tem levado ao aumento da procura por madeiras alternativas em regiões de florestas naturais para o estabelecimento de plantios florestais com espécies alternativas. Mesmo para a utilização menos nobre dessas madeiras, como móveis de categorias inferiores, estacas de madeira, lenha ou até mesmo para produção de carvão vegetal e celulose e papel, torna-se válido um estudo detalhado das propriedades tecnológicas das madeiras com potencial produtivo em diferentes biomas.

A utilização de espécies nativas em plantios homogêneos como alternativa ao suprimento de madeira pode representar uma estratégia importante para o fornecimento de produtos florestais madeireiros em várias regiões do Brasil, inclusive no Sudoeste da Bahia, região de transição entre Mata Atlântica e Caatinga, que apresenta poucos materiais comerciais adaptados e nativos de alta produtividade.

A qualidade dos produtos manufaturados oriundos da madeira está associada à qualidade da matéria-prima utilizada e esta é dependente de um conjunto de características químicas, físicas, mecânicas e anatômicas, denominadas propriedades tecnológicas das madeiras. A análise adequada dessas propriedades forma parâmetros indicativos que auxiliam no mais correto emprego de madeiras de determinada espécie para finalidades diversas.

Nessa busca por madeiras de espécies alternativas que apresentem bom potencial produtivo e tecnológico, tem-se a espécie *Pterogyne nitens* (madeira-nova), pertencente à família Fabaceae, de ocorrência e bom crescimento na região Nordeste do Brasil. Apesar das poucas pesquisas e, consequentemente, da falta de informações sobre suas características tecnológicas, que podem estar limitando sua utilização como uma opção comercial, a madeira de *P. nitens* tem despertado interesse de pesquisadores.

2 Caracterização físico-química da madeira

As madeiras são materiais de composição química heterogênea e apresentam características tecnológicas que variam entre espécies e dentro da mesma árvore. Dentre essas, destacam-se as características químicas e físicas, que apresentam alta relação com as características anatômicas e mecânicas e influenciam no seu comportamento, bem como de seus produtos e derivados.

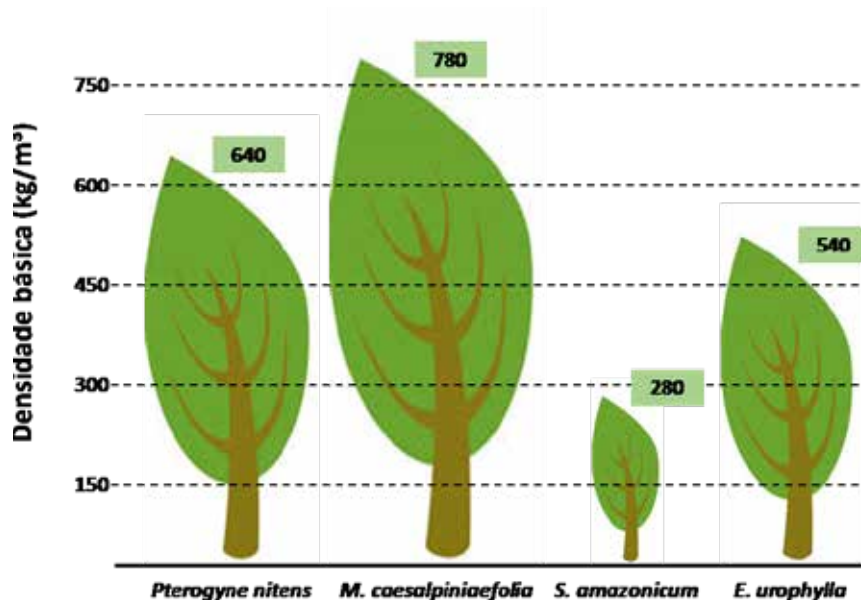
A densidade básica da madeira é uma propriedade física muito importante, por correlacionar-se com todas as suas demais propriedades. Além disso, devido ao fato de apresentar uma relação com a massa seca/volume saturado do material, auxilia bastante no melhor direcionamento para um determinado uso final da madeira.

A densidade básica da espécie *Pterogyne nitens* é de 641 kg.m^{-3} (Pereira *et al.*, 2019), o que a faz ser considerada uma madeira de média a alta densidade (Figura 1). Esse é um parâmetro de grande importância nas indústrias para a produção de polpa celulósica, pois exerce uma influência antagônica no consumo específico da madeira (m^3 de madeira/tonelada de celulose) e nas propriedades e qualidade da polpa. Madeiras muito densas, acima de 550 kg.m^{-3} , normalmente acarretam menores produções e fibras menos resistentes, por causa da necessidade de um cozimento mais drástico para a remoção da lignina da parede celular. Para a produção do carvão vegetal, madeiras mais densas acarretam maiores rendimentos e um produto de maior densidade, poder calorífico e friabilidade, características desejáveis para esse ramo industrial.

Comparada a outras espécies, a madeira de *Pterogyne nitens* apresenta densidade inferior à da espécie da Caatinga *Mimosa caesalpiniaefolia* (780 kg.m^{-3}), de acordo com Gonçalves, Lelis e Abreu (2010), e superior à densidade da espécie amazônica *Schizolobium amazonicum* (280 kg.m^{-3}), de

acordo com Vidaurre (2010). Quando comparada à madeira de um clone comercial de *Eucalyptus urophylla* (540 kg.m^{-3}), apresenta densidade básica superior, segundo Mokfienski (2004). Diante desses números, a madeira de *Pterogyne nitens* se apresenta como uma opção interessante de ser estudada, principalmente para ser empregada no setor de energia (lenha e carvão vegetal).

Figura 1: Densidade básica da *Pterogyne nitens* e comparação com outras espécies florestais.



Fonte: Longue Júnior (2022).

A composição química da madeira de *Pterogyne nitens* apresenta um teor médio de celulose de 41,9% (Pereira *et al.*, 2019) (Figura 2), superior aos 32,8% da espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* (Gonçalves; Lelis; Abreu, 2010) e inferior aos 50,7% da espécie *Schizolobium amazonicum* (Vidaurre, 2010). Ao compará-la com uma madeira de espécie comercial – *Eucalyptus urophylla* (50,9%) –, utilizada na produção de polpa celulósica no Brasil (Mokfienski, 2004), o valor se mostrou inferior, apresentando-se como uma opção menos atrativa para esse fim, já que o rendimento no processo de polpação está correlacionado positivamente com o teor de celulose na madeira. Entretanto, essa é uma informação que direciona a madeira para seu aproveitamento na produção de carvão vegetal, pois esse componente pode ser recuperado na fração de gases condensáveis e formar o licor pirolenhoso, que, quando recuperado, pode ser uma fonte importante de subprodutos do processo de carbonização da madeira.

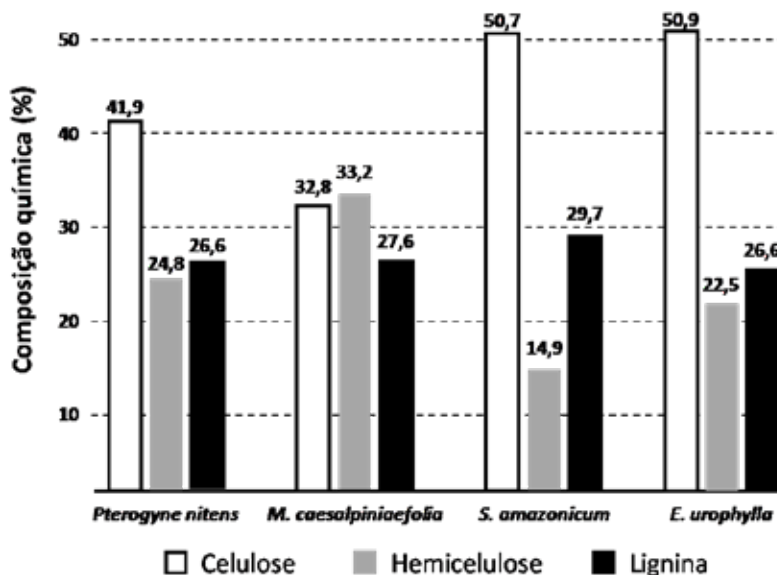
O teor de hemiceluloses da madeira está ligado tanto aos processos de polpação quanto à qualidade do produto final (papel). As hemiceluloses são muito hidrofílicas, em virtude de suas estruturas ramificadas e amorfas, o que facilita o inchamento pela absorção de água, quesito importante para algumas aplicações no setor papelero (Manfredi, 2010). Para o setor de carvão vegetal, as hemiceluloses não contribuem para o rendimento gravimétrico em carvão, mas podem ser reaproveitadas como subprodutos, juntamente com a celulose, com a recuperação do licor pirolenhoso.

O teor médio de hemiceluloses presente na madeira de *Pterogyne nitens* é de 24,7% (Pereira *et al.*, 2019) (Figura 2), inferior ao teor apresentado pela espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* (33,2%), de acordo com Gonçalves, Lelis e Abreu (2010), e superior ao teor de hemiceluloses da espécie *Schizolobium amazonicum* (14,9%), determinado por Vidaurre (2010). Quando comparada à madeira de uma espécie comercial de *Eucalyptus urophylla* (22,5%), estudada por Mokfienski (2004), percebe-se uma pequena diferença entre os teores totais de hemiceluloses.

Concorrendo com os carboidratos, as madeiras de espécies folhosas que crescem em climas tropicais tendem a produzir altas concentrações de lignina total. Esse é o caso das madeiras de eucalipto plantadas no Brasil, que possuem teores de lignina compreendidos entre 25 e 30% (Gomide; Colodette, 2007). Maiores teores de lignina são mais interessantes para a produção de carvão vegetal e menos desejáveis na produção de polpa celulósica.

O teor de lignina total da madeira de *Pterogyne nitens* foi de 26,6% (Pereira *et al.*, 2019) e está de acordo com os valores normais para as madeiras folhosas tropicais. Trata-se de um valor similar ao encontrado nas espécies comerciais de *Eucalyptus urophylla* (26,6%), de acordo com Mokfienski (2004), e menor que os das espécies *Schizolobium amazonicum* (29,7%), determinado por Vidaurre (2010), e *Mimosa caesalpiniaefolia* (27,6%), de acordo com Gonçalves, Lelis e Abreu (2010).

Figura 2: Teor de celulose, hemiceluloses e lignina total da madeira de *Pterogyne nitens* em comparação com outras espécies florestais – *Mimosa caesalpiniaefolia*, *Schizolobium amazonicum* e *Eucalyptus urophylla*.



Fonte: Longue Júnior (2022).

Dentre os açúcares que compõem as hemiceluloses de folhosas, destaca-se a xilana, por ser encontrada em maiores quantidades em relação aos demais (Sjöström, 1993). As madeiras *Pterogyne nitens*, *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum* apresentam, respectivamente, teores de 14,3, 13,5 e 11,2% de xilana (Tabela 1).

Para a produção de polpa celulósica e carvão vegetal, é importante estudar não somente o teor de xilana, mas também os grupos químicos que estão ligados lateralmente às suas cadeias básicas (ácidos urônicos e grupos acetila).

Os ácidos urônicos não somente elevam o consumo de álcali no cozimento da madeira, mas também são geradores de ácidos hexenurônicos, que afetam negativamente o branqueamento da celulose (Costa; Mouteer; Colodette, 2001). Já quando os grupos acetila estão presentes nas xilanas há uma desvantagem tecnológica, pois não só consomem álcali durante o cozimento kraft, mas também geram perda de rendimento, uma vez que são totalmente hidrolisados e solubilizados durante o cozimento da madeira (Gomide; Fantuzzi Neto; Regazzi, 2010). Para a indústria de carvão vegetal, esses componentes laterais das hemiceluloses somente são importantes quando o licor pirolenhoso é recuperado no processo de carbonização. Caso contrário, esses componentes não contribuem para o rendimento do processo e obtenção de subprodutos valiosos e ainda provocam maior contaminação do ambiente.

A espécie *Pterogyne nitens* apresenta teor de 3,7% de ácidos urônicos e 4,0% de grupos acetila (Tabela 1). Gomide *et al.* (2005), ao estudarem espécies de eucaliptos utilizadas por empresas no Brasil, verificaram um teor de ácidos urônicos que variava de 3,2 a 4,7% e um teor de grupos acetila que variava de 2,6 a 3,1%.

Sobre os demais açúcares da madeira, arabinana, manana e galactana, a espécie *Pterogyne nitens* apresenta 2,8% em sua composição (Pereira *et al.*, 2019), sendo esse valor próximo ao valor encontrado para a madeira de *Eucalyptus urophylla* (2,1%), de acordo com Mokfienski (2004), e maior que o valor de 1,5% da madeira de *Schizolobium amazonicum*, descrito por Vidaurre (2010).

Relativamente às frações da lignina, para a espécie *Pterogyne nitens*, o teor de lignina klason é de 23,8% e o teor de lignina solúvel em ácido é de 2,8% (Tabela 1), enquanto que, para as espécies *Eucalyptus urophylla*, *Schizolobium amazonicum* e *Mimosa caesalpiniaefolia*, o teor de lignina insolúvel varia entre 23,6 e 24,6% e o teor de lignina solúvel varia entre 1,8 e 3,0% (Mokfienski, 2004; Gonçalves; Lelis; Abreu, 2010; Vidaurre, 2010). Maiores teores de lignina insolúvel são preferíveis à indústria de carvão vegetal, pois contribuem para o aumento do teor de carbono fixo. Ademais, são prejudiciais aos processos químicos de polpação.

Além da quantificação do teor de lignina da madeira, é importante realizar também o estudo das estruturas químicas que a compõem (relação S:G da lignina; S=Siringila, G=Guaiaçila), uma vez que elas afetam diretamente a reatividade e o rendimento dos processos de transformação da madeira em polpa celulósica e carvão vegetal. A relação S:G da madeira *Pterogyne nitens* é de 2,2 (Tabela 1). Em outras palavras, a lignina dessa espécie florestal apresentou um pouco mais de 2 unidades de lignina siringila para cada unidade de lignina guaiaçila.

Conforme relatos de Barbosa *et al.* (2008), a velocidade de deslignificação da madeira no processo de polpação é influenciada pela estrutura da lignina, sendo diretamente proporcional à relação S:G, uma vez que a estrutura siringila da lignina é mais reativa. Dessa maneira, ela pode ser removida facilmente durante o processo de polpação Kraft, o que contribui para o rendimento. Segundo Gomes *et al.* (2008), a madeira desejável para a produção de celulose kraft deve apresentar

baixo teor de lignina, associado a uma alta relação S:G da lignina. Para a indústria de carvão vegetal, um valor mais baixo da relação S:G da lignina favorece o rendimento do processo, pois a lignina é menos reativa e mais resistente aos processos de carbonização.

O teor de extrativos da madeira de *Pterogyne nitens* é de aproximadamente 7,3% (Tabela 1), valor maior que os teores dos extrativos relatados por Gomide *et al.* (2005) para várias espécies de eucaliptos utilizadas por empresas brasileiras que produzem polpa celulósica (1,8 a 4,1%). Madeiras com alto teor de extrativos apresentam menor rendimento em polpa celulósica e maior potencial para formação de depósitos (*pitch*) nas máquinas, o que leva ao aumento do custo de manutenção e perdas de qualidade no produto final. Já no setor energético os extrativos são desejáveis, uma vez que contribuem para o rendimento gravimétrico do processo e com o poder calorífico do carvão vegetal.

Por sua vez, o teor de minerais na produção de polpa celulósica pode gerar uma série de problemas no processo de polpação, entre os quais incrustações e corrosões nas paredes e tubulações da seção de recuperação do licor residual. Segundo relatos de Fengel e Wegener (1984), o teor de minerais para madeiras de clima tropical pode atingir até 5% do peso da madeira. Para as indústrias de carvão vegetal, os minerais são também um componente indesejável, uma vez que podem afetar a resistência das ligas metálicas, em processos de redução do minério, produzindo-lhes trincas e rachaduras.

A madeira *Pterogyne nitens* apresenta um teor de minerais de 0,5%, que pode ser considerado um baixo teor (Tabela 1).

Tabela 1: Composição química detalhada da madeira de *Pterogyne nitens* cultivada na região Sudoeste da Bahia

Compostos Químicos		Média
Hemiceluloses	Xilanas (%)	14,3
	Galactanas (%)	0,97
	Mananas (%)	0,88
	Arabinanas (%)	0,93
	Grupos acetila (%)	4,0
	Ácidos urônicos (%)	3,7
Lignina	Solúvel (%)	2,7
	Insolúvel (%)	23,8
Relação S:G da lignina	Siringila (gmol)	1,58
	Guaiacila (gmol)	0,73
	S:G	2,2
Extrativos totais (%)	7,3	
Minerais (%)	0,5	

Fonte: Pereira *et al.* (2019).

3 Descrição anatômica da madeira

Macroscopicamente, tanto a medula quanto os anéis de crescimento são distintos a descoberto. O lenho de *Pterogyne nitens* apresenta cerne sem odor característico e de coloração rosada-escura (Figura 3).

Figura 3: Lenho recém-cortado da madeira de *Pterogyne nitens*.



Fonte: Longue Júnior (2022).

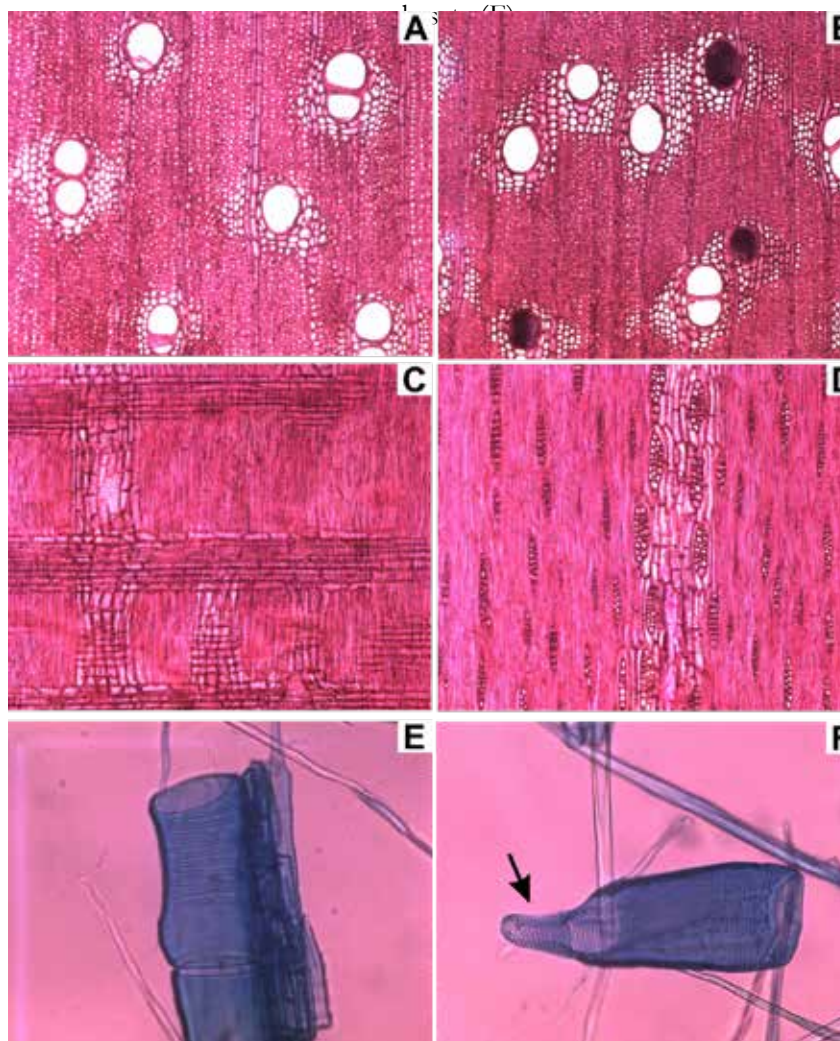
O lenho é moderadamente duro ao corte manual, possui textura média e alburno pouco distinto aos 9 anos de idade. Os vasos também são visíveis a descoberto, mostrando-se pequenos e médios e muito obstruídos por tilose (Figura 4A). A presença de vasos solitários e múltiplos com disposição difusa é um padrão no lenho da maioria das espécies madeireiras da mesma família. Assim, a caracterização anatômica da espécie *Pterogyne nitens* corrobora o que é mencionado para Fabaceae: vasos solitários e múltiplos, em distribuição difusa (Figura 4B).

O parênquima axial é definido como aliforme confluyente (Figura 3A-B) e vasicêntrico confluyente (Figura 4A-B). A presença de parênquima apotraqueal forma linhas nos limites das camadas de crescimento (Figura 4B).

A madeira de *Pterogyne nitens* também apresentou raios estratificados heterogêneos, com células procumbentes e quadradas (Figura 4C). O principal padrão dos raios é denominado bisseriado (Figura 4D).

Os elementos de vaso apresentaram placa de perfuração simples, com apenas uma abertura, e pontoações intervasculares, caracterizadas por contato entre dois vasos (Figura 4E) e apêndice (Figura 4F).

Figura 4: Imagens dos tecidos e dos elementos de vasos da madeira de *Pterogyne nitens*. Corte transversal que mostra porosidade, vasos e faixas de parênquima marginal (A, B); corte longitudinal radial que apresenta raios estratificados e heterogêneos (C); corte longitudinal tangencial que mostra raios bisseriados (D); elementos de vaso em contato (E) e individualizados do lenho, com apêndice, indicado



Fonte: Longue Júnior (2022).

4 Caracterização das dimensões dos elementos anatômicos da madeira e índices tecnológicos

As dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Pterogyne nitens* estão apresentadas na Tabela 2. O comprimento médio das fibras é de 0,81 mm, consideradas muito curtas. Esse valor está abaixo da média para fibras de outras folhosas, como *Eucalyptus urograndis*, com 0,90 mm (Gonzalez *et al.*, 2014) e *Eucalyptus grandis*, com 1,02 mm (Silva *et al.*, 2007). Porém, as fibras de *Pterogyne nitens* possuem comprimento similar ao das fibras das madeiras de algumas espécies da família Fabaceae, como a *Mimosa tenuiflora*, com 0,75 mm (Oliveira *et al.*, 2006), e a *Machaerium villosum*, com 0,85 mm (Cury, 2002).

O diâmetro das fibras da madeira de *Pterogyne nitens* ($D = 9,21 \mu\text{m}$) é considerado estreito e a espessura da parede ($e = 3,91 \mu\text{m}$) das fibras é delgada e estreita. Esses valores são inferiores aos de outras espécies florestais comercialmente importantes: *Eucalyptus grandis* ($D = 20,41 \mu\text{m}$;

$e = 3,37 \mu\text{m}$), de acordo com Silva *et al.* (2007); *Eucalyptus urograndis* ($D = 16,91 \mu\text{m}$; $e = 5,61 \mu\text{m}$), de acordo com Gonzalez *et al.* (2014); e *Acacia mearnsii* ($D = 18,83 \mu\text{m}$; $e = 4,53 \mu\text{m}$), de acordo com Martins (1983).

Tabela 2: Mensuração e classificação dos elementos anatômicos e dos índices tecnológicos avaliados para a madeira de *Pterogyne nitens*

Fibras	Média	Classificação
Comprimento (mm)	0,81	Muito curto
Diâmetro (μm)	9,21	Estreito
Espessura da parede (μm)	3,91	Paredes delgadas a espessas
Largura (μm)	17,0	Estreito
Elementos de vasos (Poros)	Média	Classificação
Diâmetro (μm)	104	Médios
Frequência (poros. mm^{-2})	10,3	Poucos
Índices tecnológicos	Média	Classificação
Fração parede (%)	46,0	Alto
Índice de enfieltramento	47,4	-
Índice de Runkel	1,13	Regular
Coef. de Flexibilidade (%)	54,0	Baixo

Fonte: Longue Júnior (2022).

Os poros da madeira mostram-se medianos, com diâmetro médio de $104 \mu\text{m}$. Outras espécies da família Fabaceae corroboram essa característica com dimensões semelhantes, como a *Copaifera langsdorffii* ($102,4 \mu\text{m}$), analisada por Cury (2002), e a *Mimosa ophthalmocentra* ($105 \mu\text{m}$), estudada por Silva *et al.* (2011). Os poros também são classificados como pouco numerosos, com frequência média de $10,3 \text{ poros}.\text{mm}^{-2}$, o que contrasta essa espécie com outras da mesma família, como *Piptadenia cobi* ($61,3 \text{ poros}.\text{mm}^{-2}$), *Anadenanthera macrocarpa* ($18 \text{ poros}.\text{mm}^{-2}$) e *Parapiptadenia excelsa* ($16,1 \text{ poros}.\text{mm}^{-2}$), avaliadas por Prates (1990).

Em relação aos índices tecnológicos da madeira (Tabela 2), a fração parede das fibras de *Pterogyne nitens* apresenta valor de $46,0\%$, o que a faz rígida. Trata-se de um índice relacionado à rigidez da fibra, que precisa de um valor inferior a 40% para que não seja considerada extremamente rígida (Nisgoski *et al.*, 2011). O valor encontrado nesse estudo é superior a valores encontrados para a espécie *Eucalyptus grandis* ($36,69\%$), de acordo com Silva (2002), e inferior à *Acacia mearnsii* ($49,70\%$) de acordo com Martins (1983).

As fibras da madeira de *Pterogyne nitens* apresentam um valor de $47,4$ para o índice de enfieltramento, que está relacionado à flexibilidade da fibra, de modo que elevados valores caracterizam fibras mais flexíveis e acarretam melhores propriedades ao papel. Esse valor é superior ao encontrado para a espécie *Mimosa tenuiflora* ($45,54$), da mesma família, de acordo

com Oliveira *et al.* (2006), e não tão discrepante de valores das espécies *Eucalyptus saligna* (52,08), de acordo com Barrichelo e Foelkel (1975), e *Eucalyptus grandis* (54,01), segundo Silva (2002), consideradas como de uso potencial na produção de polpa celulósica.

Com relação ao Índice de Runkel, as fibras da madeira de *Pterogyne nitens* apresentam um valor de 1,13, sendo sua aplicação considerada como regular à produção de papel. O Índice de Runkel avalia o grau de colapso das fibras durante o processo de fabricação de papel, de modo que, quanto mais baixo for o índice, maior será o grau de colapso. Assim, com base nesse índice, um valor de até 0,25 é considerado excelente para papel; de 0,25 a 0,50 é muito bom; de 0,50 a 1,00 é bom; de 1,00 a 2,00 é regular; e acima de 2,0 o valor sugere o não uso das fibras para papel, por se tratar de fibras com paredes espessas ou muito espessas (Paula; Alves, 2010).

Por fim, a espécie em estudo apresenta coeficiente de flexibilidade de 54,0%. O coeficiente de flexibilidade mede quão flexíveis são as fibras e a sua capacidade de entrelaçamento, sendo um fator importante para a fabricação de celulose e papel (Castelo, 2007). O valor encontrado é considerado inferior ao obtido das espécies citadas anteriormente, analisadas pelos mesmos autores (*Parkia gigantocarpa*: 77,53%; *Eucalyptus saligna*: 67,71%), e superior ao da *Acacia mearnsii*: 50,30%. Para Barrichelo e Foelkel (1975), valores maiores desse coeficiente caracterizam fibras mais flexíveis, que acrescentam resistência ao papel. Assim, seguindo esse parâmetro, a *Pterogyne nitens* apresenta fibras pouco flexíveis.

Referências

- BARBOSA, L. C. A.; MALTHA, C. R. A.; SILVA, V. L.; COLODETTE, J. L. Determinação da relação Siringila/Guaiacila da lignina em madeiras de eucalipto por pirólise acoplada à cromatografia gasosa e espectrometria de massas (PI-CG/EM). *Química Nova*, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 2035- 2041, 2008.
- BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Utilização de madeiras de essências florestais nativas na obtenção de celulose: bracatinga (*Mimosa bracatinga*), embaúba (*Cecropia* sp.), caixeta (*Tabebuia cassinoides*) e boleira (*Joannesia princeps*). IPEF, Piracicaba, n. 10, p. 43-56, 1975.
- CASTELO, P. A. R. *Avaliação da qualidade da madeira de Pinus taeda em diferentes sítios e espaçamentos através do método não destrutivo de ondas de tensão*. 2007. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- COSTA, M. M.; MOUTEER, A. H.; COLODETTE, J. L. Ácidos hexenurônicos Parte I: origem, quantificação, reatividade e comportamento durante a polpação kraft. *O Papel*, São Paulo, v. 62, n. 5, p. 75-85, 2001.
- CURY, G. *Descrição da estrutura anatômica do lenho e sua aplicação na identificação de espécies arbóreas do Cerrado e da Mata Atlântica do estado de São Paulo*. 2002. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

FENGEL, D.; WEGENER, G. *Wood, chemistry, ultrastructure, reactions*. New York: Walter de Gruyter, 1984.

GOMES, F. J. B.; FÁTIMA, A.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L. Influência do teor e da relação S/G da lignina da madeira no desempenho da polpação Kraft. *O Papel*, São Paulo, v. 69, n. 12, p. 95-105, 2008.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L. Qualidade da madeira. In: BOREM, A. *Biotechnologia florestal*. Viçosa: Editora UFV, 2007. p. 25-54.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 339-344, 2010.

GONÇALEZ, J. C.; SANTOS, G. L.; JUNIOR, F. G. S.; MARTINS, I. S.; COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urugrandis*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C.; ABREU, H. S. Caracterização físico-química da madeira de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 54-62, 2010.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). *Relatório Ibá 2021: ano base 2021*. Brasília, DF: IBÁ, 2022.

MANFREDI, M. *Desenvolvimento de propriedades de papéis reciclados por tratamento ultrassônico e adição de xilanas*. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Viçosa, Viçosa, 2010.

MARTINS, M. A. L. *Estudo tecnológico da polpação Kraft de Acacia mearnsii De Wild*. 1983. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

MOKFIENSKI, A. *Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de Eucalyptus spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft*. 2004. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2004.

NISGOSKI, S.; TRIANOSKI, R.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M.; BATISTA, F. R. R. Anatomia da madeira de *Toona ciliata*: características das fibras para produção de papel. *Floresta*, Curitiba, v. 41, p. 717-728, 2011.

OLIVEIRA, E.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; LUCIA, R. M. D.; LADEIRA, A. M. M.; CARNEIRO, A. C. O. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 311-318, 2006.

- PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. *897 madeiras nativas do Brasil: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção, uso*. Urubici: Cinco Continentes, 2010.
- PEREIRA, A. K. S.; LONGUE JUNIOR, D.; MAFRA NETO, C. S.; COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. Determinação da composição química e potencial de polpação da madeira *Pterogyne nitens* Tul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 1490-1500, 2019.
- PRATES, G. A. *Análise taxonômica e anatomia da madeira de espécies de Piptadenia e gêneros afins*. 1990. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.
- SILVA, J. C. *Caracterização da madeira de Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira*. 2002. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- SILVA, L. B.; SANTOS, F. A. R.; GASSON, P.; CUTTLER, D. Estudo comparativo da madeira de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Fabaceae-Mimosoideae) na caatinga nordestina. *Acta Botânica Brasilica*, Alta Floresta, v. 25, n. 2, p. 301-314, 2011.
- SILVA, J. de C.; FILHO, M. T.; OLIVEIRA, J. T. S.; CASTRO, V. R. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1081-1090, 2007.
- SJÖSTRÖM, E. *Wood chemistry, fundamentals and applications*. New York: Academic Press, 1993.
- VIDAURRE, G. B. *Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (Schizolobium amazonicum) para produção de energia e polpa celulósica*. 2010. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

Capítulo 8

Utilização da madeira de *Pterogyne nitens* Tul. para a produção de carvão vegetal e polpa celulósica

Dalton Longue Júnior
Allana Katiussya Silva Pereira

1 Introdução

O Brasil é um país de destaque internacional em produção de polpa celulósica e carvão vegetal. É considerado o maior produtor de polpa branqueada de eucalipto, fornecendo matéria-prima para diversos países, como Estados Unidos, China e alguns países da Europa (IBÁ, 2022). Também é o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo, respondendo por quase um terço de toda a produção, além de ser o único país a manter um parque industrial siderúrgico que utiliza o carvão vegetal como insumo (IEA, 2011). Essa relevância se deve ao fato de o país apresentar uma tecnologia avançada no cultivo do eucalipto, possuir um parque industrial de polpa celulósica moderno e utilizar o carvão vegetal como termorreduzidor na produção de ferro e ligas metálicas.

As restrições ambientais ao uso de madeira nativa e consumo de combustíveis fósseis (carvão mineral), atreladas ao aumento crescente do consumo energético, têm realçado o interesse pelo uso da biomassa florestal na produção de energia e polpa celulósica, em virtude de ser essa uma matéria-prima renovável e seu processo produtivo ser menos poluente quando comparado às matérias-primas não renováveis. Entretanto, grande parte do carvão vegetal produzido ainda possui fonte questionável, vinda, muitas vezes, de florestas nativas sob preservação.

As fábricas de polpa celulósica localizadas na Bahia utilizam apenas madeira de reflorestamento com espécies do gênero *Eucalyptus*. Apesar disso, estudos com madeiras alternativas podem levar ao plantio futuro de espécies opcionais, não apenas para a produção de polpa celulósica, mas também para a produção de outros subprodutos de valor da madeira.

As indústrias de ligas metálicas não medem esforços para reduzir ou acabar com a produção de carvão vegetal com as madeiras de espécies nativas. Essa ação visa desacelerar o desmatamento de áreas importantes das vegetações naturais brasileiras, como a Caatinga, e garantir melhor qualidade e homogeneidade no fornecimento de matéria-prima.

Entretanto, as florestas plantadas para fins industriais ainda são insuficientes para abastecer toda a demanda por produtos manufaturados, como a polpa celulósica e o carvão vegetal.

A região Sudoeste da Bahia se localiza entre dois importantes polos produtivos de base florestal: a região Sul da Bahia, mundialmente conhecida pelos elevados níveis de produtividades

dos plantios florestais de eucalipto e grande expoente na produção nacional de polpa celulósica; e a região Norte de Minas Gerais, com grandes maciços florestais de eucalipto, cultivados para abastecer os parques siderúrgicos do estado com carvão vegetal.

Dentre as espécies nativas cultivadas na região Sudoeste da Bahia, a madeira de *Pterogyne nitens* se destaca, pela fácil adaptação às condições ambientais locais, por apresentar rápido crescimento e por gerar madeira de valor econômico para diferentes finalidades, como para lenha e carvão vegetal, evidenciando boa qualidade, que se dá por seu poder calorífico (Carvalho, 1994). Além disso, pode também ser empregada na reposição de matas ciliares, em locais sujeitos a inundações periódicas e na recuperação da vegetação de sítios arenosos e degradados (Biruel *et al.*, 2007).

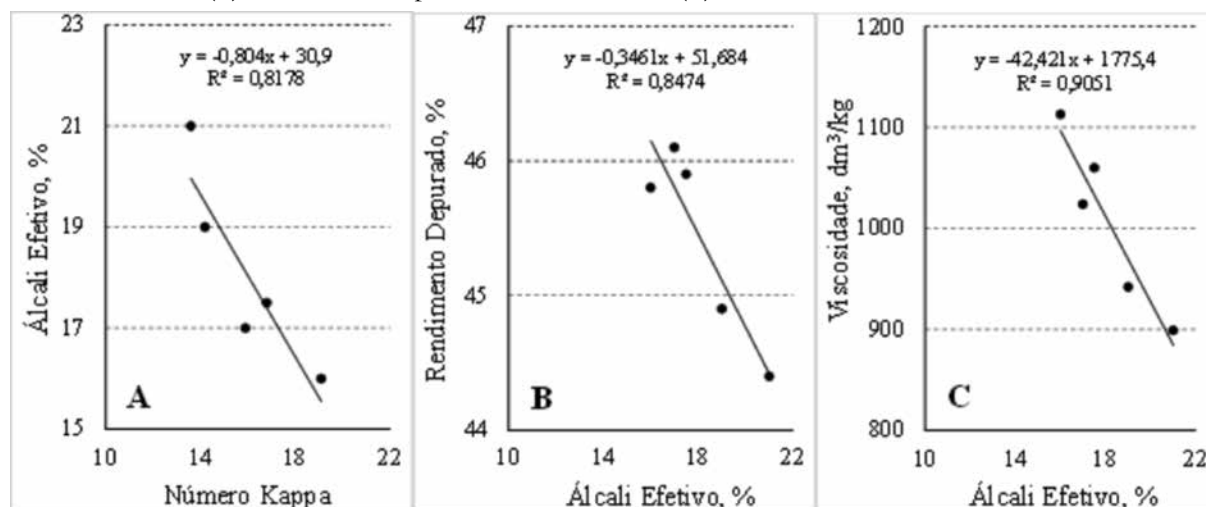
2 Produção de polpa celulósica – cozimento da madeira

A produção de polpa celulósica demandou cavacos de madeira de *Pterogyne nitens* produzidos por árvores de um plantio experimental de 9 anos, localizado na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Os cozimentos da madeira visam à produção de polpa celulósica a Número Kappa 18, com a utilização de três cargas de álcali efetivo e demais variáveis fixas. As demais condições de cozimento são: tempo até temperatura (T^{TT}) de 90 min; tempo à temperatura (T^{AT}) de 90 min; temperatura de reação de 170 °C; três cargas de álcali efetivo: 21%, 17% e 16%; sulfidez de 32%; relação licor/madeira de 4 m³.t⁻¹.

Na Figura 1A é apresentada a relação entre a carga alcalina (expressa em álcali efetivo – AE) e o Número Kappa (indicador da quantidade de lignina residual da polpa). A relação matemática desenvolvida, que é $AE = -0,804 * Kappa + 30,9$, apresenta um coeficiente de correlação satisfatório de 81,78% e, por estimativa, uma carga de álcali efetivo de 18,2% para a obtenção de uma polpa marrom de Número Kappa 18, muito comum em indústrias de polpa celulósica branqueada. Já a relação matemática entre o rendimento depurado (RD) e a carga de álcali efetivo, $RD = -0,3461 * AE + 51,684$ (Figura 1B), apresenta um coeficiente de correlação satisfatório de 84,74% e, por estimativa, um rendimento depurado de 45,9%, para a obtenção de uma polpa marrom de Número Kappa 18.

Na Figura 1C é mostrada a relação entre a viscosidade da polpa (V) e a carga de álcali efetivo. A relação matemática $V = -42,421 * AE + 1775$ apresenta um coeficiente de correlação satisfatório de 90,5% e, por estimativa, uma viscosidade de 1.075 dm³.kg⁻³, para a obtenção de uma polpa marrom de Número Kappa 18.

Figura 1: Relações matemáticas utilizadas para a obtenção de polpa marrom número Kappa 18 com cavacos da madeira de *Pterogyne nitens*: (A) álcali efetivo x número Kappa; (B) rendimento depurado x álcali efetivo; (C) viscosidade x álcali efetivo.



Fonte: Pereira *et al.* (2019).

Os resultados dos três cozimentos realizados com os cavacos da madeira *Pterogyne nitens* bem como os dados das estimativas para a obtenção de uma polpa marrom número Kappa 18 estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros da polpação kraft e características das polpas marrons e do licor negro provenientes de cozimentos da madeira de *Pterogyne nitens*

Cozimentos	1	2	3	I*
Número Kappa	13,6	15,9	19,1	18,0*
Álcali efetivo (%)	21,0	17,0	16,0	16,4
Viscosidade ($dm^3.kg^{-1}$)	899	1024	1113	1075
Rendimento depurado (%)	44,4	46,1	45,8	45,9
Rejeito (%)	0,1	0,4	1,4	X
Rendimento total (%)	44,5	46,5	47,2	X
pH do licor negro	13,4	13,1	12,4	X

*Valores estimados para Número Kappa 18.

Fonte: Pereira *et al.* (2019). Adaptado.

Para atingir um Número Kappa 18, é estimada uma carga de álcali efetivo de 16,4%, valor esse considerado elevado quando comparado ao de cozimento de madeiras comerciais, como eucalipto, para mesmo Número Kappa e sulfidez. Segundo Mokfienski (2004), o cozimento de madeiras de *Eucalyptus urophylla* consome aproximadamente 14,4% de álcali efetivo para Número Kappa 18 (sulfidez 30%).

O rendimento depurado indica, em valores percentuais, a quantidade de polpa celulósica produzida com uma quantidade de madeira, que, além de outros fatores, também foi influenciada pela carga alcalina. Utilizando-se de uma carga de álcali efetivo de 16,4% (Kappa 18), é estimado um rendimento depurado de 45,9%, enquanto que para *Eucalyptus urophylla*, utilizando-se de uma carga de álcali efetivo de 14,4% (Número Kappa 18), tem-se um rendimento depurado de 51,6% (Mokfienski, 2004). Em outras palavras, além de necessitar de uma maior carga alcalina, a madeira de *Pterogyne nitens* apresenta um rendimento depurado menor quando comparado ao de uma espécie utilizada pelas indústrias de polpa celulósica no Brasil.

Segundo Gomide *et al.* (2005), a demanda de altas cargas de álcali constitui uma característica altamente desfavorável, uma vez que provoca perda de rendimento, degradação mais intensa das cadeias dos carboidratos, sobrecarga da caldeira de recuperação e aumento do custo de produção. É nesse ponto que a madeira de *Pterogyne nitens* se apresenta como uma opção pouco viável à produção de polpa celulósica.

Considerando a qualidade da polpa celulósica, outra característica de grande importância é a viscosidade, que expressa o grau de degradação das fibras de celulose ocorrido durante o processo de polpação. A madeira de *Pterogyne nitens* apresenta uma viscosidade estimada para Número Kappa 18 de $1.075 \text{ dm}^3.\text{kg}^{-1}$, enquanto que Mokfienski (2004) indica para *Eucalyptus urophylla* (Número Kappa 18) uma viscosidade bem mais elevada ($1.365 \text{ dm}^3.\text{kg}^{-1}$).

Portanto, no estágio de silvicultura em que se encontra, a madeira da espécie *Pterogyne nitens* não se apresenta como opção viável para o setor de celulose e papel, demandando mais estudos em campo.

3 Produção de carvão vegetal – carbonização da madeira

Madeiras de maior densidade básica como a madeira de *Pterogyne nitens* podem ser carbonizadas para produção de carvão vegetal. Entretanto, algumas temperaturas podem ser testadas com o objetivo de alcançar uma melhor condição para transformação termoquímica da madeira em carvão vegetal. Após a realização de algumas carbonizações com a madeira *Pterogyne nitens* em diferentes temperaturas finais, os valores médios do rendimento gravimétrico, análise química imediata, poder calorífico, rendimento em carbono, friabilidade e densidade aparente são apresentados na Tabela 2.

A madeira apresenta diferenças, quando carbonizada em diferentes temperaturas finais, para os rendimentos gravimétricos em carvão vegetal e gases não condensáveis, teores de carbono fixo e materiais voláteis, bem como para o poder calorífico superior e friabilidade do carvão vegetal. Para o rendimento em gases condensáveis, teor de cinzas, rendimento em carbono e densidade aparente do carvão vegetal não foram observadas essas diferenças.

Tabela 2: Resultados das análises do rendimento gravimétrico, análise química imediata, rendimento em carbono, poder calorífico superior, densidade aparente e friabilidade do carvão vegetal de *Pterogyne nitens*.

Rendimentos (%)	Temperatura Final de Carbonização		
	300 °C	450 °C	600 °C
Carvão vegetal	34,4 a	30,0 b	27,2 c
Gases condensáveis	40,8 a	41,3 a	42,1 a
Gases não condensáveis	24,7 a	28,7 b	30,7 c
Análise Química Imediata (%)			
Carbono fixo	67,2 a	77,6 b	85,8 c
Materiais voláteis	31,5 a	20,8 b	12,3 c
Cinzas	1,4 a	1,6 a	1,9 a
Rendimento em carbono (%)	23,1 a	23,3 a	23,3 a
Poder Calorífico Superior (kcal.kg⁻¹)	7383 a	7967 b	8150 c
Densidade aparente – 0% de umidade (kg.m⁻³)	349 a	402 a	389 a
Friabilidade (%)	5,2 a	9,6 b	8,7 c

Fonte: Figueiredo *et al.* (2018).

Em consideração ao rendimento gravimétrico em carvão vegetal, ao seu teor de carbono fixo, expresso no rendimento em carbono (sem diferenças nas diferentes temperaturas finais), e ao poder calorífico (Tabela 2), a temperatura final de carbonização de 450 °C foi escolhida como referência para correlacionar essas características com a qualidade do carvão vegetal de outras espécies florestais.

O teor de carbono fixo do carvão vegetal de *Pterogyne nitens* (Tabela 2) aumenta em 18,7% com a elevação da temperatura final de carbonização de 300 °C para 600 °C (de 67,2 para 85,8%), por causa, principalmente, da liberação dos componentes voláteis do carvão vegetal. Dessa maneira, ocorre uma maior concentração de carbono no material sólido. Esse aumento ocorre pela degradação dos constituintes químicos da madeira, que leva à perda de massa e, por consequência, à redução de 7,2% no rendimento gravimétrico em carvão vegetal (de 34,4% para 27,2%). O rendimento em carvão sempre está inversamente relacionado ao teor de carbono fixo, pois, conforme pode ser observado na Tabela 2, a temperatura de 300 °C apresenta menor teor de carbono fixo (67,2%) e maior rendimento em carvão vegetal (34,4%). Em geral, quanto maior a temperatura final de carbonização, menor o rendimento gravimétrico em carvão vegetal e maior o teor de carbono fixo (Azevedo *et al.*, 2013).

O teor de materiais voláteis do carvão vegetal de *Pterogyne nitens* (Tabela 2) diminui 19,2% com o aumento da temperatura final de carbonização de 300 °C para 600 °C (de 31,5 para 12,3%). O rendimento em gases condensáveis não apresenta diferenças para as temperaturas de carbonização analisadas. Entretanto, o rendimento em gases não condensáveis de 300 °C para 600 °C aumenta em 6%, pelo fato de a mais baixa temperatura de carbonização produzir menos gases. É verificada

uma tendência de aumento na produção de gases totais com a elevação da temperatura final de carbonização. Já o teor de cinzas do carvão vegetal não apresenta variação em decorrência das mudanças da temperatura de carbonização.

A análise de variância mostra que o carvão vegetal produzido na temperatura final de 600 °C (maior teor de carbono fixo) resulta em um carvão vegetal de maior poder calorífico (8.150 kcal.kg⁻¹), conforme Tabela 2, ou seja, quanto maior a temperatura final de carbonização, maior é o teor de carbono fixo e, consequentemente, o poder calorífico do carvão vegetal. A análise estatística indica não haver diferença entre as temperaturas de 300 e 600 °C para densidade aparente do carvão vegetal. Entretanto, a menor densidade foi obtida com a carbonização na temperatura de 300 °C, aumentando com o avanço da temperatura final de carbonização. Em relação à friabilidade do carvão vegetal, a menor temperatura final de carbonização (300 °C) apresenta resultados mais desejáveis para fins industriais (4,32% menos friáveis) quando comparada aos demais tratamentos: 450 e 600 °C, conforme Tabela 2.

Estudo de Rancatti (2012) verificou que o aumento da velocidade de aquecimento do forno possibilita um aumento na friabilidade do carvão vegetal. Menores friabilidades do carvão vegetal são desejadas, uma vez que as perdas econômicas com o excesso de produção de finos durante sua produção e manuseio são menores. Essas características estão diretamente relacionadas à facilidade e otimização do transporte (Silva *et al.*, 2007).

Assim, as características do carvão vegetal produzido com a madeira de *Pterogyne nitens* se alteram com a interferência da temperatura final de carbonização, sendo, portanto, importantes para a determinação da sua qualidade final.

4 Avaliação da qualidade do carvão vegetal

A carbonização da madeira de *Pterogyne nitens* a 450 °C apresenta maior vantagem, considerando rendimento em carbono e qualidade do produto final.

Ao comparar os rendimentos do carvão vegetal da espécie *Pterogyne nitens* produzidos à temperatura final 450 °C com os rendimentos do carvão vegetal produzidos com espécies comerciais (*Eucalyptus urophylla* – espécie desenvolvida pela silvicultura para fins industriais) e nativas (*Poincianella pyramidalis*), foi observado que o rendimento em carvão vegetal da espécie estudada é inferior, apresentando um rendimento em carvão vegetal médio de 30%, gases condensáveis de 41,3% e gases não condensáveis de 28,7%, conforme a Tabela 3.

O rendimento em carvão vegetal é o mais visado na produção industrial, pois o produto energético é o mais importante após a carbonização, sendo considerado como produto principal. Rendimentos acima de 30% são satisfatórios, considerando fornos e matérias-primas, desde que apresentem elevado teor de carbono fixo, conforme demonstrado no carvão dessa madeira. O rendimento em gases não condensáveis é interessante principalmente a processos que permitam a recuperação do licor pirolenhoso. Este é considerado um subproduto do processo de carbonização, fonte de centenas de produtos químicos, que podem ser fracionados e utilizados por outros segmentos industriais, como ácido acético, ácido fórmico e alcatrão, por exemplo.

As diferenças na constituição química da madeira também afetam diretamente o rendimento em gases condensáveis e não condensáveis. Materiais com maiores teores de celulose e hemicelulose produzem mais gases durante a carbonização, em razão da baixa resistência à degradação térmica desses compostos (Santos *et al.*, 2016). Em outro trabalho, ao estudar cinco clones de eucalipto cultivados em diferentes regiões do Brasil, Frederico (2009) relata valores para os rendimentos em gases condensáveis e não condensáveis que variam entre 42,3-47,5% e 22,9-28,0%, respectivamente, corroborando o observado para a madeira de *Pterogyne nitens* (Tabela 3).

Tabela 3: Resultados das análises da qualidade do carvão vegetal de *Pterogyne nitens* na temperatura final de 450 °C e de *Eucalyptus urophylla* (comercial) e *Poincianella pyramidallis* (nativa).

Rendimentos (%)	<i>Pterogyne nitens</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Poincianella pyramidallis</i>
Carvão vegetal	30,0	37,1	34,7
Gases condensáveis	41,3	46,2	37,9
Gases não condensáveis	28,7	16,7	27,4
Análise Química Imediata (%)			
Carbono fixo	77,6	73,0	60,0
Materiais voláteis	20,9	26,2	34,5
Cinzas	1,6	0,8	5,5
Rendimento em carbono (%)	23,3	27,0	20,8
Poder Calorífico Superior (kcal.kg⁻¹)	7.967	6.998	6.450
Densidade aparente – 0% umidade (kg.m⁻³)	402	325	513

Fonte: Figueiredo *et al.* (2018).

O teor de carbono fixo da madeira de *Pterogyne nitens* a 450 °C é de 77,6%, valor bastante satisfatório para a produção de energia (Figueiredo *et al.*, 2018). Ao analisar o teor de carbono fixo no carvão da madeira de clones de eucalipto, Chaves *et al.* (2013) apresentam valores que variam entre 70 e 80%. Em outro trabalho, Frederico (2009) constata no carvão dos clones de eucalipto valores para o teor de carbono fixo entre 80 e 83%. Segundo Santos (2008), a faixa desejada de carbono fixo no carvão vegetal para uso siderúrgico é de 75 a 80%, no entanto maiores teores de carbono fixo contribuem para o aumento na produtividade dos altos-fornos para o mesmo consumo de material termorreduzidor.

Em relação ao teor de materiais voláteis, Santos *et al.* (2016) determinaram que carvões vegetais produzidos com a madeira de clones de eucalipto, aos 7 anos de idade, apresentaram valores que variavam entre 11,7% e 14,9%. De acordo com Santos (2008), o teor de materiais voláteis no carvão varia entre 20 e 25% e porcentagens inferiores a 25% são desejadas para o uso siderúrgico. Pode-se notar que os teores de materiais voláteis mais apropriados ao uso siderúrgico estão similares ao valor encontrado na temperatura de 450 °C (20,8%) no carvão vegetal da espécie analisada.

Com relação ao teor de cinzas, o carvão vegetal de *Pterogyne nitens* a 450 °C apresenta um valor bastante baixo (1,6%), principalmente quando esse valor é comparado ao do teor de cinzas de carvão vegetal de outras espécies nativas (Figueiredo *et al.*, 2018). Quanto maior a proporção de cinzas na biomassa de origem, maior será a percentagem de cinzas no carvão e menor o seu poder calorífico. Por isso, carvão vegetal com elevado teor de cinzas não é desejável, principalmente para fins siderúrgicos.

Ao se compararem as espécies comerciais (*Eucalyptus urophylla*) e nativas (*Poincianella pyramidalis*) estudadas por Santos (2008), foi observado que o carvão de *Pterogyne nitens* obteve excelentes valores de carbono fixo e materiais voláteis, considerados ideais para o uso siderúrgico (Tabela 3).

O poder calorífico superior do carvão vegetal de *Pterogyne nitens* é de 7.967 kcal.kg⁻¹ (Tabela 3). Em um estudo completo, Paes *et al.* (2012) analisam as características do carvão vegetal de *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta) e apontam valores para o poder calorífico superior entre 6.626 e 8.088 kcal.kg⁻¹. Em outro trabalho, Neves *et al.* (2011) relatam valores de poder calorífico superior de 7.643 a 7.665 kcal.kg⁻¹ para carvão de clones de eucalipto de diferentes procedências, bem como Brand *et al.* (2013) apresentam valores médios de poder calorífico superior que variam entre 6.047 e 6.465 kcal.kg⁻¹ para o carvão vegetal de *Miconia cinnamomifolia* (jacatirão-açu).

Considerando uma mesma produtividade, o carvão vegetal produzido com a madeira de *Pterogyne nitens* apresenta bom poder calorífico e isso proporciona menor consumo de insumo termorreduzidor, especialmente no emprego siderúrgico. O poder calorífico superior tem uma relação direta com o teor de carbono fixo (Chaves *et al.*, 2013). Dessa forma, o que se espera é que elevados teores de carbono fixo impliquem em maior poder calorífico superior, como o observado no carvão de *Pterogyne nitens*.

Ao ser comparada com espécies comerciais (*Eucalyptus urophylla*) e nativas (*Poincianella pyramidalis*), como mostrado na Tabela 3, a madeira de *Pterogyne nitens* apresenta um excelente resultado quando o objetivo principal é o uso do carvão vegetal para a geração de energia e/ou como termorreduzidor.

Na análise da Tabela 3 constata-se que a densidade do carvão vegetal de *Pterogyne nitens*, carbonizado à temperatura de 450 °C, tem um bom resultado se comparada com a do carvão de outras espécies florestais comumente usadas como fonte de energia renovável, como a espécie *Eucalyptus urophylla*.

Segundo Vale, Dias e Santana (2010), a densidade aparente do carvão vegetal deve ser a maior possível para que esse biocombustível apresente alta resistência mecânica e elevada densidade energética por unidade de volume, para que acarrete, entre outros efeitos, menores custos relacionados ao seu transporte. Oliveira *et al.* (2010) apontam valores de densidade aparente do carvão vegetal que variam entre 353 e 385 kg.m⁻³ para clones de *Eucalyptus pellita*, valores menores do que o observado para o carvão de *Pterogyne nitens*.

Por fim, a friabilidade do carvão de *Pterogyne nitens* à temperatura de 450 °C é de 9,6%. É desejável que esse valor não seja elevado, uma vez que influencia diretamente na formação de

finos, pequenas partículas decorrentes da fragmentação do carvão. Um carvão vegetal mais friável demanda maior consumo em um parque siderúrgico.

O carvão vegetal da madeira de *Pterogyne nitens*, produzido à temperatura final de 450 °C, apresentou um menor potencial energético quando comparado com o das espécies comerciais melhoradas para esse fim (*Eucalyptus urophylla*). No entanto, apresentou melhores resultados ao ser comparado com o carvão vegetal produzido por madeiras de uma espécie nativa – *Poincianella pyramidalis*.

Referências

- AZEVEDO, C. H. S.; SANTOS, F.; ANDRADE, L.; SILVA, A. Influência da temperatura final de carbonização e da taxa de aquecimento no rendimento gravimétrico e teor de cinzas do carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 1279-1287, 2013.
- BIRUEL, R. P.; BORBA FILHO, A. B.; ARAÚJO, E. C. E.; FRACCARO, F. O.; PEREZ, S. C. J. G. A. Efeitos do condicionamento seguido ou não de secagem em sementes de *Pterogyne nitens* Tul. sob estresse. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 119-128, 2007.
- BRAND, M. A.; CUNHA, A.; CARVALHO, A. F.; BREHMER, D. R. Analysis of the quality of wood and charcoal produced from the species *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) in family farming, in Biguaçu, Santa Catarina, Brazil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 401-410, 2013.
- CARVALHO, P. E. R. *Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira*. Colombo: EMBRAPA; CNPF, 1994.
- CHAVES, A. M. B.; VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.
- FIGUEIREDO, M. E. O.; LONGUE JUNIOR, D.; PEREIRA, A. K. S.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, C. M. S. Potencial da madeira de *Pterogyne nitens* Tul. (madeira-nova) para produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, p. 420-431, 2018.
- FREDERICO, P. G. U. *Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal*. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.
- GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). *Relatório Ibá 2021: ano base 2020*. Brasília, DF, 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Statistics & Balances*. Paris: OECD/IEA, 2011.

MOKFIENSKI, A. *Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de Eucalyptus spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft*. 2004. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F. SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Scientia Florestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; OLIVEIRA, E.; SANTOS, H. C. M. Rendimento e caracterização do carvão vegetal de três espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. *Ciência da Madeira*, Pelotas, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2012.

PEREIRA, A. K. S.; LONGUE JUNIOR, D.; MAFRA NETO, C. S.; COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. Determinação da composição química e potencial de polpação da madeira *Pterogyne nitens* Tul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 29, p.1490–1500, 2019.

RANCATTI, H. *Potencialidade energética da madeira de duas espécies florestais via uso direto e através da pirólise*. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012.

SANTOS, M. A. S. Uso do carvão vegetal em alto forno. In: FÓRUM NACIONAL DE CARVÃO VEGETAL, 2008, 1., 2008, Belo Horizonte. *Anais [...]*. Belo Horizonte: UFMG, 2008.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; CASTRO, R. V. O.; VIDAURRE, G. B.; TRUGILHO, P. F.; CASTRO, A. F. N. M. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

SILVA, M. G.; NUMAZAWA, M.; ARAÚJO, M. M.; NAGAISHI, T. Y. R.; GALVÃO, G. R. Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 37, n. 1, p. 61-70, 2007.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.

Capítulo 9

Pragas e doenças associadas à *Pterogyne nitens* Tul. (madeira-nova)

Rita de Cássia Antunes Lima de Paula
Quelmo Silva de Novaes
Eriha Machado Costa
Suellen Gomes Monteiro Batista
Poliana Coqueiro Dias Araújo

1 Introdução

Os plantios florestais apresentam um papel importante no fornecimento de recursos florestais, como matérias-primas para as necessidades da população, o que diminui a pressão sobre as florestas naturais remanescentes. No Brasil, a área total ocupada por esses plantios alcançou cerca de 9,6 milhões de hectares, o que gerou uma renda de R\$ 12,1 bilhões, obtida dos tributos federais, como também 2,9 milhões de postos de trabalhos diretos e indiretos, resultantes do efeito da renda da atividade de base florestal (IBÁ, 2022).

A área brasileira ocupada por plantios florestais de espécies consideradas não tradicionais, como de *Hevea brasiliensis*, *Acacia mangium*, *Tectona grandis* e *Schizolobium amazonicum*, ainda é relativamente pequena (382 mil ha) quando comparada com a área ocupada pelas espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (9,2 milhões de ha) (IBÁ, 2022). Dessa forma, é iminente a necessidade de intensificar os estudos voltados para a exploração do potencial de produção de espécies nativas arbóreas, uma vez que a maior parte dessa área é ocupada por espécies exóticas.

Pterogyne nitens Tul, também conhecida como madeira-nova, é uma espécie florestal representante da Caatinga da Bahia, originária da Floresta Estacional Semidecidual Montana, que possui características tecnológicas significativas, que a conduzem para um aproveitamento tanto dos seus produtos madeireiros, como o carvão vegetal (Figueiredo *et al.*, 2018), quanto dos seus produtos não madeireiros, nas aplicações medicinais por exemplo (Regasini *et al.*, 2008), e também para a realização de algumas funções ambientais (arborização e recuperação de áreas degradadas) (Lorenzi, 1992).

Num estudo realizado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), em São Paulo, entre várias espécies florestais analisadas em florestas nativas com finalidade econômica, madeira-nova foi considerada uma espécie com potencial de viabilidade econômica, por já possuir um valor de mercado conhecido. No entanto, a pesquisa também observou que para a madeira-nova ser considerada uma espécie “carro-chefe”, como a seringueira (*Hevea brasiliensis*), é fundamental o domínio de conhecimento sobre sua silvicultura, sobre sua viabilidade financeira e retorno financeiro e, por fim, sobre resultados de plantios dela consorciados com nativas menos exploradas (IPEF, 2012).

Apesar de já constatararmos a existência de diversos trabalhos sobre esta espécie nas mais diferentes áreas, pouco se conhece ainda sobre os seus aspectos fitossanitários. Sabe-se que as

doenças e os insetos são responsáveis, em parte, pela diminuição da produtividade das espécies arbóreas e que existem poucas informações sobre a ocorrência de insetos daninhos e patógenos registrados em plantios de espécies nativas. É provável que essa falta de informação seja pelo fato de essa espécie ser pouco explorada comercialmente, quando comparada com outras espécies florestais, como o eucalipto, por exemplo.

Por isso, obter informações detalhadas sobre as espécies-pragas e seus inimigos naturais como também sobre as doenças associadas à espécie *P. nitens* torna-se imprescindível ao produtor na realização de um diagnóstico precoce no campo, que lhe possibilita utilizar tecnologias favoráveis à adoção de medidas adequadas de controle (mais sustentáveis), a fim de reduzir aplicações de produtos fitossanitários.

Dessa forma, o objetivo desse capítulo é compilar os estudos sobre os insetos (daninhos e benéficos) e as principais doenças de *P. nitens*, contribuindo com informações relevantes para aqueles interessados que já vêm trabalhando ou venham a trabalhar com essa espécie florestal.

2 A entomofauna de *Pterogyne nitens*

Em geral, cada espécie botânica tem sua própria fauna (Costa, 1986). A fauna de insetos de *P. nitens* foi determinada pela primeira vez em 2013, no Brasil, em um plantio homogêneo, localizado no município de Vitória da Conquista, no Estado da Bahia, num trabalho preliminar em relação ao levantamento das principais ordens e famílias de insetos que estão associados a essa espécie florestal. Além desse estudo, nesse mesmo período e plantio, também foram pesquisados os insetos especificamente, associados aos frutos e às sementes daquela espécie.

Os estudos voltados para a entomofauna dessa Fabaceae foram realizados durante o período de um ano, por meio do uso de armadilhas do tipo Moericke (bandejas amarelas), obtendo-se 2.089 morfoespécies, distribuídas em dez ordens e 55 famílias (Tabela 1).

Tabela 1: Ordem, Família, Número de Indivíduos (Nº Ind.), Frequência Total (FT), Frequência Parcial (FP) e Frequência Total (F) dos insetos associados à *Pterogyne nitens* em Vitória da Conquista, BA.

(continua)

Ordem	Família	FP (%)	FT (%)	Nº Ind.
Hymenoptera	Anthophoridae	1,71	0,38	8
	Apidae	4,27	0,96	20
	Braconidae	1,28	0,29	6
	Chalcididae	2,14	0,48	10
	Colletidae	1,28	0,29	6
	Evaniidae	0,43	0,1	2
	Formicidae	25,43	5,7	119
	Ichneumonidae	7,69	1,72	36
	Pompilidae	27,99	6,27	131
	Scoliidae	1,28	0,29	6
	Sphecidae	1,07	0,24	5
	Vespidae	15,17	3,4	71
	Não identificado	10,26	2,3	48
	Total			468

(conclusão)

Ordem	Família	FP (%)	FT (%)	Nº Ind.
Hemiptera	Acanaloniidae	0,69	0,05	1
	Aethalionidae	1,39	0,1	2
	Aleyrodidae	1,39	0,1	2
	Alydidae	2,08	0,14	3
	Aphididae	6,94	0,48	10
	Cicadidae	1,39	0,1	2
	Cicadellidae	18,06	1,24	26
	Dictyopharidae	2,08	0,14	3
	Largidae	3,47	0,24	5
	Lygaeidae	1,39	0,1	2
	Membracidae	27,78	1,91	40
	Psyllidae	26,39	1,82	38
	Reduviidae	0,69	0,05	1
	Não identificado	6,25	0,43	9
	Total			144
Coleoptera	Buprestidae	2,3	0,1	2
	Carabidae	1,15	0,05	1
	Cerambycidae	1,15	0,05	1
	Chrysomelidae	37,0	1,8	32
	Coccinelidae	1,15	0,05	1
	Curculionidae	4,6	0,19	4
	Histeridae	3,45	0,14	3
	Lampyridae	4,6	0,19	4
	Meloidae	2,3	0,1	2
	Mordelidae	3,45	0,14	3
	Nitidulidae	1,15	0,05	1
	Scarabaeidae	1,15	0,05	1
	Staphilinidae	1,15	0,05	1
	Não identificado	35,63	1,48	31
	Total			87
Lepidoptera	Não identificado	100	2,25	47
Isoptera	Termitidae	100	0,29	6
Thysanoptera	Thripidae	100	0,19	4
Neuroptera	Chrysopidae	75	0,14	3
	Hemerobiidae	25	0,05	1
	Total			4
Mantodea	Mantidae	100	0,05	1
Orthoptera	Tettigoniidae	100	0,05	1
Identificado				2.041
Não identificado				48
Total Geral				2.089

Fonte: Paula (2022).

A ordem de maior predominância na área estudada foi Diptera (moscas e mosquitos), que abrangeu 1.279 indivíduos (61) (Tabela 1). Segundo Lucena *et al.* (2013), esses insetos apresentam preferência por armadilhas bandejas e de cor amarela, fato comprovado na pesquisa atual com a maior quantidade de indivíduos coletados dessa ordem. São conhecidas no Brasil 96 famílias de dípteros (Rafael *et al.*, 2012); destas, 10 % foram encontradas na área estudada (Tabela 1). Essa ordem possui uma megadiversidade de espécies e é de difícil identificação, requerendo, muitas vezes, até treinamento. Os hábitos alimentares dos dípteros são muitos variados (polinizadores, decompositores e inimigos naturais de outros insetos), inclusive dentro de uma mesma família (Triplehorn; Johnson, 2015).

Na Tabela 1, observam-se quatro famílias de Diptera – Asilidae, Muscidae, Sarcophagidae e Tachinidae –, pelo fato de possuírem representantes que são inimigos naturais. As espécies de Asilidae e algumas de Muscidae são predadoras e as espécies de Tachinidae, juntamente com algumas de Sarcophagidae, são parasitoides. Recomenda-se, então, que sejam feitos estudos aprofundados em plantios de madeira-nova dessas famílias, principalmente a de Tachinidae, que, nesse experimento, foi a de maior predominância (Tabela 1). As espécies de Tachinidae atuam no controle biológico de pragas, sendo parasitoides de lagartas de Lepidoptera, larvas e adultos de Coleoptera, ninfas e adultos de Hymenoptera, Hemiptera, Orthoptera e Mantodea (Rafael *et al.*, 2012).

A segunda maior ordem em abundância foi a Hymenoptera (formigas, vespas e abelhas), com 468 indivíduos (22%), distribuídos em 12 famílias (Tabela 1). A elevada quantidade de exemplares dessa ordem coletados no plantio chama a atenção, pela relevante função ecológica que o grupo possui, exercendo papéis fundamentais, como polinizadores e inimigos naturais, o que certamente provoca o equilíbrio populacional dos insetos-pragas dos ecossistemas. Dentre os himenópteros, a família Pompilidae, constituída por vespas parasitoides de aranhas, destacou-se, com 28%. Com relação aos himenópteros que realizam o controle populacional de insetos, foram coletados exemplares de Vespidae (15,1%) e Sphecidae (1,07%), os quais representaram as vespas predadoras, e Ichneumonidae (7,7%), Chalcididae (2,1%), Scoliidae (1,3%), Braconidae (1,3%) e Evaniidae (0,4%), os parasitoides (Tabela 1).

Os insetos polinizadores relatados em *P. nitens* são praticamente desconhecidos, no entanto as famílias de abelhas constatadas no estudo foram Anthophoridae (1,7%), Apidae (4,3%) e Colletidae (1,3%) (Tabela 1). Paula e Alves (1997) já haviam verificado que as flores de *P. nitens* recebem visitantes florais desse grupo, como também dos besouros *Adepimelitta debilis* (Gounelle, 1911) (Cerambycidae) (Clarke, 2016). Há relatos de abelhas *Tetragona clavipes* (Fabricius, 1804) (Apidae) em árvores de *P. nitens* que nidificam em ocos de árvores, de preferência vivas (Monteiro, 2021), o que ocorre em vários estados brasileiros, inclusive na Bahia. Além dessa espécie, podem-se encontrar ainda ninhos de *Trigona aff. fuscipennis* (Apidae) Friese, 1900, como relatado no Amazonas (Oliveira *et al.*, 2013).

A segunda maior família de Hymenoptera constatada foi a Formicidae (25%), que compreende uma das principais pragas das essências florestais brasileiras, as formigas cortadeiras do gênero *Acromyrmex* e *Atta* (Tribo: Attini). Em razão da sua grande capacidade de colonização

dos ambientes florestais e de sua permanente atividade forrageira, as formigas cortadeiras são consideradas como os mais importantes animais desfolhadores de vegetais na região Neotropical (Souza; Anjos; Silva, 2007), devendo então ser controladas antes da implantação de plantios florestais, como também monitoradas em todas as épocas do ano.

Insetos sugadores também foram coletados e compreenderam os Hemiptera, sendo a terceira ordem predominante, com 144 indivíduos coletados (7%) e distribuídos em 13 famílias. De acordo com cada subordem de Hemiptera, pode-se verificar que Auchenorrhyncha (cigarras e cigarrinhas) apresentou 74 indivíduos, distribuídos em seis famílias (Acanaloniidae, Aethalionidae, Cicadidae, Cicadellidae, Dictyopharidae e Membracidae), representando 51%; a subordem Heteroptera (percevejos) foi representada por 11 indivíduos (8%), distribuídos em quatro famílias (Alydidae, Largidae, Lygaeidae e Reduviidae), e a subordem Sternorrhyncha, com 50 indivíduos (35%), foi distribuída em três famílias: Aleyrodidae (moscas brancas), Psyllidae (psilídeos) e Aphididae (pulgões). Esse grupo merece maior atenção, por ser amplo e por conter espécies transmissoras de vírus e bactérias (Triplehorn; Johnson, 2011). Os Membracidae, que, neste estudo, apresentaram-se com 28% dos insetos coletados, sendo, inclusive, a família predominante dentro dos Hemiptera, devem ser levados em consideração, porque em algumas essências florestais (como em eucaliptais, por exemplo), quando em alta infestação, provocam irregularidades no crescimento e, como consequência, desuniformidade do plantio, além de propiciar o desenvolvimento de fungos (fumagina), diminuindo a taxa fotossintética das plantas (Menezes *et al.*, 2012).

Quanto aos besouros coletados, a ordem Coleoptera abrangeu 13 famílias, sendo Chrysomelidae a de maior abundância (Tabela 1). Diante do fato de que existe uma interação entre os bruquíneos com as partes reprodutivas (frutos e sementes) das fabáceas, provocando inclusive danos, deve-se dar uma atenção a esse grupo, já que pode interferir na germinação e na produção de mudas dessa espécie florestal.

As demais ordens, juntas, somam 63 indivíduos (3%), sendo essas Lepidoptera (mariposas e borboletas), Orthoptera (grilos, gafanhotos e esperanças), Thysanoptera (trips), Isoptera (cupins), Mantodea (louva-Deus) e Neuroptera (neurópteros). Apesar do baixo percentual de insetos coletados dessa ordem em comparação com as ordens predominantes (Diptera e Hymenoptera), ressalta-se o fato de que todos exercem um papel fundamental no plantio (Tabela 1). Alguns contribuem como inimigos naturais (mantódeos e neurópteros), outros se alimentam de vegetais (trips, lepidópteros e os orthópteros) e ainda existem aqueles que se alimentam da madeira (isópteros).

Diante do exposto, pode-se observar que a entomofauna do plantio de *P. nitens* possui uma diversidade significativa de insetos, principalmente quando os seus valores são comparados com os da entomofauna do nim indiano (*Azadirachta indica* A. Juss), relatados nos resultados de Freire (2012).

2.1 Insetos associados às partes reprodutivas de *Pterogyne nitens*, quantificação de danos e o consumo de substrato

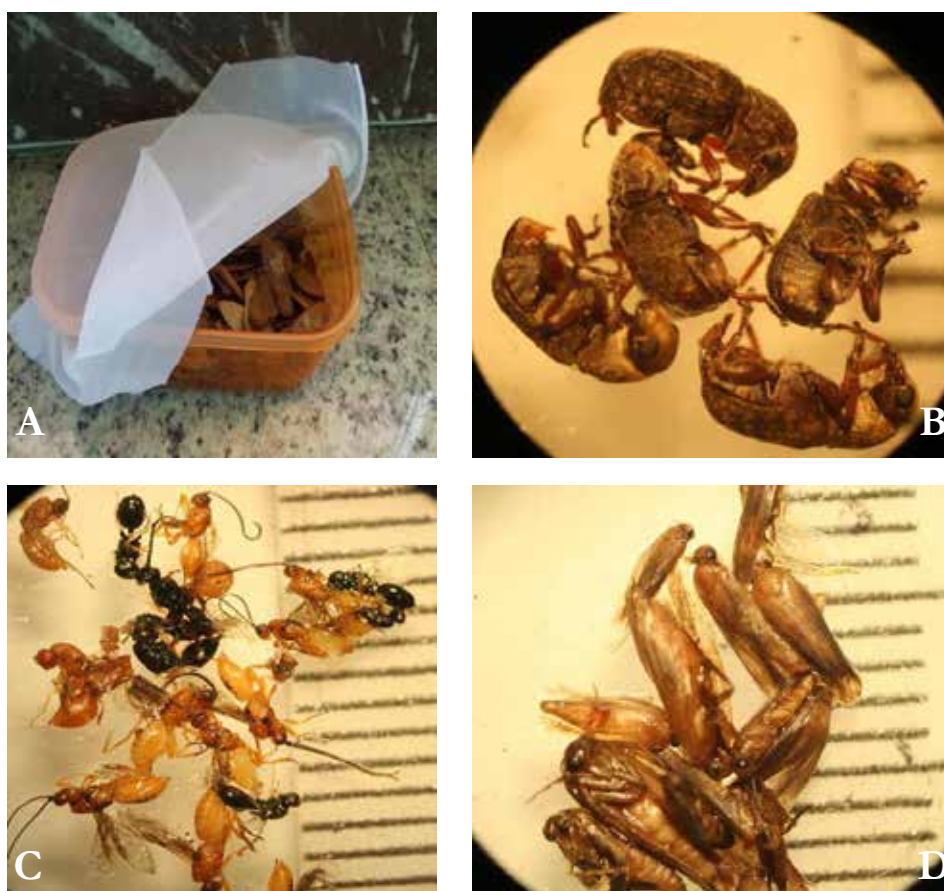
Tratando-se da fauna de insetos associados diretamente aos frutos e sementes de *P. nitens*, existem, até o momento, poucas contribuições. Sabe-se que *P. nitens* possui apenas uma semente

por fruto (sâmara), que pode persistir por um tempo longo na árvore, e que a espécie produz anualmente grande quantidade de sementes viáveis, mas passíveis de ser atacadas por insetos broqueadores quando não são coletadas em época apropriada (Carvalho *et al.*, 1980).

A fim de se determinar os broqueadores de sementes de *P. nitens* e quantificar os danos provocados por esse grupo de insetos, 300 sâmaras foram coletadas quinzenalmente de árvores matrizes dessa espécie de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana, no *campus* da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia em Vitória da Conquista, na Bahia. As coletas foram feitas de agosto de 2010 a dezembro de 2011.

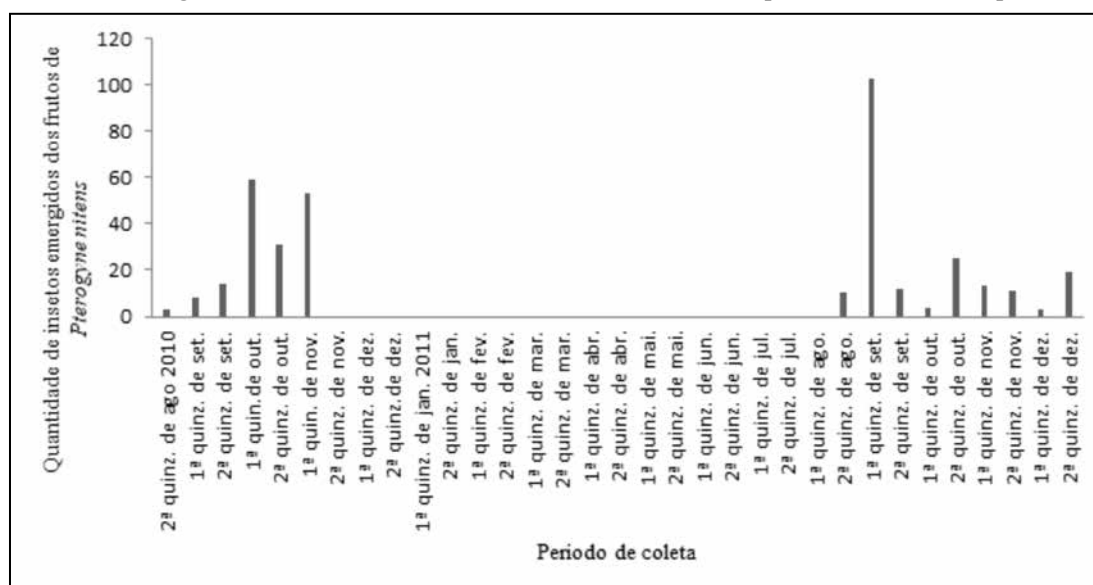
As sâmaras, após serem armazenadas em potes plásticos, cobertas com organza (Figura 1A) e observadas diariamente por um período de um ano e quatro meses, apresentaram emergência de 380 insetos adultos, pertencentes a três ordens: Coleoptera (68%) (Figura 1B), Hymenoptera (28%) (Figura 1C) e Lepidoptera (4%) (Figura 1D), e particularmente um pico de emergência de cerca de 100 insetos na terceira quinzena de setembro de 2011 (Figura 2). Essas três ordens estão em associação com as sementes de *P. nitens*, tanto no período de pré quanto de pós-dispersão.

Figura 1: Potes plásticos com sâmaras de *Pterogyne nitens* (A). Ordens coletadas em sementes de *Pterogyne nitens*: (Coleoptera (B), Hymenoptera (C); Lepidoptera (D).



Fonte: Costa (2022).

Figura 2: Quantidade de insetos emergidos dos frutos de *Pterogyne nitens* durante o período de coleta, entre agosto de 2010 a dezembro de 2011. Vitória da Conquista – BA. Quinz: quinzenal.



Fonte: Costa (2022).

Foram constatadas cinco famílias de besouros, a saber: Anthribidae (60%), Chrysomelidae (18%), Nitidulidae (15%), Staphylinidae (5%) e Tenebrionidae (2%). Verificou-se que as famílias Anobiidae, Cerambycidae, Cucujidae e Curculionidae, as quais contêm espécies sitófagas, não foram encontradas durante esta pesquisa.

Adultos de Anthribidae são encontrados em ramos mortos ou debaixo de cascas de árvores soltas. Normalmente, as larvas se alimentam de fungos, de sementes (Triplehorn; Johnson, 2011) do endosperma, o que pode justificar a presença dessa família nos frutos. Rodrigues (2013) também constatou, em maior quantidade, Anthribidae em potes com frutos de madeira-nova.

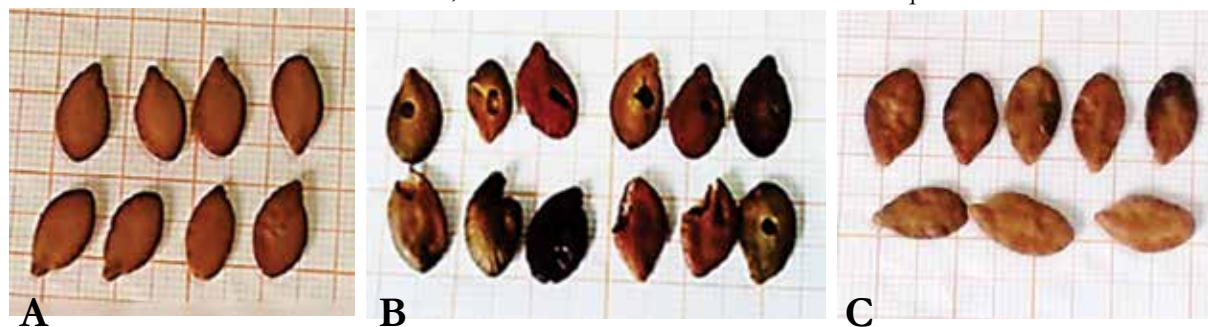
Já os Chrysomelidae emergiram somente da subfamília Bruchinae, com a coleta da segunda quinzena de setembro de 2010 (Figura 2), ou seja, as larvas desses insetos permaneceram no interior das sementes, consumindo-as, no período que antecedeu sua emergência. Larvas de Bruchinae alimentam-se do endosperma da semente ainda jovem, saindo desta quando não há mais substrato para o alimento. Os adultos, por sua vez, realizam a postura em sementes que estão quase ou totalmente desenvolvidas, mas alguns efetuam a oviposição em frutos ainda jovens. Esse comportamento daninho dos bruquíneos condiz com a preocupação relatada por Carvalho *et al.* (1980) em relação à época adequada para a coleta dos frutos, antes da oviposição desses insetos.

Nitidulidae, Staphylinidae e Tenebrionidae, que se apresentaram em quantidade inferior a 15%, possivelmente estavam em associação às sementes por causa da oferta de resíduos vegetais e do material em decomposição presente nos potes, material este oriundo dos resíduos das sementes brocadas pelos Anthribidae e Bruchinae.

Para a avaliação dos danos à semente de *P. nitens*, foram coletadas 2.700 sementes. Destas, 1.262 foram consideradas sementes sadias, com forma normal e livre de predação de insetos (46,74%), 893 predadas por insetos (33,07%) e 545 chochas, com formação anormal (20,19%),

conforme Figura 3. Resultados semelhantes foram obtidos por Nascimento (2009) na quantificação dos danos causados por insetos broqueadores em 1.376 sementes armazenadas de *Albizia lebeck*. Nesse estudo, o autor verificou 40,8% de sementes sadias, 34,6% chochas e 24,6% predadas.

Figura 3: Sementes de *Pterogyne nitens*. A – Sementes sadias; B – Sementes brocadas; C – Sementes chochas. Vitória da Conquista – BA.



Fonte: Costa (2022).

Em casos de infestações mais severas de sitófagos, o nível de sementes predadas poderá atingir percentuais ainda mais expressivos, como os verificados por Link, Tarragó e Costa (1988), que observaram 79,8% de danos em sementes de *Acacia caven* (Fabaceae), e por Nascimento (2009), que, estudando a predação de sementes da espécie *Albizia lebeck* (Fabaceae), registrou 70% das sementes danificadas por insetos.

Com relação ao consumo de substrato da semente de madeira-nova, os autores verificaram que, a partir do teste t, a 5% de probabilidade, houve diferença estatística significativa entre as médias de peso de sementes sadias e predadas. O consumo médio de substrato alcançou percentual de 44,2% do peso das sementes de madeira-nova (Tabela 2). Em sementes de *Melonoxylon braunea* (braúna), verificaram um consumo de 45,2% em ataque de coleópteros (Santos, 1991), constatando um valor de mesma grandeza do encontrado em *P. nitens*.

Tabela 2: Consumo de substrato de sementes de *Pterogyne nitens* sadias e predadas, Vitória da Conquista – BA.

Lotes	Sadias	Predadas	Variância
1	5,9532	2,9772	0,0027
2	6,5842	4,2538	0,0267
3	8,4965	4,1825	0,0004
4	74701	4,1581	0,0006
5	9,4885	5,637	0,02

Fonte: Costa (2022).

Os resultados obtidos evidenciaram grande escala de consumo de substrato de sementes armazenadas de madeira-nova, o que possivelmente acarretará uma perda acentuada da viabilidade dessas sementes. No entanto, são válidas as informações sobre taxas de predação, pois proporcionam subsídios para prevenir os consequentes danos às sementes.

O ataque de insetos a sementes pode comprometer o seu vigor e germinação e, consequentemente, reduzir a sua viabilidade na produção de mudas em viveiros e estabelecimento de plântulas, além de servir como porta para fungos e outros agentes patogênicos (Santos *et al.*, 1997). Dessa forma, produtores que pretendem desenvolver um programa de produção de mudas, com sementes de madeira-nova por exemplo, para arborização, recuperação de áreas degradadas ou mesmo constituição de plantios comerciais, podem sofrer com perdas consideráveis (Souza; Anjos; Magistrali, 2008).

3 Insetos-pragas associados à *Pterogyne nitens*

A maioria das espécies de insetos associadas à madeira-nova ainda é desconhecida. Entre os insetos considerados daninhos à *P. nitens* estão aqueles que atacam as partes reprodutivas dessa espécie florestal, os quais constituem a maior parte, embora existam outros grupos que também merecem importância.

Salienta-se o fato de que as espécies relatadas, abaixo, são de importância relevante para estudos relacionados à biotecnologia. Mas existiram dificuldades para a obtenção de informações sobre o comportamento daninho e sobre dados biológicos, informações estas que podem ser utilizadas no controle das espécies, as quais podem atingir níveis populacionais altos, capazes de causar prejuízos econômicos.

3.1 Ordem Coleoptera

Encontram-se, a seguir, observações sobre espécies de besouros que provocam danos à *P. nitens*, num total de seis famílias, a saber: Anthribidae, Chrysomelidae, Cerambycidae, Anobiidae, Cucujidae e Curculionidae.

Família: Anthribidae

Araecerus Schönherr, 1823

Ormiscus sp. Waterhouse, 1845

Araecerus Schönherr, 1823

O gênero *Araecerus* é conhecido por causar danos em produtos agrícolas como em grãos de café, cacau e algodão (Lima, 1956), provocando como injúrias os orifícios de emergência dos adultos (Gallo *et al.*, 2002). Entretanto, *Araecerus* também broqueia sementes de espécie florestal, como pode ser observado em *P. nitens* (Costa, 2013) (Figura 4).

Entre as espécies de *Araecerus*, *A. fasciculatus* (Deg.) é a espécie mais conhecida e muito pesquisada, por ser considerada uma praga de importância econômica em grãos armazenados, tendo a biologia e o comportamento já estudados por Gonçalves, Vitrán e Bitran (1976) e o controle observado por Navarro, S. e Navarro, H. (2018).

Ormiscus sp. Waterhouse, 1845

O primeiro registro de *Ormiscus* sp. durante o ataque a sementes de *P. nitens* ocorreu no Estado de São Paulo, ocasionando um comprometimento na germinação dessa espécie florestal (Zidko, 2002; Souza, M. E. P.; Souza, R. M.; Anjos, 2007; Rodrigues, 2013). Santos *et al.* (1989) constatarem *Ormiscus vulgaris* em sementes da espécie florestal *Apuleia leiocarpa*.

Figura 4: Vista parcial do adulto de *Araecerus* sp. coletado em sementes de *Pterogyne nitens*, Vitória da Conquista – BA.



Fonte: Costa (2022).

Família: Chrysomelidae (Bruchinae)

Merobruchus Bridwell, 1946

Callosobruchus maculatus Fabricius, 1775

Acanthoscelides Schilsky, 1905

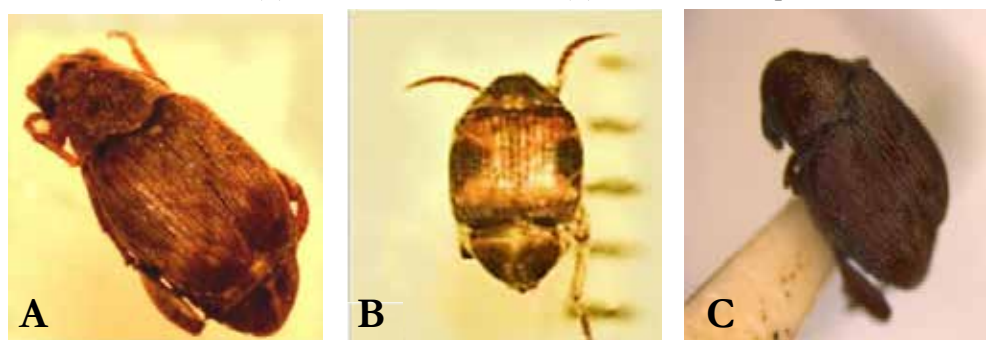
Sennius Bridwell, 1946

Merobruchus Bridwell, 1946

As espécies de *Merobruchus* (Figura 5A) constituem-se em insetos que se alimentam de sementes (sitófagos), sendo muito estudadas, porque atacam sementes de feijão e se desenvolvem quase que exclusivamente em sementes de Mimosoideae (Fabaceae) das tribos Acacieae, Ingeae e Mimoseae, o que revela uma alta especialização (Zimmermann, 2015). A alta especialização desse gênero de sitófagos associados às Fabaceae justifica a constatação de *Merobruchus* sp. alimentar-se, em laboratório, de sementes de *P. nitens*, na Bahia (Costa, 2013). Essa espécie de inseto constrói um único orifício nas sementes, além de destruir completamente o conteúdo amiláceo. Zimmermann (2015) citou a espécie *M. paquetae* associada às sementes de *P. nitens* relatando o mesmo comportamento daninho.

Já existem relatos sobre a ocorrência desse gênero em sementes e frutos de outras espécies florestais, conforme constatado nos estudos realizados por Lima (2000), Silva e Ribeiro-Costa (2008) e Rodrigues (2013).

Figura 5: Adultos de Chrysomelidae (Bruchinae). (A) *Merobruchus* sp. (B) *Callosobruchus maculatus*. (C) *Acanthoscelides* sp.



Fonte: Costa (2022).

Callosobruchus maculatus Fabricius, 1775

Callosobruchus maculatus é uma espécie de Bruchinae muito conhecida e de importância econômica, por ser uma das principais pragas de grãos armazenados de feijão, que mantém, até mesmo, uma associação importante com as sementes de diversas espécies florestais de Fabaceae. Essa espécie foi constatada, a propósito, broqueando sementes de madeira-nova no Estado na Bahia (Costa, 2013) (Figura 5B).

Maiores estudos devem ser feitos sobre *C. maculatus* em madeira-nova e informações relevantes para possíveis criações em laboratório com essa espécie florestal podem ser verificadas no trabalho de Santana (2013).

Outros bruquíneos já foram coletados na madeira-nova, nos estudos realizados por Viana (2014), como o gênero *Acanthoscelides* (Figura 5C) (Souza; Anjos; Magistrali, 2008) e a espécie *Sennius* sp. nov18.

Família: Cerambycidae

Lophopoeum timbouvae Lameere, 1884

O primeiro registro de *Lophopoeum timbouvae* (Lamiinae) se alimentando dos frutos de madeira-nova foi feito no trabalho de Casari e Teixeira (2014), no Estado de São Paulo, no qual os autores realizaram descrições detalhadas sobre a morfologia larval e pupal desse cerambicídeo. Na Bahia, Costa (2013) coletou adultos de *L. timbouvae* em frutos armazenados de madeira-nova, mas essa espécie pode ocorrer ainda em Pernambuco, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e no Rio Grande do Sul (Barros *et al.*, 2019).

Lophopoeum timbouvae ataca frequentemente também as vagens de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*), danificando-as e podendo, inclusive, ser responsável pela baixa percentagem de germinação das suas sementes (Link; Costa, 1995).

Não se conhece, até o presente momento, informações sobre os danos que essa espécie de inseto pode causar na madeira-nova.

Família: Anobiidae

Tricorynus Waterhouse, 1849

Larvas de *Tricorynus* (Figura 6) têm condições de danificar frutos e sementes de diversas espécies florestais (Link; Tarragó e Costa, 1988). Na madeira-nova, o registro de ocorrência deu-se pela primeira vez no Brasil, no Estado de São Paulo (Rodrigues, 2013; Zidko, 2002). O gênero, por ser xilófago, tem condições de digerir a celulose e buscar materiais nutritivos, como o amido, açúcar e proteínas existentes nos frutos e nas sementes (Morre, 1993).

Entre as espécies que compreende esse gênero, *T. herbarius* vem sendo estudada, pelo alto índice de destruição em frutos e/ou sementes florestais constituídas de material lenhoso e com embrião rico em amido (Lima, 2000). Essa autora constatou essa espécie de inseto em ataques a frutos e sementes de *Bertholletia excelsa*, *Copaifera langsdorffii*, *Chloroleucon foliolosum*, *Prosopis juliflora*, *Guarea guidonia*, *Pterygota brasiliensis* e *Aegiphila sellowiana*.

Dados sobre a biologia dessa espécie, no Brasil, podem ser verificados por meio de estudo inédito realizado por Silva, Anjos e Serrao (2004).

Figura 6: Adulto de Anobiidae. (H) *Tricorynus herbarius* (aumento de 1,5 x).



Fonte: Paula (2022).

Família: Cucujidae

Cathartus quadricollis (Guérin-Meneville, 1892)

Os Cucujidae atacam grãos *in natura*, como também subprodutos processados. Possuem representantes que são pragas secundárias de grãos armazenados e atacam os grãos mais suscetíveis, que já sofreram ataques por pragas primárias, ou seja, não atacam os grãos intactos.

Cathartus quadricollis é uma espécie que foi encontrada durante ataque a sementes de madeira-nova, em Minas Gerais, que são danificadas, com consequente perda de massa seca e redução do seu poder germinativo (Souza *et al.*, 2007). Em razão dessas consequências, recomendam-se maiores investigações quando encontrada, pois apresentou-se como uma praga primária.

Família: Curculionidae

Hypothenemus obscurus (Fabricius, 1801)

Existem muitas espécies de *Hypothenemus* (Scolitinae) (Figura 7), que se alimentam e procriam em galhos, madeiras recém-cortadas, árvores danificadas, vagens e sementes de uma grande variedade de hospedeiros (Constantino *et al.*, 2011).

O curculionídeo *H. obscurus* já foi identificado em sementes de *P. nitens* por (Souza, M. E. P.; Souza, R. M.; Anjos, 2008), mas como essa espécie também tem a capacidade de broquear galhos de algumas espécies florestais, desenvolvendo-se nas galerias (Constantino *et al.*, 2011), deve-se redobrar a atenção no campo.

Figura 7: Adulto de Curculionidae (Scolitinae). *Hypothenemus* sp.



Fonte: Paula (2022).

3.2 Ordem Blattodea (Infraordem Isoptera)

Família: Termitidae

Nasutitermes Dudley, 1890

Os cupins da família Termitidae constroem ninhos sobre o solo, dentro do solo ou em árvores e podem ter mais de um milhão de indivíduos no interior das suas colônias (Triplehorn; Johnson, 2015).

São insetos que exercem um papel imprescindível ao equilíbrio ambiental, como decompositores e consumidores primários de uma ampla variedade de fontes de vegetais (madeira, úmida, morta, húmus, entre outras fontes), mas quando se apresentam em alta quantidade numa plantação causam sérios prejuízos (Fontes, 1998).

As espécies de *Nasutitermes*, também conhecidas por cupins-de-solo, podem aparecer em árvores a partir de 2 anos de idade. São espécies que iniciam a infestação pelas raízes e instalam-se no tronco, deixando o cerne das árvores oco. Além disso, ainda podem atacar toras e desdobros de madeiras armazenadas em campo, formando galerias e construindo caminhos para interligar as fontes alimentares e o ninho principal (Cantarelli; Costa, 2014).

A madeira-nova possui resistência moderada a ataques de organismos xilófagos e pode ser atacada por *Nasutitermes*, como foi estudado por Dias e Paula (2009), num plantio no Estado da Bahia (Figura 8A). As autoras verificaram que esses insetos constroem galerias, broqueando toda a árvore e levando alguns indivíduos à morte (Figura 8B).

Figura 8: Adulto de Termitidae. (A) *Nasutitermes* sp. (B) Amostra de *Pterogyne nitens*, coletada em campo, que apresenta galerias construídas por *Nasutitermes* sp., em Vitória da Conquista, na Bahia.



Fonte: Paula (2022).

3.3 Ordem Hemiptera

Família: Pentatomidae

Euschistus heros (Fabricius, 1798)

Uma notificação relevante deve ser dada ao percevejo-marrom *Euschistus heros*. Esse inseto é considerado uma das principais pragas da soja, no Brasil, tendo a *P. nitens* como hospedeiro secundário, pois não a ataca, mas permanece em suas folhas, enrolado, durante o período de diapausa (Godoy *et al.*, 2010; Wagner, 2017). Diante disso, os produtores de soja devem se preocupar com a presença de *P. nitens* nas áreas próximas à cultura de soja.

4 Métodos de controle

Ainda não há trabalhos específicos sobre os métodos de controle voltados para cada uma das espécies de insetos relatadas em povoamentos de madeira-nova. Mas, logo a seguir, pode-se confirmar que algumas destas possuem inimigos naturais.

Para *Araecerus*, podem-se citar os himenópteros parasitoides *Anisopteromalus calandrae* Howard, *Cleonymus texanus* Crawford (Pteromalidae), *Apanteles araeceri* Wilkinson (Braconidae), *Cephalonomia gallicola* (Ashmead) (Bethylidae), *Eupelmus cushmani* (Crawford) (Eupelmidae), *Eurytoma pini* Bugbee, *E. javae* Girault (Eurytomidae), os quais são parasitoides das larvas, e os ácaros *Moniezjella* Berlese, 1897 (Acari) e *Pyemotes tritici* Lagrèze-Fossat and Montané (Acari), que são predadores dos ovos (CABI, 2020).

Os himenópteros parasitoides associados às espécies de *Callosobruchus* são: *Dinarmus* spp., *Lariophagus distinguendus* (Förster), *Anisopteromalus calandrae* Howard (Hymenoptera: Pteromalidae), *Eupelmus* spp. (Hymenoptera: Eupelmidae), *Uscana* spp., (Hymenoptera: Trichogrammatidae) e *Heterospilus prosopidis* Viereck (Hymenoptera: Braconidae) (CABI, 2020).

Com relação ao broqueador *M. paquetae*, podem-se citar as espécies de himenópteros parasitoides: *Horismenus* sp. (Eulophidae) (Figura 9A), *Eupelmus* sp. (Eupelmidae), *Eurytoma* sp. (Eurytomidae), *Bracon* sp (Figura 9B) *Heterospilus* sp. (Figura 9C) e *Stenocorse* sp. (Braconidae) (Nascimento, 2009).

Figura 9: Adulto de Eulophidae.(A) *Horismenus* sp. Adultos de Braconidae. (B) *Bracon* sp. e (C) *Heterospilus* sp.

Fonte: Paula (2022).

5 Doenças associadas à *Pterogyne nitens*

As doenças florestais são responsáveis, em parte, pela diminuição da produtividade das espécies arbóreas. Até o momento, as doenças registradas em florestas têm sido provocadas principalmente por fungos, com alguns registros de ocorrência de bactérias e raros registros da ação de vírus ou outros microrganismos. Para a maioria das espécies florestais nativas, existem poucas informações sobre a ocorrência de doenças. Nas regiões tropicais, a umidade e a temperatura elevadas são favoráveis ao crescimento e desenvolvimento de patógenos, fazendo com que as espécies nativas dessas regiões se tornem vulneráveis ao ataque desse grupo, bem como dos insetos, que provocam danos diretos e indiretos, com a transmissão de doenças.

Os patógenos que atacam as espécies florestais não têm recebido a devida atenção ao longo dos anos, o que leva a um desconhecimento sobre os mecanismos de transmissão, métodos utilizados de penetração na planta, modos de ação e danos causados (Homechin; Pizzinatto; Menten, 1986; Singh, 1997), bem como sobre as perdas econômicas provocadas (Carneiro, 1987).

Na literatura, até o presente momento, poucos são os relatos da existência de doenças em plantas de madeira-nova. Azevedo *et al.* (2011) relatam a presença dos fungos *Cercospora* sp. e *Oidium* sp. em folhas dessa espécie. Os fungos do primeiro gênero afetam as folhas, causando lesões arredondadas, levemente deprimidas, de coloração amarronzada, com o centro acinzentado e circundadas por um halo clorótico (Figura 10A).

Figura 10: Folhas de *Pterogyne nitens* que contêm lesões provocadas por *Cercospora* sp. (A) e por *Oidium* sp. (B), no município de Vitória da Conquista, na Bahia.



Fonte: Azevedo (2021).

Os fungos do segundo gênero provocam manchas irregulares, observadas na face abaxial das folhas, que são cobertas por um crescimento pulverulento, formado por estruturas do patógeno, típico dos oídios (Figura 10B).

Plantas de madeira-nova têm apresentado sintomas de amarelecimento foliar e pouco desenvolvimento de plantas jovens na Região Sudoeste da Bahia. A presença de árvores com e sem sintomas bem como a reprodução dos sintomas, obtida da enxertia de ramos sintomáticos em plantas saudáveis, sugerem a ocorrência de algum agente patogênico associado às plantas afetadas (Dias, 2009).

Em sementes, alguns fungos também já foram encontrados, tais como: *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium moniliforme*, *Cladosporium* sp., *Rhizoctonia* sp., *Phoma* sp. e *Alternaria alternata* (Nascimento *et al.*, 2006). Em trabalho realizado por Medeiros *et al.* (2013), foi encontrada uma microflora semelhante àquela observada por Nascimento *et al.* (2006), acrescentando-se a ela os fungos dos gêneros *Curvularia* e *Rhizopus*. Vale dizer que todos os fungos encontrados estão apenas associados às sementes. No entanto, todos os gêneros apresentam um grande potencial para causar doenças em plantas.

6 Considerações finais

A identificação de insetos e de doenças é de grande importância para o manejo fitossanitário em espécies florestais. Os aspectos de controle podem variar, conforme a espécie de inseto ou de microrganismo presente na planta, permitindo a aplicação de técnicas de manejo adequadas.

As informações apresentadas acerca dos patógenos, neste capítulo, servirão de base para futuras pesquisas, na busca do controle das doenças mencionadas, haja vista que esses patógenos já foram devidamente identificados.

No tocante à fauna de insetos, o conteúdo abordado mostra a existência de uma variedade de insetos, salientando, com isso, a responsabilidade necessária para evitar o desequilíbrio nas interações ecológicas que estão presentes no plantio. Além disso, espera-se que novos estudos

sejam feitos sobre os besouros broqueadores de frutos e sementes e os cupins-de-solo, os quais se mostraram ser potenciais pragas dessa cultura, a fim de que se faça o controle racional desses insetos.

Referências

- AZEVEDO, G. B.; FERREIRA, G. F. P.; SOUSA, G. T. O.; NOVAES, Q. S. Fungos associados a árvores e arbustos em vias públicas de Vitória da Conquista, BA. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-14, 2011.
- BARROS, R. C.; FONSECA, M. G.; VENDRAMINI, V. E.; ARVARENGA, J. C. E. Species of Lamiinae (Insecta, Coleoptera, Cerambycidae) from east Paraná State (Brazil), with new geographic records. *Zootaxa*, Auckland, v. 4545, n. 2, p. 179-204, 2019.
- CLARKE, R. O. S. Provisional revision of the genus *Epimelitta* Bates, 1870 and associated genera, with a brief synopsis of the genus *Acorethra* Bates, 1873 (Coleoptera, Cerambycidae). *Insecta Mundi*, Gainesville, v. 0504, p. 1-43, 2016.
- CENTRE FOR AGRICULTURE AND BIOSCIENCE INTERNATIONAL (CABI). *Crop Protection Compendium*. Detailed coverage of invasive species threatening livelihoods and the environment worldwide. 2020. Disponível em: www.cabi.org/isc/datashe. Acesso em: 20 dez. 2021.
- CANTARELLI, E. B.; COSTA, E. C. *Entomologia florestal aplicada*. Santa Maria: UFSM, 2014.
- CARNEIRO, J. S. Teste de sanidade de sementes de essências florestais. In: SOAVE, J.; WETZEL, M. M. V. S. (org.). *Patologia de sementes*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 363-393.
- CARVALHO, M. M.; SOUZA FILHO, J. F.; GRAZIANO, T. T.; AGUIAR, I. B. Maturação fisiológica de sementes de amendoim-do-campo (*Pterogyne nitens* Tul.). *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 2, n. 2, p. 23-28, 1980.
- CASARI, S. A.; TEIXEIRA, E. P. Immatures of Acanthocinini (Coleoptera, Cerambycidae, Lamiinae). *Revista Brasileira de Entomologia*, Curitiba, v. 58, n. 2, p. 107-128, 2014.
- CONSTANTINO, L. M.; NAVARRO, L.; ALEJANDRO, B.; ACEVEDO, F. E.; RUBIO, D.; VIDES, P. B. Aspectos biológicos, morfológicos y genéticos de *Hypothenemus obscurus* e *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Revista Colombiana de Entomología*, Valle del Cauca, v. 37, n. 2, p. 173-182, 2011.
- COSTA, E. C. *Artrópodes associados à bracatinga (Mimosa scabreila Benth.)*. 1986. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.
- COSTA, E. M. *Coleópteros broqueadores de sementes de Pterogyne nitens Tul. em Vitória da Conquista - BA*. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2013.
- DIAS, P. C.; PAULA, R. C. A. L. Ocorrência de *Nasutitermes* sp. (Isoptera – Termitidae) em *Pterogyne nitens* Tul., (Leguminosae – Caesalpinioideae) em Vitória da Conquista – BA. In:

SEMINÁRIO FLORESTAL DO SUDOESTE DA BAHIA, 1., 2009, Vitória da Conquista. *Anais* [...]. Vitória da Conquista: UESB, 2009. p.139-142.

DIAS, P. C. *Estudos sobre a etiologia do mosaico amarelo da madeira-nova (Pterogyne nitens Tul.)*. 2009. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2009.

FIGUEIREDO, M. E. O.; LONGUE JÚNIOR, D.; PEREIRA, A. K. S.; A. CARNEIRO, C. O.; SILVA, C. M. S. Potencial da madeira de *Pterogyne nitens* Tul. (madeira-nova) para produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 420-431, 2018.

FONTES, L. R. Cupins nas pastagens do Brasil: algumas indicações de controle. In: FONTES, L. R.; BERTI FILHO, E. (org.). *Cupins: o desafio do conhecimento*. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 211-225.

FREIRE, G. M. *Insetos associados à cultura do nim indiano (Azadirachta indica a. juss) em Vitória da Conquista - BA*. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2012.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. D. L.; BATISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIN, J. D. *Manual de Entomologia Agrícola*. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2002.

GODOY, K. B.; ÁVILA, C. J.; DUARTE, M. M.; ARCE, C. C. Parasitismo e sítios de diapausa de adultos do percevejo marrom, *Euschistus heros* na região da Grande Dourados, MS. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1119-1202, 2010.

GONÇALVES, L. I.; VITRÁN, H. V.; BITTRAN, E. A. Contribuição ao estudo da biologia do baruncho do café *Araecerus fasciculatus* (De Geer, 1775) (Coleoptera : Anthribidae). *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, v. 43, n. 3-4, p. 81-88, 1976.

HOMECHIN, M.; PIZZINATTO, M. A.; MENTEN, J. O. M. Sanidade de sementes de *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus taeda* e patogenicidade de *Fusarium oxysporum* em plântulas de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. *Summa Phytopathologica*, Jaguariúna, v. 12, n. 12, p. 103-112, 1986.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). *Relatório Ibá 2021: ano base 2020*. Brasília, DF, 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS FLORESTAIS (IPEF). Modelos de florestas nativas ou mistas. Indicadores de avaliação de funções ecológicas em florestas plantadas. *Produtos Técnicos*, v. 1, n. 1, 2012. Disponível em: produto_tecnico_v1_n1_modelos_indicadores.pdf. Acesso em: 29 jan. 2021.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

LINK, D.; TARRAGÓ, M. F. S.; COSTA, E. C. Insetos associados às sementes do espinilho *Acacia caven* (Molina). In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 6., 1988, Nova Prata, RS. *Anais* [...]. Nova Prata, RS: Prefeitura Municipal de Nova Prata/Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 1988. v. 1, p. 569-573.

- LINK, D.; COSTA, E. C. Danos causados por insetos em sementes de timbaúva, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. *Ciência Florestal*, v. 5, n. 1, p. 113-122, 1995.
- LIMA, A. C. M. *Insetos do Brasil: coleópteros*. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, 1956.
- LIMA, R. C. A. *Insetos associados a carpotecas em Viçosa-MG*. 2000. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- LUCENA, M. S.; GUEDES, R. S.; AMORIM, P. C.; SANTOS, W. S.; ANDRADE, N. A. Captura de Insetos em Bandejas Coloridas em Vegetação no Campus da UFCG, Patos, Paraíba. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FLORESTAL, 4., 2013, Vitória da Conquista. *Anais [...]*. Vitória da Conquista: UESB, 2013. p. 288-294.
- MEDEIROS, J. G. F.; ARAUJO NETO, A. C.; MEDEIROS, D. S.; NASCIMENTO L. C.; ALVES, E. U. Extratos vegetais no controle de patógenos em sementes de *Pterogyne nitens* Tul. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 384-390, 2013.
- MENEZES, C. W. G.; SOARES, M. A.; ASSIS JÚNIOR, S. L.; FONSECA, A. J.; PIRES, E. M.; SANTOS, J. B. Novos insetos sugadores (Hemiptera) atacando *Eucalyptus cloeziana* (Myrtaceae) em Minas Gerais, Brasil. *EntomoBrasilis*, Vassouras, v. 5, n. 3, p. 246-248, 2012.
- MONTEIRO, W. R. Abelha borá (*Tetragona clavipes*) (Fabricius). *Revista Mensagem Doce*, São Paulo, n. 61, p. 2, 2021.
- MORRE, H. B. *An Introduction to Wood Destroying Insects: Their Identification, Biology, Prevention and Control*. Cleveland: Edgell Communications, 1993.
- NASCIMENTO, W. M. O.; CRUZ, E. D.; MORAES, M. H. D.; MENTEN, J. O. M. Qualidade sanitária e germinação de sementes de *Pterogyne nitens* Tul. (Leguminosae – Caesalpinioideae). *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 28, n. 1, p. 149-153, 2006.
- NASCIMENTO, L. S. *Ecologia de Bruchidae na predação pré-dispersão de sementes de Albizzia lebbbeck (Benth.) em arborização*. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.
- NAVARRO, S.; NAVARRO H. Insect Pest Management of Oilseed Crops, Tree Nuts and Dried Fruits. In: ATHANASSIOU C., ARTHUR F. (ed.). *Recent Advances in Stored Product Protection*. Berlin: Springer, 2018. p. 99-141.
- OLIVEIRA, F. F.; RICHERS, B. T.; SILVA, J. R.; FARIAS, R. C.; MATOS, T. A. L. *Guia ilustrado das abelhas “sem ferrão” das reservas Amanã e Mamirauá, Brasil (Hymenoptera, Apidae, Meloponini)*. Tefé: IDSMM, 2013.
- PAULA, J. L.; ALVES, J. L. H. *Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, produção e uso*. Brasília: Fundação Mokiti Okada-MOA, 1997.
- RAFAEL, J. A.; G. A. R.; MELO; C. J. B.; CARVALHO; R.; CONSTANTINO, L. M. *Insetos do Brasil – diversidade e taxonomia*. Ribeirão Preto: Holos, 2012.

REGASINI, L. O.; FERNANDES, D. C.; CASTRO-GAMBOA, I.; SILVA, D. H. S.; FURLAN, M.; BOLZANI, V. S. Constituintes químicos das flores de *Pterogyne nitens* (Caesalpinoideae). *Revista Química Nova*, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 802-806, 2008.

RODRIGUES, L. M. S. *Insetos predadores de sementes e suas relações com a qualidade e a morfologia de frutos e sementes*. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2013.

SANTANA, M. C. *Identificação de poligalacturonases expressas no sistema digestório de Callosobruchus maculatus (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae)*. 2013. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SANTOS, G. P.; ZANUNCIO, J. C.; ANJOS, N.; ASSIS JÚNIOR, S. L. Danos causados por insetos a sementes de garapa, *Apuleia leiocarpa* (Leguminosae: Caesalpinoideae). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v. 18, n. 2, p. 257-265, 1989.

SANTOS, G. P. Danos causados por *Sennius cupreatus* e *S. spodiogaster* (Coleoptera: Bruchidae) em sementes de *Melanoxylon brauna*. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 218, n. 38, p. 315-322. 1991.

SANTOS, G. P.; ZANUNCIO, T. V.; ASSIS JÚNIOR, S. L.; ZANUNCIO, J. C. Daños por *Sennius amazonicus*, *Sennius* sp. y *Amblycerus* sp. (Coleoptera: Bruchidae) en semillas de *Sclerobium* sp. (Leguminosae). *Revista de Biología Tropical*, Costa Rica, v. 45, n. 2, p. 883-886, 1997.

SILVA, J. A. P.; RIBEIRO-COSTA, C. S. Morfologia comparada dos gêneros do grupo *Merobruchus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae): diagnoses e chave. *Revista Brasileira de Zoologia*, Curitiba, v. 25, n. 4, p. 802-826, 2008.

SILVA, C. R.; ANJOS, N.; SERRAO, J. E. Biologia da broca-do-livro *Tricorynus herbarius* (Gorham) (Coleoptera: Anobiidae) em duas dietas diferentes. *Neotropical Entomological*, Londrina, v. 33, n. 6, p. 673-677, 2004.

SINGH, P. Tree seed pathogens and seed diseases: their detection and management in sustainable forestry. In: PROCHÁZKOVÁ, Z.; SUTHERLAND, J. R. (org.). *Proceedings of the ISTA Tree Seed Pathology Meeting*. Opocno: ISTA, 1997. p. 9-22.

SOUZA, M. E. P.; SOUZA, R. M.; ANJOS, N. Nova ocorrência de *Ormiscus* sp. (Col.: Anthribidae) em frutos e sementes de amendoim-bravo (*Pterogyne nitens* Tul. - Fabaceae), em Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 22., 2007, Viçosa. *Anais [...]*. Viçosa, UFV, 2007.

SOUZA, R. M.; ANJOS, N.; DE NADAI, J.; CORDEIRO, G. Ataque de *Cathartus quadricollis* (Guérin-Meneville COol: Cucujidae) a sementes de Amendoim-bravo (*Pterogyne nitens* Tul.) In: SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE, 4., 2007, Viçosa. *Anais [...]*. Viçosa: UFV, 2007.

SOUZA, M.; ANJOS, N.; SILVA, C. R. Essências florestais forrageadas por formigas cortadeiras no Brasil. *Biológico*, São Paulo, v. 69, suplemento 2, p. 475-544, 2007.

SOUZA, R. M.; ANJOS, N.; MAGISTRALI, I. C. Bruquíneos associados à *Pterogyne nitens* Tul (Fabaceae). In: SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE, 5., 2008, Viçosa. *Anais [...]*. Viçosa: UFV, 2008. CD-ROM.

SOUZA, M. E. P.; SOUZA, R. M.; ANJOS, N. Ocorrência de *Hypocybenemus obscurus* Fabricius (Col: Scolitidae) em sementes de amendoim-bravo (*Pterogyne nitens* Tul. – Fabaceae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 22., 2008, Uberlândia. *Anais* [...]. Uberlândia: SEB, 2008. CD-ROM.

TRIPLEHORN, C. A.; JONNSOEN, N. F. *Estudo dos insetos*. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

VIANA, J. H. *Sennius Bridwell, 1946 (Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae): análise cladística com associação de plantas hospedeiras e revisão taxonômica das espécies sul-americanas*. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2014.

WAGNER, F. O. *Bioassays by ingestion and modes of action of insecticides to characterize susceptibility and resistance of stink bugs E. heros and D. melacanthus*. 2017. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

ZIDKO, A. *Coléopteros (Insecta) associados às estruturas reprodutivas de espécies florestais arbóreas nativas no estado de São Paulo*. 2002. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

ZIMMERMANN, D. M. *Análise filogenética e taxonomia de Merobruchus Bridwell, 1946 (Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae)*. 2015. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.