

INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE EM RECURSOS FLORESTAIS



Liniker Fernandes da Silva
Deoclides Ricardo de Souza
Teresa Aparecida Soares Freitas
(Organizadores)



INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE EM RECURSOS FLORESTAIS

REITOR

Fábio Josué Souza dos Santos

VICE-REITOR

José Pereira Mascarenhas Bisneto

SUPERINTENDENTE

Rosineide Pereira Mubarack Garcia

CONSELHO EDITORIAL

Leila Damiana Almeida dos Santos Souza

Leilane Silveira D'Ávila

Luciana da Cruz Brito

Maurício Ferreira da Silva

Paula Hayasi Pinho

Paulo Henrique Ribeiro do Nascimento

Rafael dos Reis Ferreira

Rosineide Pereira Mubarack Garcia (Presidente)

Rubens da Cunha

SUPLENTES

Carlos Alfredo Lopes de Carvalho

Marcilio Delan Baliza Fernandes

Tatiana Polliana Pinto de Lima

COMITÊ CIENTÍFICO

(Referente ao Edital nº. 001/2020 EDUFRB – Coleção Sucesso

Acadêmico na Graduação da UFRB)

Liniker Fernandes da Silva,

Deoclides Ricardo de Souza

Teresa Aparecida Soares de Freitas

EDITORA FILIADA À



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

Liniker Fernandes da Silva
Deoclides Ricardo de Souza
Teresa Aparecida Soares Freitas
(Organizadores)

INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE EM RECURSOS FLORESTAIS



EDITORA UFRB
Viva a leitura!

Cruz das Almas - Bahia

2023

Copyright©2023 by Liniker Fernandes da Silva, Deoclides Ricardo de Souza e Teresa Aparecida Soares Freitas

Direitos para esta edição cedidos à EDUFRB

Projeto gráfico, capa e editoração eletrônica

Antonio Vagno Santana Cardoso

Revisão e normatização técnica

Liniker F. da Silva, Deoclides R. de Souza e Teresa A. S. Freitas

A reprodução não-autorizada desta publicação, por qualquer meio, seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9.610/98.

I58

Inovação e sustentabilidade em recursos florestais / Organizadores: Liniker Fernandes da Silva, Deoclides Ricardo de Souza e Teresa Aparecida Soares Freitas. Cruz das Almas, BA: EDUFRB, 2023. 208p.; il.

Este livro eletrônico é parte da Coleção Sucesso Acadêmico na Graduação da UFRB. Volume XLI.

ISBN: 978-65-88622-17-9.

1.Florestas – Sustentabilidade. 2.Florestas – Inovações tecnológicas – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. II.Silva, Liniker Fernandes da. III.Souza, Deoclides Ricardo de. IV.Freitas, Teresa Aparecida Soares. V.Título.

CDD: 634.928

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

Livro publicado em 21 de agosto de 2023



Rua Rui Barbosa, 710 – Centro
44380-000 Cruz das Almas – Bahia/Brasil
Tel.: (75) 3621-7672
editora@reitoria.ufrb.edu.br
www.ufrb.edu.br/editora

Sumário

Apresentação

Liniker Fernandes da Silva9

Curva de germinação para sementes florestais

João Pereira dos Santos, Teresa Aparecida Soares de Freitas,
Jailton de Jesus Silva 11

Curva de embebição: Sementes de tingui

Jefferson Soares Santos, Teresa Aparecida Soares de Freitas,
Mariana Duarte Silva Fonseca, Jailton de Jesus Silva 27

Geoestatística aplicada ao manejo do jenipapeiro

Admilson de Santana Sacramento, Isis Oliveira Santos Silva,
Deoclides Ricardo de Souza, Elton da Silva Leite,
Simone Alves Silva, Liniker Fernandes da Silva 39

Otimização aplicada ao manejo de florestas

Larice Souza Santos, Juliana Carvalho Barbosa Ramos,
Deoclides Ricardo de Souza, Liniker Fernandes da Silva,
Elton da Silva Leite, Simone Alves Silva 53

Colheita de eucalipto com o harvester

Marx Sandino Santos Monteiro, Francisco de Assis Costa Ferreira,
Bruno Meira Gomes, Liniker Fernandes da Silva,
Elton da Silva Leite 67

Configurações de Harvesters na colheita florestal

Marx Sandino Santos Monteiro, Bruno Meira Gomes,
Francisco de Assis Costa Ferreira, Deoclides Ricardo de Souza,
Elton da Silva Leite 77

Extração florestal de eucalipto com forwarders

Bruno Meira Gomes, Francisco de Assis Costa Ferreira,
Marx Sandino Santos Monteiro, Luis Carlos de Freitas,
Elton da Silva Leite 89

Determinação a laser de volume de madeira

Isabela Santos Oliveira, Elton da Silva Leite,
Júlio Eduardo Arce, Ricardo Franco Cunha Moreira.....105

Previsão de preços celulose brasileira

Marcela Guedes Dourado, Lucas Gabriel Souza Santos,
Liniker Fernandes da Silva, Deoclides Ricardo de Souza,
Elton da Silva Leite, Luis Carlos de Freitas,
Everton Luis Poelking.....117

Conflitos de uso das terras em Jiquiriçá

Camila Piqui Guerra,
Everton Luís Poelking.....131

Perda de solos em microbacia

Laiana dos Santos Trindade, Everton Luís Poelking,
Raissa Homem Gonçalves, Taline Borges Ribeiro149

Remanescentes florestais da microbacia Capivari

Felipe da Silva Barreto, Everton Luís Poelking,
Gustavo Luis Schacht, Cláudia Bloisi Vaz Sampaio.....167

O carbono na restauração ecológica

Jocy Ana Paixão de Sousa,
Alessandra Nasser Caiafa185

Sobre os autores.....201

Apresentação

Liniker Fernandes da Silva

O curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia tem, desde sua criação em 2006, contribuído com a sociedade brasileira. Esta contribuição se dá pela condução de pesquisas inovadoras, com a posterior disponibilização deste conhecimento a sociedade e, sobretudo, pela formação de Engenheiros Florestais capacitados ao trabalho nas mais distintas atribuições da carreira.

Este livro mostra à sociedade algumas destas pesquisas, conduzidas por discentes da UFRB e orientados pelo corpo docente pertencente a esta instituição, nos mais diversos campos de atuação do profissional de Engenharia Florestal.

Os primeiros capítulos tratam da disponibilização de materiais genéticos e propágulos adequados a diferentes espécies florestais, fator crítico para qualquer plantio, seja ele com finalidade produtiva ou para recuperação.

Posteriormente, trata-se de algumas técnicas para condução dos plantios florestais, com uso de ferramentas inovadoras, como a Geoestatística e os VANT's. Tais aplicações aumentam a probabilidade de se tomar decisões acertadas na condução das florestas, ao mesmo tempo em que têm potencial de diminuir custos produtivos.

Num próximo momento, trata-se do planejamento (com uso da programação matemática) e execução da colheita, atividade que mais onera o custo de produtos florestais. Assim, contribui-se com a produção florestal com menores custos e maior competitividade, em mercados que a depender do produto é global.

Há a aplicação de técnicas para previsão de preços de celulose de fibra curta brasileira, produto florestal de maior importância para o

PIB do setor. A previsibilidade dos preços auxilia no planejamento da produção florestal, bem como na atuação nos mercados.

Posteriormente, trata-se da atuação do Engenheiro Florestal no gerenciamento e quantificação de impactos relacionados com o uso e ocupação dos solos (com auxílio de um Sistema de Informação Geográfica), chegando ao último capítulo em que é realizado um inventário de carbono em pastagem degradada, um dos grandes problemas nacionais e no qual o profissional tem grande contribuição a dar na recuperação destas áreas, gerando impactos positivos em relação à temática de estocagem do carbono, da paisagem, e dos recursos hídricos.

Pela diversidade de temas abordados, todos eles de grande importância para a ciência florestal, percebe-se que o Engenheiro Florestal formado na UFRB apresenta verdadeira habilidade para atuar em diferentes elos da cadeia florestal, contribuindo também com a disponibilização de produtos e serviços florestais que contribuem sobremaneira para o crescimento e bem estar do país. Assim, parabeniza-se a todos os envolvidos, discentes e docentes, e faz-se votos de que todos continuem com o bom trabalho desenvolvido.

Curva de germinação para sementes florestais

*João Pereira dos Santos
Teresa Aparecida Soares de Freitas
Jailton de Jesus Silva*

Introdução

A germinação pode ser entendida como o resultado de diferentes processos fisiológicos seqüencialmente iniciados pela absorção de água, onde essa hidratação promove um aumento na atividade respiratória e metabólica, permitindo a mobilização das reservas de carbono e nitrogênio necessárias para o desenvolvimento do embrião e protrusão da radícula (ANZALA *et al.*, 2006; SUNMONU *et al.*, 2016). Além disso, o padrão de hidratação das sementes associados aos testes de germinação e vigor podem ser indicadores precoces de sementes ou genótipos de melhor qualidade (PRAZERES; COELHO, 2017).

As sementes das espécies em geral podem apresentar diferenças na absorção de água a depender de alguns fatores como número de poros distribuídos na superfície da semente, temperatura do ambiente, composição química e qualidade fisiológica (BEWLEY *et al.*, 2013). Essa absorção é provocada pela diferença de potencial hídrico entre as sementes e o substrato (CALAZANS *et al.*, 2020).

Para a maioria das espécies vegetais, o processo de absorção de água pelas sementes é caracterizado por um sistema composto por três fases: A Fase I que é baseada no potencial matricial da semente que estando baixo logo ocorre uma rápida absorção (BEWLEY; BLACK, 1994); a Fase II, em que a velocidade da absorção de água é mais lenta, devido às reações metabólicas decorrentes do tecido embrionário que servirão de nutriente para o seu desenvolvimento (TONETTI *et al.*, 2006; GUIMARÃES *et al.*, 2008; ALBUQUERQUE *et al.*,

2009); e a Fase III, em que há um aumento abrupto na velocidade de absorção de água, decorrente do alongamento celular, o que promove o crescimento do eixo embrionário e finaliza com a protrusão da radícula, dando início a formação da plântula (BEWLEY; BLACK, 1994; CARDOSO, 2008; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Todavia, cada espécie possui sua particularidade em relação à duração das fases, pois isso irá depender das condições ambientais e das características individuais de cada uma (BEWLEY; BLACK, 1994).

Para as sementes de algumas espécies florestais fatores como luz, temperatura, substratos e microrganismos exercem influência sobre o processo de germinação (BEWLEY; BLACK, 1994; NASSIF; PEREZ, 2000). Algumas espécies necessitam da presença de luz para germinarem, sendo nesses casos um fator inibidor ou indutor do processo de crescimento do eixo embrionário (MAYERE POLJAKOFF-MAYBER, 1989; TAKAKI, 2001).

Os trabalhos envolvendo os assuntos: absorção de água pelas sementes e determinação dos padrões de absorção, para a maioria das espécies florestais são escassos, havendo necessidade de maior esforço nessas linhas de pesquisas, principalmente para espécies ameaçadas, em perigo de extinção ou que serão utilizadas em recuperação de áreas degradadas.

Diante da escassez de estudos voltados para o entendimento dos processos envolvidos na absorção de água e germinação de sementes de espécies florestais utilizadas na arborização urbana e em restauração de áreas degradadas, há necessidade de pesquisas urgentes que forneçam informações sobre essas espécies e para a conservação dessa biodiversidade.

Com o avanço dos grandes centros urbanos e conseqüentemente aumento das necessidades de produtos madeireiros, houve um crescimento no desmatamento de áreas florestais nativas tornando uma fonte de grande ameaça à biodiversidade. Com isso, a proteção dos recursos naturais nos ambientes urbanizados exerce um

papel importante na manutenção dos serviços ecossistêmicos, melhorando a qualidade do ambiente e de vida da população (PINHEIRO *et al.*, 2018).

Algumas espécies florestais, por possuírem potencial para atuarem diretamente na economia do país, tiveram suas populações naturais fragmentadas, havendo necessidade de maior atenção para evitar a extinção dessas espécies.

A espécie *Samanea saman* (Jacq.) Merr. pertence à família Fabaceae, subfamília Mimosoideae, conhecida como chorona ou árvore da chuva. É uma das espécies que possui poucos trabalhos relacionados à germinação e desenvolvimento de plântulas. Essa espécie se desenvolve em ambientes com alterações antrópicas como em áreas agropecuárias ou urbanas (MORIM, 2015; VINODHINI; RAJESWARI, 2019). As sementes apresentam formato oblongo elipsoidal, com 5 a 7,5 mm de largura e 8 a 11 mm de comprimento, de cor marrom escuro brilhante liso, em média de 15 a 20 sementes por vagem e de 4000-6000 sementes por kg (STAPLES; ELEVITCH, 2006). A semente dessa espécie possui um tegumento impermeável com uma porcentagem de germinação restrita quando as vagens permanecem na área ocupada pela copa da árvore (JANZEN, 1977).

A espécie *Adenantha pavonina* (L.) conhecida como carolina ou olho-de-pavão, pertence à família Fabaceae e subfamília Mimosoideae (SOUZA *et al.*, 2016), uma árvore semidecídua que se encontra distribuída largamente no país, pelo Nordeste, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo (SILVA; LEMOS, 2002). As sementes são globosas, achatadas, apresentando uma tonalidade de vermelho-brilhantes na maturação (LORENZI *et al.*, 2003). As sementes possuem dormência física o que restringe o seu uso na produção de mudas.

Já a espécie *Swietenia macrophylla* King conhecida como mogno ou cedro-rana pertence à família Meliaceae, pode ser

encontrada em florestas pluviais, florestas de montanha e matas de galeria, em ambientes com precipitação anual entre 1.200 a 1400 mm (ALVARADO, 2009). Possui sementes com uma coloração vermelho-pardacentas, leves e aladas, medindo de 8-10 mm de largura, 8-25 mm de comprimento e 3-4 mm de espessura (STEFANO *et al.*, 2015).

Com isso, o presente capítulo procura caracterizar a curva de absorção de água pelas sementes de *Samanea saman*, *Adenathera panonina* e *Swietenia macrophylla*, submetidas a diferentes fotoperíodos.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, no município de Cruz das Almas - Bahia. As sementes foram colhidas no município de Cruz das Almas, sendo que as sementes de *A. pavonina* e *S. macrophylla* foram colhidas em matrizes no Campus da UFRB e as sementes de *S. saman* foram obtidas em matrizes localizadas na Embrapa Mandioca e Fruticultura. As sementes foram coletadas entre outubro e dezembro de 2018.

As sementes de *S. saman* e *A. panonina* passaram pelo processo de escarificação mecânica, lixa de papel nº 120 e 220, respectivamente, no lado oposto ao hilo, já as sementes de *S. macrophylla* foi retirada a camada externa do tegumento.

Após o beneficiamento, as sementes foram submergidas em uma solução de dez gotas de detergente neutro e 200 mL de água destilada por um período de dez minutos. Após esse período, as sementes foram lavadas em água corrente e água destilada para retirada de todos os resquícios da solução e disposta em papel toalha para retirada do excesso de água.

Para cada tratamento foram selecionadas 80 sementes, distribuídas em oito repetições de dez sementes cada, dispostas em duas folhas de papel Gemitest umedecidos com água destilada

em 2,5 vezes o seu peso seco. Após a distribuição das sementes no papel foram confeccionados rolos e estes acondicionados em sacos plásticos para manutenção de sua umidade e em seguida levadas para as câmaras de germinação tipo B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand).

As B.O.D foram reguladas com a temperatura de 25°C em regime de fotoperíodo de 8 horas de luz diárias (F1) e em temperaturas de 25°C em regime de escuro (F2).

Para construção da curva de absorção, foram obtidos os pesos das sementes por repetição, através de uma balança de precisão. Inicialmente foi pesado em intervalos de uma hora, partindo-se de zero horas até completar 12 horas, em seguida em intervalos de 12 horas, encerrando-se as pesagens quando pelo menos 50% das sementes de cada repetição havia iniciado a emissão da radícula. No momento da pesagem, as sementes foram retiradas do papel Germitest, colocadas em papel toalha para retirada do excesso de água e em seguida pesadas para posteriormente serem distribuídas no papel Germitest e devolvidas para a B.O.D.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de teste Bartlett para testar a homogeneidade, teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos resíduos dos dados e por conseguinte foi feito o teste F para verificar a diferença entre as médias dos dados. Para a confecção dos gráficos foi utilizado o pacote *ggplot2* (WICKHAM, 2016). As análises foram feitas por meio do programa estatístico R Core Team (2020).

Resultados e discussão

Pode-se observar nas Tabelas 1 e 2 que não houve influência dos diferentes fotoperíodos (F1 e F2) no ganho de massa para nenhuma das três espécies, onde a espécie *Swietenia macrophylla* apresentou o maior coeficiente de variação na absorção de água em função do tempo (CV%=17,77).

Tabela 1 – Resumo do quadro de Análise de Variância (ANOVA) para o ganho de massa úmida das sementes para os diferentes fotoperíodos.

<i>Samanea saman</i>					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Fotoperíodo	1	0,1150	0,1146	0,165	0,687
erro	30	20,8070	0,6936		
CV%					6,04
teste Bartlett					0,0619
teste Shapiro- Wilk					0,5039
<i>Adenanthera pavonina</i>					
Fotoperíodo	1	0,0100	0,0120	0,006	0,938
erro	34	66,7900	1,9640		
CV%					4,50
teste Bartlett					0,5502
teste Shapiro- Wilk					0,7648
<i>Swietenia macrophylla</i>					
Fotoperíodo	1	1,4300	1,4260	0,960	0,333
erro	50,00	74,4900	1,4900		
CV%					17,77
teste Bartlett					0,5502
teste Shapiro-Wilk					0,7648

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrados médios; CV%: coeficiente de variação; Fc: estatística do teste F da Análise de Variância (ANOVA) a 0,05 de significância; Pr>Fc: probabilidade do teste de F da ANOVA.

Fonte: Jailton de Jesus Silva (2019).

Na Tabela 2, observa-se que a luz não influenciou a curva de absorção de água das três espécies, podendo ser afirmado que a velocidade de absorção de água e germinação das sementes dessas espécies independe da presença de luz durante a condução do teste. Com isso, essas espécies podem ser classificadas como fotoblásticas neutras, pois germinam de forma independente à luz (MAYERE POLJAKOFF-MAYBER, 1989; BRASIL, 2009). Espécies como *Basella rubra* L. (LOPES *et al.*, 2005), *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (= *Tabebuia chrysotricha*) (SANTOS *et al.*, 2005), *Caesalpinia peltophoroides* Benth. (FERRAZ-GRANDE; TAKAKI, 2006), *Albizia lebeck* (L.) Benth. (DUTRA *et al.*, 2008) e *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (LONGO, 2008) também se mostram independentes da luz para germinarem.

Tabela 2. Teste de médias para as sementes de *Samanea saman*, *Adenanthera pavonina*, *Swietenia macrophylla* sob fotoperíodo de 8 horas e ausência de fotoperíodo.

	Tratamentos	Médias
<i>Samanea saman</i>	F1	2,22 a ($\pm 0,806$)
	F2	2,34 a ($\pm 0,858$)
<i>Adenanthera pavonina</i>	F1	3,75 a ($\pm 1,430$)
	F2	3,72 a ($\pm 1,370$)
<i>Swietenia macrophylla</i>	F1	7,03 a ($\pm 1,303$)
	F2	6,69 a ($\pm 1,132$)

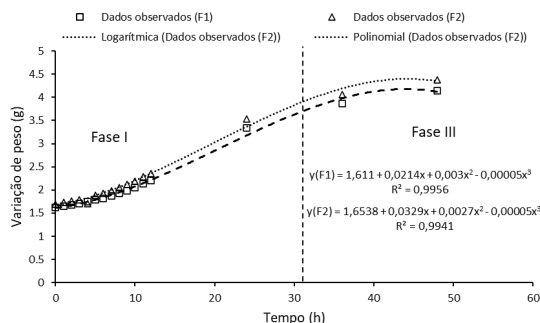
F1:: sementes submetidas a temperatura de 25°C em regime de fotoperíodo a 8 horas diárias; F2: sementes submetidas a temperatura de 25°C em regime de escuro (F2). Médias seguidas pelas mesmas letras dentro de uma mesma variável, não difere entre si pelo teste F da Anova a 5% de probabilidade.

Fonte: Jailton de Jesus Silva (2019).

Para as sementes da espécie *S. saman* foram feitas 15 pesagem durante o tempo de 48 horas, momento em que foi verificada a emissão da radícula. Essa espécie apresentou apenas as fases I e III no processo de absorção de água, não sendo possível observar a fase II (Figura 1).

Na Fase I, que durou aproximadamente 32h, houve um aumento de 170 % a partir da massa inicial. Tal situação comprova o que foi dito por Bewley e Black (1994) e Carvalho e Nakagawa (2012) em que a Fase I é de rápido acontecimento devido ao potencial matricial da semente estar baixo, portanto, a absorção de água pela semente ocorre com muita rapidez.

Figura 1. Curva de absorção de água pelas sementes de *Samanea saman* (JACQ) submetidas a diferentes fotoperíodos. F1: sementes submetidas a temperatura de 25°C em regime de fotoperíodo à 8 horas diárias; F2: sementes submetidas a temperatura de 25°C em regime de escuro.



Fonte: Jailton de Jesus Silva (2019).

No decorrer da curva de absorção a semente absorveu unitariamente cerca de 5,32%, somando ao final 255% de peso seco a mais a qual iniciou.

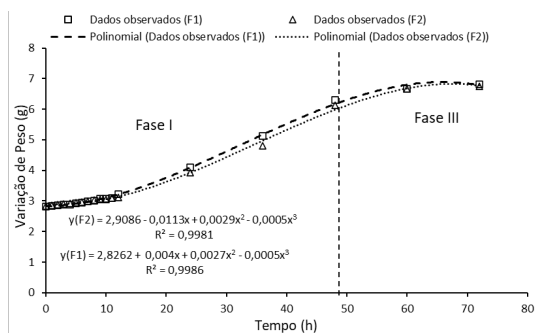
Entretanto, no intervalo de tempo de 0 a 10 horas, notou-se uma absorção lenta, comprovando que o tegumento da semente é uma barreira física, onde mesmo após a escarificação mecânica ainda pôde ocorrer influência no metabolismo das células nas trocas gasosas e transporte de nutrientes devido à falta de espaço para translocação e multiplicação celular (BEWLEY; BLACK, 1994; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Não foi possível observar a fase II de absorção de água para essa espécie, possivelmente devido ao fato de que essa fase pode ter ocorrido juntamente com a fase I, onde a conversão de compostos químicos para auxiliar no metabolismo do embrião e a absorção de água ocorreram conjuntamente. Isso pode ter acontecido, pois houve em seguida a protrusão da radícula. Essa rápida mudança da fase I para a fase III pode ter sido também pelo fato de que as sementes estavam em um ambiente sem estresse hídrico e com água suficiente para a absorção o que favoreceu uma rápida mudança entre as fases. No entanto, faz-se necessários mais estudos com essa espécie para ampliar o conhecimento a respeito da não observação da fase II.

A Fase III é o momento onde ocorre profusão da radícula e alta atividade celular, caracterizando o início desta fase. Nesta fase foi verificado aumento substancial no teor de água como afirmado por Bewley e Black (1994) para a maioria das espécies vegetais.

Para a espécie *A. pavinina* (Figura 2) pode-se observar que também não houve a fase II de absorção de água. Foram realizadas 18 pesagens em uma duração de 72h. Ao completar 48 horas de início do teste, aproximadamente 20% das sementes haviam emitido a radícula e após 72 horas mais de 80% das sementes haviam germinado. Houve um aumento de 239,55% a partir da massa inicial até o final de 72h e um valor unitário de 3,32%. A fase I durou aproximadamente 48h com um aumento de 39,85%.

Figura 2. Curva de absorção de água pelas sementes de *Adenanthera pavonina* (L.) submetidas a diferentes fotoperíodos. F1: sementes submetidas a temperatura de 25°C em regime de fotoperíodo a 8 horas diárias; F2: sementes submetidas a temperatura de 25°C em regime de escuro.



Fonte: Jailton de Jesus Silva (2019).

Mesmo realizando a escarificação mecânica, o tegumento ainda serviu como barreira física para crescimento celular. A situação pode ser comprovada analisando o aumento de massa fresca nas 12 horas iniciais de absorção de água pela semente, o que ocorreu igualmente nas sementes de *S. saman* (Figura 1).

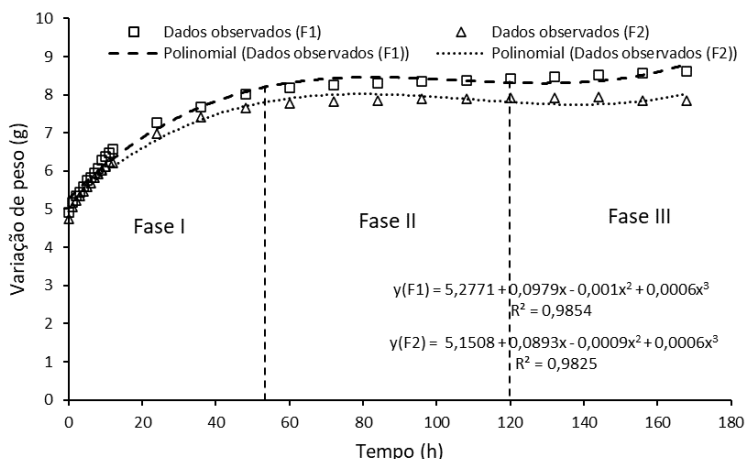
De acordo com Bewley e Black (1994) é necessário que também haja uma diminuição da absorção de água para que os nutrientes que foram desdobrados na Fase I possam ser translocados da região de reserva para os tecidos meristemáticos. Para Borghetti (2004) as células da semente não absorvem mais água porque seu movimento de expansão é limitado devido às paredes celular que ainda estão rígidas ou devido às estruturas que envolvem o embrião, impedindo sua expansão.

Na Fase III teve início após 48h que foi a duração da fase I e finalizando com 72h de duração. De acordo com Tonetti *et al.* (2006) e Cardoso (2008), esta fase caracteriza-se pelo aumento na absorção da água e crescimento da radícula pelos processos de alongação e divisão celular, em que ultrapassa o sistema de retenção mecânica do endosperma e o tegumento e inicia a formação da plântula. Assim, como o que foi descrito para a espécie *S. saman*, não houve um grande

aumento de massa fresca nesta fase, diferente do que é afirmado por Bewley e Black (1994).

A única espécie que apresentou o padrão trifásico de desenvolvimento foi *S. macrophylla*, onde foram necessárias 168 horas para completar o processo germinativo (Figura 3). Foram realizadas 26 pesagens da massa fresca havendo acréscimo de 170,06% de massa úmida nas sementes de mogno com valor unitário de 6,54%.

Figura 3. Curva de absorção de água pelas sementes de *Swietenia macrophylla* King submetidas a diferentes fotoperíodos. F1: sementes submetidas a temperatura de 25°C em regime de fotoperíodo a 8 horas diárias; F2: sementes submetidas a temperatura de 25°C em regime de escuro.



Fonte: Jailton de Jesus Silva (2019).

A Fase I da espécie *S. macrophylla* foi semelhante a espécies *A. pavinina* com duração de 48 horas. Essas sementes apresentaram o maior valor de absorção de massa úmida, com valor unitário de 6,06% e total de 145,52%. Devido à retirada da parte alada das sementes de mogno, o tegumento não interferiu na absorção de água. Portanto, não havendo uma visível barreira física que impeça a entrada de água e, o potencial matricial da semente estando baixo, a entrada de água tornou-se de maneira mais facilitada (BEWLEY; BLACK, 1994; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

A Fase II ficou bem visível, pois, de acordo com Bewley e Black (1994) e Carvalho e Nakagawa (2012), é neste momento que a semente diminui a velocidade de absorção de água para iniciar o processo de translocação de nutrientes e transformação destes em substâncias mais simples para iniciar o processo de germinação.

A Fase III se diferenciou das demais devido ao tempo em que levou para iniciar a protusão da radícula, sendo necessárias 120 horas. A absorção unitária também foi uma das menores, com 0,95% totalizando 103,13%. Os autores Borgetti (2004), Tonetti et al. (2006), Carvalho e Nakagawa (2012) dizem que nesta etapa o eixo embrionário inicia seu alongamento celular derivado da mitose gerando expansão do embrião e protusão da radícula, enquanto que Bewley e Black (1994) e Cardoso (2008) afirmam que ocorre um novo aumento na velocidade de absorção de água. Entretanto, a espécie de mogno não apresentou um considerável aumento na velocidade de absorção da água, se mantendo constante até profusão da radícula. Os resultados encontrados na Fase II diferem do trabalho feito por Costa et al. (2010) também com a mesma espécie, em que durou 60 horas e a fase III iniciou-se em 172 horas após o início da curva de absorção.

Esses resultados obtidos com o desenvolvimento das curvas de absorção de água pelas sementes, relacionadas a influência que a luz pode exercer na germinação de sementes florestais tropicais, ainda é uma área pouco estudada e tem o intuito de analisar as condições ecológicas ideais para que o processo de germinação das sementes ocorra em condições naturais (GODOI; TAKAKI, 2005).

Os resultados obtidos ampliam os conhecimentos sobre as sementes estudadas e são avanços para a padronização dos testes de vigor. Portanto, aprofundar os conhecimentos a respeito das características individuais que cada espécie apresenta, aumentam as possibilidades de uso em que cada uma pode beneficiar, seja na agricultura ou silvicultura.

Conclusões

Houve influência da luz apenas na velocidade para emissão da radícula, onde na ausência de luz as sementes das espécies *Adenantha pavonina* e *Swietenia macrophylla* demandaram maior tempo.

As três espécies podem ser classificadas como fotoblásticas neutras.

Apenas a *Swietenia macrophylla* apresentou o padrão trifásico.

Referências

ALBUQUERQUE, K. S. *et al.* Alterações fisiológicas e bioquímicas durante a embebição de sementes de sucupira-preta (*Bowdichia virgilioides* Kunth.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 249-258, 2009.

ALVARADO, J. R. **Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios**, Peru. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

ANZALA, F. *et al.* Physiological and molecular aspects of aspartate-derived amino acid metabolism during germination and post-germination growth in two maize genotypes differing in germination efficiency. **Journal of experimental botany**, v. 57, n. 3, p. 645-653, Feb., 2006.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K.; HILHORST, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. Nova York: Springer, 2013.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: Physiology, Development and Germination**. 2 ed. Plenum Press, New York. 1994.

BORGHETTI F. **Dormência embrionária**. *In*: FERREIRA A. G, BORGHETTI F. (Org.). Germinação: do básico ao aplicado. Artimed, Porto Alegre, 109-123, p.2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009.

CARDOSO, V. J. M. **Germinação**. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2008.

COSTA, H. A. N. *et al.* **Caracterização da curva de absorção de água em sementes de *Swietenia macrophylla* King (MOGNO)**. 62^a Reunião Anual da SBPC, 2010, Rio grande do Norte. 2010.

CARVALHO, N.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

DUTRA, A. S.; MEDEIROS FILHO, S.; DINIZ, F. O. Germinação de sementes de albizia (*Albizia lebeck* (L.) Benth) em função da luz e do regime de temperatura. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 75-81, jul./set., 2008.

FERRAZ-GRANDE, F. G. A.; TAKAKI, M. Efeitos da luz, temperatura e estresse de água na germinação de sementes de *Caesalpinia peltophoroides* Benth. (Caesalpinoideae). **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 37-42, 2006.

GODOI, S.; TAKAKI, M. Efeito da temperatura e a participação do fitocromo no controle da germinação de sementes de embaúba. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.27, n.2, p.87-90, dez., 2005.

GUIMARÃES, M. A.; DIAS, D. C. F. S.; LOUREIRO, M. E. Hidratação de sementes. **Revista Tropical** – Ciências Agrárias e Biológicas, Chapadinha, v.2, n.1, p. 31-39, mar., 2008.

JANZEN, D. H. Intensity of predation on *Pithecellobium saman* (Leguminosae) seeds by *Merobruchus columbinus* and *Stator limbatus* (Bruchidae) in Costa Rican deciduous forest. **Tropical Ecology**, v.18, p. 162-176, 1977.

LONGO, C. *et al.* Voluntary intake, apparent digestibility and nitrogen balance by sheep supplemented with *Leucaena*

leucocephala. **Livestock Research for Rural Development**, v. 20, n. 11, 2008.

LOPES, L. P. *et al.* Influência de temperatura, substrato e luz na germinação de sementes de beralha. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 27, n. 2, p.18-24, dez., 2005.

LORENZI, H. *et al.* **Árvores exóticas no Brasil**: madeireiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003.

MAYER, A.C.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. London: Pergamon Press, 1989.

MORIM, M.P. **Samanea** in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB23140>. 2015.

NASSIF, S. M. L.; PEREZ, S. C. J. G. Efeitos da temperatura na germinação de sementes de amendoim-do-campo (*Pterogyne nitens* Tul.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 22, n.1, p.1-6, 2000.

PINHEIRO, R. T.; MARCELINO, D. G.; MOURA, D. R. Espécies arbóreas de uso múltiplo e sua importância na conservação da biodiversidade nas áreas verdes urbanas de Palmas, Tocantins. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 49, p. 264-282, dez., 2018.

PRAZERES, C. S.; COELHO, C. M. M. Hydration curve and physiological quality of maize seeds subjected to water deficit. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 1179-1186, 2017.

R CORE TEAM (2020). **R: A language and environment for Statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SANTOS, D. L.; SUGAHARA, V. Y.; TAKAKI, M. Efeitos da luz e da temperatura na germinação de sementes de *Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nich, *Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Standl. e *Tabebuia roseo alba* (Ridl) Sand – Bignoniaceae. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15 n.1, p. 87-92, 2005.

SILVA, D. B.; LEMOS, B. S. **Plantas da área verde da Super Quadra Norte416 - Brasília, DF.** Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília. 2002.

SOUZA, D. D. *et al.* Partial purification and characterization of a trypsin inhibitor isolated from *Adenanthera pavonina* L. seeds. **South African journal of botany**, v. 104, p. 30-34, 2016.

STAPLES, G. W.; ELEVITCH, C. R. **Species profiles for Pacific Island Agroforestry.** 2006. Disponível em: <http://www.agroforestry.net/tti/Samanearaintree.pdf>. Acesso em: 05, jan. 2019.

STEFANO, M. V.; CALAZANS, L. S. B.; SAKURAGUI, C. M. 2015. **Meliaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.** Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB23803>. Acesso em 02 fev. 2019.

SUNMONU, T. O.; KULKARNI, M. G.; VAN STADEN, J. Smoke-water, karrikinolide and gibberellic acid stimulate growth in bean and maize seedlings by efficient starch mobilization and suppression of oxidative stress. **South African Journal of Botany**, v. 102, p. 4-11, 2016.

TAKAKI, M. New proposal of classification of seeds on forms based on forms of phytochrome instead of photoblastism. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v.13, n. 1, p. 103-107, 2001.

TONETTI, O. A. O.; DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. Qualidade física e fisiológica de sementes de *Eremanthus erythropappus* (DC.) MAC. LEISH. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.28, n.1, p.114-121, abr., 2006.

VINODHINI, S.; RAJESWARI, V. D. Exploring the antidiabetic and anti-obesity properties of Sramana saman through in vitro and in vivo approaches. **Journal of cellular biochemistry**, v. 120, n. 2, p. 1539-1549, Oct., 2019.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis.** Springer-Verlag New York, 2016.

Curva de embebição: sementes de tingui

Jefferson Soares Santos

Teresa Aparecida Soares de Freitas

Mariana Duarte Silva Fonseca

Jailton de Jesus Silva

Introdução

O Brasil que possui grande biodiversidade devido à variedade de vegetações e diferentes ecossistemas que abrigam uma das floras mais diversas e exuberantes do planeta. Possui atualmente 35.539 espécies distribuídas em 266 famílias (FLORA DO BRASIL, 2020). As árvores fornecem alimentos, madeira e medicamentos e são os principais componentes dos ecossistemas mais biologicamente diversos da Terra, incluindo bosques e florestas (FAO, 2014).

A espécie *Magonia pubescens* A. St.-Hil. (Sapindaceae), conhecida comumente como tingui ou timbó, é uma espécie arbórea típica do cerrado com potencial de utilização para fins silviculturais e de conservação, tanto pelas suas características econômicas quanto ecológicas. Desse modo, faz-se necessárias pesquisas para dar suporte a ampliação da conservação desta espécie, a qual é retirada de forma extrativista (ARANTES, 2015).

A reprodução das espécies do cerrado ocorre principalmente por sementes, sendo esta forma essencial para manutenção da variabilidade genética. Porém o desconhecimento dos fatores que afetam a produção de sementes pelas espécies tropicais, principalmente as do cerrado, têm se constituído como limitação para o estabelecimento de cultivos em maior escala (DIGNART *et al.*, 2005).

Estudos sobre o processo germinativo são de extrema importância e se fazem necessários para a obtenção de informações básicas sobre germinação, cultivo e potencialidades das espécies florestais nativas com finalidade econômica e/ou visando à sua

exploração de forma sustentável (HOPPE *et al.*, 2004). De fato, há necessidade de intensificar pesquisas sobre informações básicas das sementes para subsidiar as RAS (Regras para Análise de Sementes), principalmente para espécies florestais nativas (SILVA, 2010), a exemplo do processo de embebição.

O processo de embebição está atrelado principalmente às especificidades da constituição da semente e as diferenças de potencial hídrico entre o meio interno e externo das sementes, sendo, portanto, um processo físico que tem como resultado o aumento de volume interno e rompimento do tegumento, induzindo o crescimento do embrião para o meio exterior (KERBAUY, 2004). Esse processo é importante como procedimento técnico para auxiliar na identificação do mecanismo de dormência, sobretudo quando associado à dureza e à impermeabilidade de tegumento (ALMEIDA, 2001).

A literatura sobre os processos fisiológicos e bioquímicos envolvidos na germinação de espécies florestais nativas do Brasil necessita ser ampliada, principalmente analisando a fase de embebição das sementes (ATAÍDE *et al.*, 2014). Assim, busca-se determinar a curva de embebição para sementes da espécie *Magonia pubescens* em diferentes tipos de substratos e com presença ou ausência do tegumento alado.

Material e métodos

Material genético

O experimento foi conduzido em setembro de 2019 no Laboratório de Análises de Sementes da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no campus situado na cidade de Cruz das Almas.

Os frutos foram coletados em agosto de 2019 numa fazenda no município de São João da Lagoa, Minas Gerais, (16° 80' 03" S e 44° 40' 87" W). O município possui clima tropical quente e úmido (Am) segundo a classificação de Koeppen (1948), com altitude de 835 m (DB-CITY, 2019).

Acondicionamento e germinação das sementes

Os frutos foram colhidos das árvores de *M. pubescens* e acondicionados em sacos plásticos e levados para o Laboratório de Análises de Sementes da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Os frutos que apresentavam elevada umidade foram colocados em estufa de secagem em temperatura de no máximo 40 °C para acelerar a abertura da cápsula e evitar que estes mofassem. O fruto e a semente de tingui estão representados na Figura 1.

Figura 1: Fruto e semente do tingui com tegumento inteiro.



Fonte: Jefferson Soares Santos

Para os estudos de embebição, as sementes foram submetidas a dois métodos: sementes submersas em água destilada acondicionada em caixa plástica tipo gerbox e sementes mantidas em rolo de papel germitest umedecido com água destilada em 3 vezes o seu peso seco.

As sementes foram desinfetadas, submergidas em uma solução com 10 gotas de detergente neutro e 200 mL de água destilada durante 10 minutos seguidas da lavagem em água corrente para retirada de quaisquer resíduos do detergente.

O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado (DIC), com 4 tratamentos e 8 repetições de 10 sementes cada, empregando-se sementes nas caixas gerbox com tegumento inteiro submersa em água destilada (T1), sementes nas caixas gerbox com tegumento cortado submersa em água destilada (T2), sementes com tegumento

alado inteiro no papel germitest umedecido (T3) e sementes com tegumento alado cortado no papel germitest umedecido (T4).

Curva de embebição

Para a determinação da curva de embebição as sementes de cada tratamento foram pesadas periodicamente com auxílio de uma balança analítica de precisão. Inicialmente pesou-se em intervalos de duas horas por um período de 24 horas e após esse período as avaliações ocorreram a cada 12 horas, encerrando-se as pesagens quando pelo menos 40% das sementes de cada repetição havia emitido a radícula. O tempo zero foi obtido antes das sementes serem embebidas e levadas ao germinador do tipo B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand*).

No período de avaliação, as sementes foram mantidas na B.O.D acondicionadas em sacos plásticos para manutenção de sua umidade (em rolos de papel) e em caixas de gerbox, submersa em água, sob temperatura de 30 °C e luz constante. Para realizar a pesagem, as sementes eram retiradas do papel germitest e/ou da caixa de gerbox, pesadas na balança de precisão obtendo os pesos das repetições e em seguida retornavam para a B.O.D.

Os dados de percentagem de ganho de massa em função do tempo foram submetidos à análise de regressão ($\alpha = 0,05$) para ajuste de modelos utilizando o software R versão 3.5.0 (R CORE TEAM, 2018). Os dados do tratamento 3 foram transformados logaritmo ($\log[\text{ganho de massa (\%)/100}]$) para atender os pressupostos da análise. Os gráficos foram realizados no software SigmaPlot © versão 13 (Systat Software).

Resultados e discussão

Os resultados obtidos a partir da embebição das sementes de *M. pubescens* com tegumento alado cortado e com tegumento alado

inteiro em água acondicionada em caixa gerbox e em papel germitest estão apresentados nas Figuras 2, 3, 4 e 5. Quando se compara os tratamentos com relação às sementes com tegumento inteiro ou cortado, observa-se que houve diferença no processo e tempo de embebição nas sementes.

Figura 1- Curva de embebição em água de sementes de *Magonia pubescens* com tegumento alado inteiro em caixas gerbox (T1).

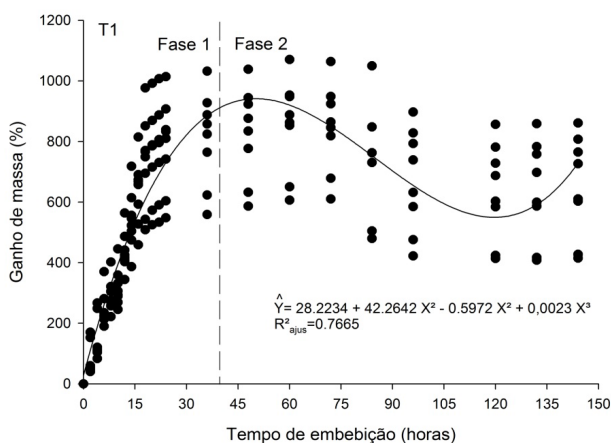
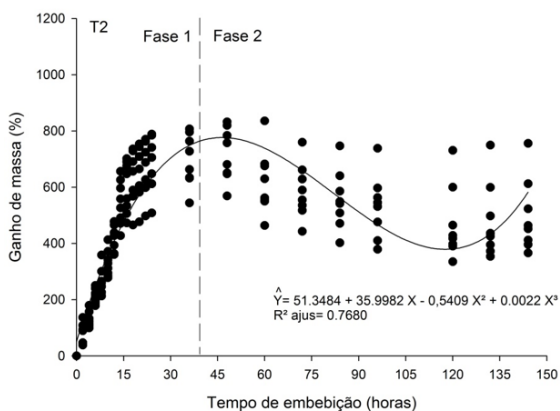
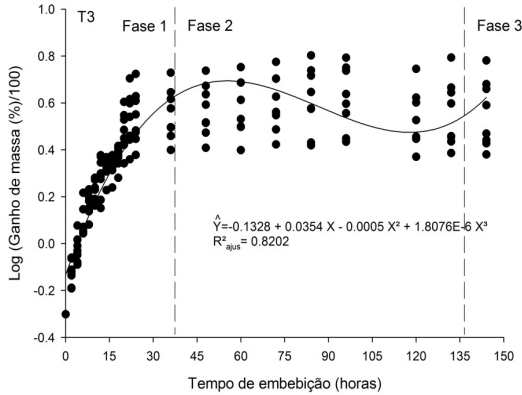


Figura 2. Curva de embebição em água de sementes de *Magonia pubescens* com tegumento alado inteiro em caixas gerbox (T1).



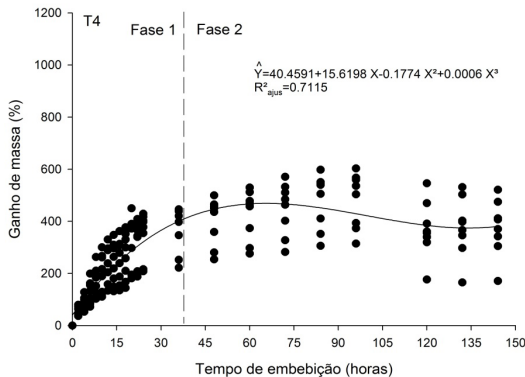
Fonte: Mariana Duarte Silva Fonseca (2019).

Figura 3. Curva de embebição em água de sementes de *Magonia pubescens* com tegumento alado cortado em caixas gerbox (T2).



Fonte: Mariana Duarte Silva Fonseca (2019).

Figura 4. Curva de embebição em água de sementes de *Magonia pubescens* com com tegumento alado inteiro em papel germitest (T3).



Fonte: Mariana Duarte Silva Fonseca (2019).

Figura 5. Curva de embebição em água de sementes de *Magonia pubescens* com com tegumento alado cortado em papel germitest (T4).

As curvas de embebição de sementes de tingüí para todos os tratamentos apresentaram incremento constante e significativo até

por volta de 40 horas após o início da absorção de água, caracterizando a Fase I do processo. Após este momento foi detectada a Fase II da embebição.

Até o tempo de 144 horas não foi observado o padrão trifásico proposto por Bewley e Black (1994) para os tratamentos T1 (Figura 1), T2 (Figura 2) e T4 (Figura 4). Somente no T3 (Figura 3) com sementes com tegumento alado inteiro em papel germitest foi detectado a Fase III por volta de 135 horas quando observou-se a emissão da radícula em 40% das sementes de todas as repetições. A emissão da radícula se caracteriza como o processo germinativo das sementes e para essa espécie, neste trabalho determinou-se que pelo menos 40% das sementes de todas as repetições deveriam emitir a radícula para considerar o alcance da fase III e apenas o tratamento 3 atingiu esse valor, como é demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Porcentagem de germinação de sementes de *Magonia pubescens* com tegumento alado inteiro em caixas gerbox (T1), tegumento alado cortado em caixas gerbox (T2), com tegumento alado inteiro em papel germitest (T3) e com tegumento alado cortado em papel germitest (T4), 144 horas após o início dos tratamentos.

	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Germinação (%)	0,00	0,00	40,00	23,75

Fonte: Mariana Duarte Silva Fonseca (2019).

Segundo Jeromini *et al.* (2015), as sementes de *M. pubescens* apresentam emergência ao redor de 40% quando não recebem nenhum tratamento.

Apesar da embebição, as sementes acondicionadas em caixas gerbox não germinaram (T1 e T2 das Figuras 2 e 3, respectivamente) e o tratamento com tegumento alado cortado em papel germitest (T4 da Figura 5) obteve um pouco mais da metade (23,75%) das sementes germinadas do T3 (Figura 4).

As sementes de *M. pubescens* possuem uma camada mucilagínosa externa da semente, quando hidratada forma um tipo de hidrogel durante a embebição que posteriormente passa a liberar essa

água para hidratação do embrião na germinação e, principalmente, para o desenvolvimento das plântulas (LABOURIAU, 1973; SOUZA *et al.*, 2020). Segundo Souza, Mercadante-Simões e Ribeiro (2020), essa camada mucilaginosa é uma característica adaptativa da espécie para sobrevivência sob as condições ambientais do bioma cerrado, por vezes quente e seco, para absorver e conservar água e auxiliar no estabelecimento da semente alada no solo. Entretanto, estes autores ressaltam que essa camada não contribui para o incremento da taxa de germinação desta espécie. Também, Arantes *et al.* (2017) observaram que tratamentos de pré-embebição de sementes de tinguí não interferiram nessa taxa, mas atuaram para a desenvolvimento de mudas mais vigorosas.

No presente trabalho, a formação do hidrogel no processo de absorção de água influenciou o ganho de massa das sementes de *M. pubescens*. À medida que a semente absorvia o líquido no meio aquoso da caixa gerbox ou em contato com o papel germitest, havia a formação do hidrogel e o mesmo era extravasado para o meio devido ao excesso de umidade, fazendo com que houvesse uma falsa diminuição do ganho de massa da semente a partir de 120 horas.

A produção do hidrogel ocorreu nos quatros tratamentos, entretanto, as sementes que foram submersas diretamente em água nas caixas gerbox, foram mais afetadas. A falta de germinação observadas nos tratamentos T1 (Figura 2) e T2 (Figura 3) pode ser devido a formação do hidrogel no tegumento da semente (LABOURIAU, 1973; SOUZA *et al.*, 2020) conjuntamente com o excesso de água posto na caixa gerbox para a realização do teste de embebição, o que levou a falta de oxigênio para a semente causando, assim, putrefação e morte das mesmas e o encerramento do experimento. Desse modo, observa-se que a utilização de caixa gerbox não é adequada para determinação da curva de embebição para esta espécie.

Oliveira *et al.* (2019), avaliando a luminosidade e curva de embebição de água para sementes de três espécies florestais

Bowdichia virgilioides Kunth (Sucupira), *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Leucena) e *Tecoma stans* (L.) Kunth (Ipê) observaram um padrão trifásico apenas para embebição de sementes Ipê (*Tecoma stans* (L.) Kunth), nesse processo a fase I ocorreu com 23 horas, a fase II entre as 23 e 59 horas e a fase III a partir das 59 horas. Para sementes escarificadas de Sucupira (*Bowdichia virgilioides* Kunth), foi observado um padrão bifásico da curva de embebição, a fase I foi lenta com um tempo de absorção de 227 horas de duração.

Para realização da curva de embebição a utilização do papel germitest proporcionou melhores condições para que ocorresse a germinação, sendo o mais adequado como substrato para ser utilizado em experimentos como este para *M. pubescens*, apesar de que não foi possível observar a expressão da fase III para o tratamento T4.

Conclusões

Houve diferença no processo de embebição entre as sementes com tegumento inteiro e com tegumento cortado em papel germitest e caixas gerbox. Ocorreu à formação de um hidrogel, intrínseco da espécie, que retarda a absorção de água pelo embrião. As sementes deterioraram no processo de embebição em caixas gerbox. O papel germitest foi o método que apresentou maiores porcentagens de germinação, sendo mais adequado para realização do teste.

Referências

ALMEIDA, L. P. **Germinação, crescimento inicial e anatomia foliar de plantas jovens de *Cryptocarya aschersoniana* Mez. sob diferentes níveis de radiação.** 2001. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia. Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

ARANTES, C. R. de A. **Germinação e vigor de sementes de *Magonia pubescens* A. ST.-HIL. armazenadas em diferentes embalagens, com e sem pré-embebição em água e, formação de plântulas em**

diferentes recipientes. 2015. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

ARANTES, C. R. de A. *et al.* Germination and vigor of seeds of *Magonia pubescens* A. St.-Hil. submitted to storage and pre-imbibition in water. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 39, n. 4, p. 344-352, 2017.

ATAÍDE, G. M. *et al.* Avaliação preliminar da embebição de sementes de jacarandá-da-bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.34, n.78, p.133-139, jun., 2014.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: Physiology of Development and Germination**. 2ed. New York: Plenum Press, 1994.

DB-CITY. **Geografia São João da Lagoa, Minas Gerais, Brasil**. Disponível em: <https://pt.db-city.com/Brasil--Minas-Gerais--S%C3%A3o-Jo%C3%A3o-da-Lagoa>. Acesso: 25 out. 2019.

DIGNART, S. *et al.* Superação de dormência física em sementes de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart. Cov.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Paulínia, v. 7, n. 2, p. 1-6, 2005.

FAO. **O estado dos recursos genéticos florestais do mundo**. Roma, Itália: FAO, 2014. 304 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i3825e.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2019.

FLORA DO BRASIL. **Angiospermas in Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB128482>>. Acesso em: 10 fev. 2022

HOPPE, J. M. (Org.). **Produção de sementes e mudas florestais**, Caderno Didático 1. 2 ed. Santa Maria: [s.n.], 2004.

JEROMINI, T. S. *et al.* Armazenamento de sementes e sombreamento na emergência e crescimento inicial das mudas de *Magonia pubescens* A. St.-Hil. **Revista Árvore**, Viçosa- MG, v. 39, n. 4, 683-690, jul./ago., 2015.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948.

LABOURIAU, M. L. S. A semente de *Magonia pubescens* A. St. Hil.- Morfologia e germinação. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 3/4, p. 501-537, 1973.

OLIVEIRA, G. M. *et al.* Luminosidade e curva de embebição de água para sementes de espécies florestais. **Revista Científica Intellecto**, Venda Nova do Imigrante, v. 4, p. 16-25, 2019.

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

SILVA, F. F. S. **Qualidade de sementes e produção de mudas de *Sideroxylon obtusifolium* (SAPOTACEAE) de duas procedências**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.

SOUZA, M. de J.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; RIBEIRO, L. M. Secondary-cell-wall release: a particular pattern of secretion in the mucilaginous seed coat of *Magonia pubescens*. **American Journal of Botany**, Baltimore, v. 107, n. 1, p. 31-44, 2020.

SYSTAT SOFTWARE. SigmaPlot for Windows Version 13.0. **San Jose**: Systat Software Inc., 2019. todostodosrea_de_estudorea_de_estudoooooncias_Bibliográficasncias_Bibliográficas

Geoestatística aplicada ao manejo do jenipapeiro

Admilson de Santana Sacramento

Isis Oliveira Santos Silva

Deoclides Ricardo de Souza

Elton da Silva Leite

Simone Alves Silva

Liniker Fernandes da Silva

Introdução

O jenipapeiro (*Genipa americana* L. - Rubiaceae) é uma arbórea nativa com potencial madeireiro e frutífero (COLETO *et al.*, 2018), podendo ser utilizada como opção de renda, principalmente para pequenos agricultores pelo seu valor comercial (COSTA *et al.*, 2005), bem como recuperação de ecossistemas degradados e recomposição de matas ciliares (SANTOS *et al.*, 2011).

O jenipapeiro por apresentar valor econômico, ambiental e boa adaptabilidade nas regiões brasileiras, há pouca evidencia de registro de pesquisas que viabilizem sua exploração madeireira e não madeireira sustentada associada às técnicas silviculturais e sistemas de manejo.

Entretanto, as técnicas geoestatísticas têm sido aplicadas com eficácia em plantios florestais para avaliar a produção e produtividade no espaço e no tempo (MELLO *et al.*, 2005; ORTIZ *et al.*, 2006; KANGER JUNIOR *et al.*, 2007; BOGONLA *et al.*, 2008; MELLO, *et al.*, 2009; ROSA FILHO *et al.*, 2011; GUEDES *et al.*, 2012; AQUINO *et al.*, 2014; PELISSARI *et al.* 2012, CALIXTO *et al.*, 2017; DEBASTIANI *et al.*, 2018), porém na sua maioria com espécies exóticas, apresentando pouca aplicação com espécies nativas, sobretudo com dados dendrométricos.

Desta forma, destaca-se a necessidade de conduzir pesquisas por meio de técnicas de precisão para conhecer o desenvolvimento espacial dos indivíduos de jenipapeiro. Estudo dessa natureza permite

conhecer o desenvolvimento de plantios da espécie, tornando assim, opção comercial de produtos madeireiro e não madeireiro. Nesse sentido, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial e temporal das variáveis dendrométricas diâmetro ao nível do solo (DAS) e altura total (AT) do jenipapeiro até os oito anos de idade.

Material e métodos

O experimento foi implantado no Campus Experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia (12°40'19" latitude sul e 39°06'23" de longitude oeste de Greenwich e com altitude média de 220 m). O clima da região, segundo KOPPEN, é caracterizado como tropical quente e úmido, com precipitação média anual de 1.224 mm ano⁻¹. A temperatura média anual é de 24,5 °C e a umidade relativa do ar de aproximadamente 80% (LIMA FILHO et al., 2013). O solo da região é classificado de acordo com o sistema brasileiro de classificação dos solos, como Latossolo Amarelo distrocoeso típico (SOARES FILHO et al., 2008).

O delineamento estatístico foi em blocos casualizados com quatro repetições e cinco espaçamentos (3,0 x 1,5 m; 3,0 x 2,0 m; 3,0 x 2,5 m; 3,0 x 3,0 m e 3,0 x 3,5 m). As unidades amostrais compostas por cinco linhas e cinco plantas por linha, totalizando 25 plantas por parcela. As variáveis, diâmetro ao nível do solo (DAS) e altura total (AT), foram mensuradas anualmente até os oito anos de idade das 373 árvores remanescentes. As medições do DAS foram realizadas com fita métrica e AT régua graduada durante os anos em análise (2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017).

O georreferenciamento das árvores foi realizado pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS) do tipo Geodésico, formando uma malha amostral. Para realizar as análises das distribuições espaciais e semivariogramas, utilizou-se o software GS+ (ROBERTSON, 1998), onde as semivariâncias foram encontradas conforme equação:

$$Y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2$$

em que, $y(h)$ é a semivariância da variável $Z(x_i)$; $N(h)$ corresponde o número de pares de pontos medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por uma distância h ; $Z(X_i)$ corresponde ao valor determinado de cada ponto; e $Z(X_i+h)$ representa o valor de um ponto somado uma distância num ponto mais uma distância (h).

O índice de dependência espacial (IDE) das variáveis DAS e AT foram analisadas aplicando os seguintes modelos teóricos do semivariograma:

$Y(h) = C_0 + C \left(1 - e^{-h^2 / A^2}\right)$	Gaussiano
$Y(h) = C_0 + C \left(1 - e^{-h / A}\right)$	Exponencial
$Y(h) = C_0 + P(h)^4$	Linear
$Y(h) = C_0 + C \left[\left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{h}{A}\right) - \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{h}{A}\right)^3 \right]$	Esférico

A escolha do modelo apropriado foi realizada com base nos maiores valores de coeficiente de determinação (R^2) e índice de dependência espacial (IDE) e menor efeito pepita (MELLO *et al.*, 2005; MELLO *et al.*, 2009). O IDE foi classificado de forte dependência ($IDE < 25\%$), moderada ($25\% < IDE \leq 75\%$) e fraca $IDE > 75\%$) (CAMBARDELA *et al.*, 1994).

Os mapas de diâmetro ao nível do solo (DAS) e altura total (AT) foram gerados por meio da krigagem ordinária em função da idade. A krigagem é um ótimo estimador, visto que, a mesma utiliza a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo (CARVALHO e ASSAD, 2005). Além disso, a krigagem também fornece estimadores precisos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência (FERNANDES, 2014).

Resultados e discussão

Os parâmetros de ajuste dos modelos do semivariograma estão apresentados na Tabela 1. O modelo gaussiano teve bom ajuste para o DAS no 8º ano (R^2 de 90,0%) e AT no 1º e 2º ano (R^2 de 86,0% e 87,0%). Já o modelo exponencial apresenta bom ajuste para o DAS no 2º e 3º ano (R^2 de 88,0% e 92,0%) e AT no 5º ano (R^2 de 87,0%). O modelo linear apresenta bom ajuste para DAS e AT no 6º ano (R^2 de 88,0% e 74,0%). Os modelos esférico e exponencial apresentam bom ajuste para AT e DAS (R^2 de 70,0 e 80,0%) no 7º ano. Isso mostra que os modelos testados descrevem com precisão estatística os padrões espaciais das variáveis dendrométricas DAS e AT das árvores do jenipapeiro. Também, comportamento dessa natureza no ajuste dos modelos gaussiano, exponencial, esférico e linear foi constatado por Mello (2005), Pelissari (2012) e Calixto (2017).

Os valores do índice de dependência (IDE) variam entre 0,48 a 0,68 para DAS e 0,50 a 0,62 para AT, indicando dependência espacial moderada e baixa concorrência entre árvores (Tabela 1). Observa-se tendência decrescente com aumento da idade para as variáveis AT e DAS, demonstrando que a local interfere no crescimento das árvores. Essa tendência foi inversa em estudo com povoamentos de *Eucalyptus sp.* conduzido por Kanegae Junior *et al.* (2007). A moderada dependência espacial observada pode estar associada ao crescimento das árvores de não terem atingindo a sua capacidade máxima de ocupação do solo.

Tabela 1. Parâmetros dos modelos ajustados dos semivariogramas para as variáveis, altura total (AT) e diâmetro ao nível do solo (DAS), das árvores de jenipapeiro de um a oito anos de idade, Cruz das Almas, Bahia, 2020.

Variável	Idade (ano)	Modelo	Co (1)	Co + C (2)	A (3)	IDE (4)	R ² (5)
AT (m)	1	Gaussiano	0,04	0,06	193,10	0,68	0,86
	2	Gaussiano	0,13	0,19	180,20	0,67	0,87
	3	Exponencial	0,17	0,32	210,90	0,52	0,87
	4	Exponencial	0,26	0,53	210,90	0,49	0,78
	5	Exponencial	0,34	0,71	210,90	0,48	0,81
	6	Linear	0,34	0,68	210,90	0,50	0,74
	7	Esférico	0,41	0,81	210,90	0,50	0,70
	8	Gaussiano	0,57	1,12	163,40	0,52	0,60
DAS (cm)	1	Gaussiano	0,28	0,45	181,00	0,62	0,70
	2	Exponencial	0,62	1,14	210,90	0,54	0,88
	3	Exponencial	0,76	1,45	210,90	0,52	0,92
	4	Gaussiano	1,39	2,70	210,90	0,51	0,70
	5	Exponencial	1,99	3,99	199,80	0,50	0,79
	6	Linear	2,45	4,90	210,90	0,50	0,88
	7	Exponencial	3,21	7,32	210,90	0,60	0,80
	8	Gaussiano	4,04	10,08	149,30	0,60	0,90

(1) efeito pepita; (2) patamar; (3) alcance; (4) índice de dependência espacial; (5) coeficiente de determinação.

Fonte: Admilson Santana Sacramento (2014).

Os valores de alcance (A) variam entre 163,4 a 210,9 metros para o DAS e 149,3 a 210,9 metros para AT, sendo considerados altos (Tabela 1). Estes resultados mostram que o crescimento das árvores pode ocorrer estatisticamente igual em uma grande área de abrangência, influenciado no manejo e escolha de indivíduos para programas de melhoramento. Corá *et al.* (2004), relatam a importância de obter valores de alcance altos, pois, baixos valores podem influenciar na qualidade das estimativas, devido ao uso de poucos pontos para realização da interpolação. Quanto maior o alcance, mais estruturada

especialmente a variável de interesse, além de uma relação inversa com o efeito pepita (KANGAE JUNIOR *et al.*, 2007).

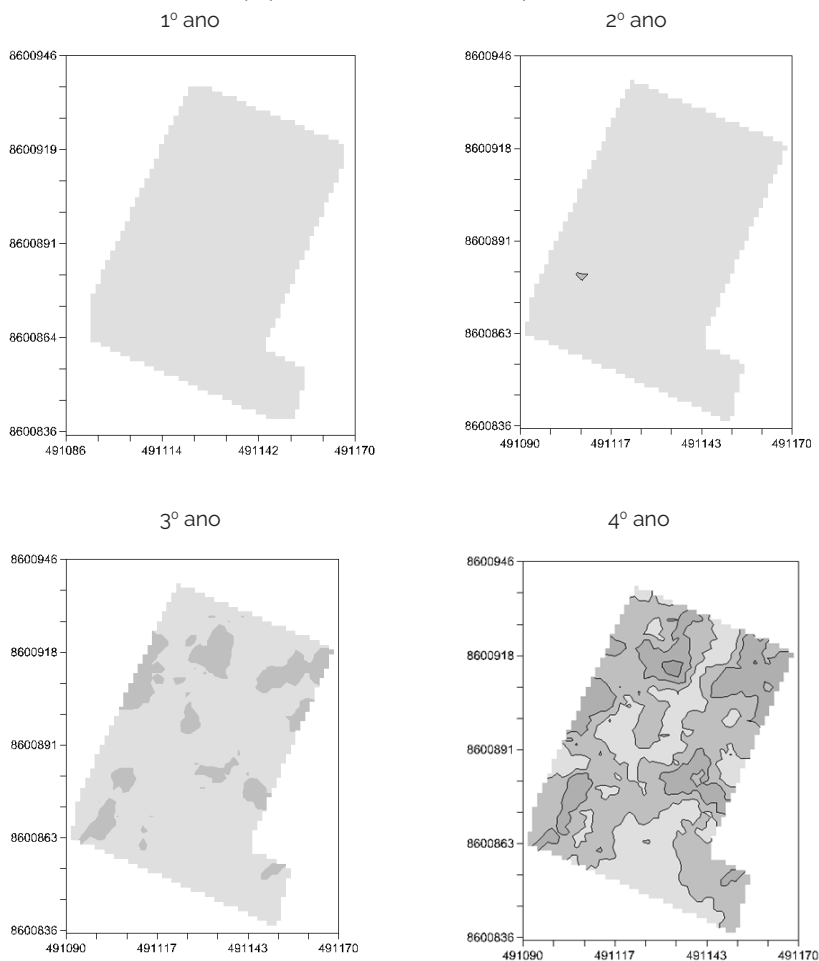
O aumento da idade proporciona melhoria no ajuste dos modelos gaussiano e exponencial com alto R^2 e IDE, observados nos anos 7º e 8º. Este fato está relacionado com a concorrência entre plantas e aumento da idade, afetando a continuidade espacial. Resultado semelhante foi observado por Kanegae Junior *et al.* (2007) na avaliação de continuidade espacial de *Eucalyptus sp.*

Os valores do efeito pepita podem ser considerados baixos, variando entre 0,04 e 4,04 (Tabela 1). Esses valores aumentam com a idade do povoamento, entretanto, não observa redução do índice de dependência espacial em virtude do aumento do patamar (Co+C), justificado pelo crescimento das AT e DAS com a idade. Os valores de C_0 obtidos são semelhantes aos apresentados por Rosa Filho *et al.* (2011) para as variáveis dendrométricas AT e DAP de *Eucalyptus urophylla*.

Os baixos valores de efeito pepita (C_0) indicam correta amostragem na área, continuidade espacial de maior variabilidade dos dados aferidos e menor erro de estimação.

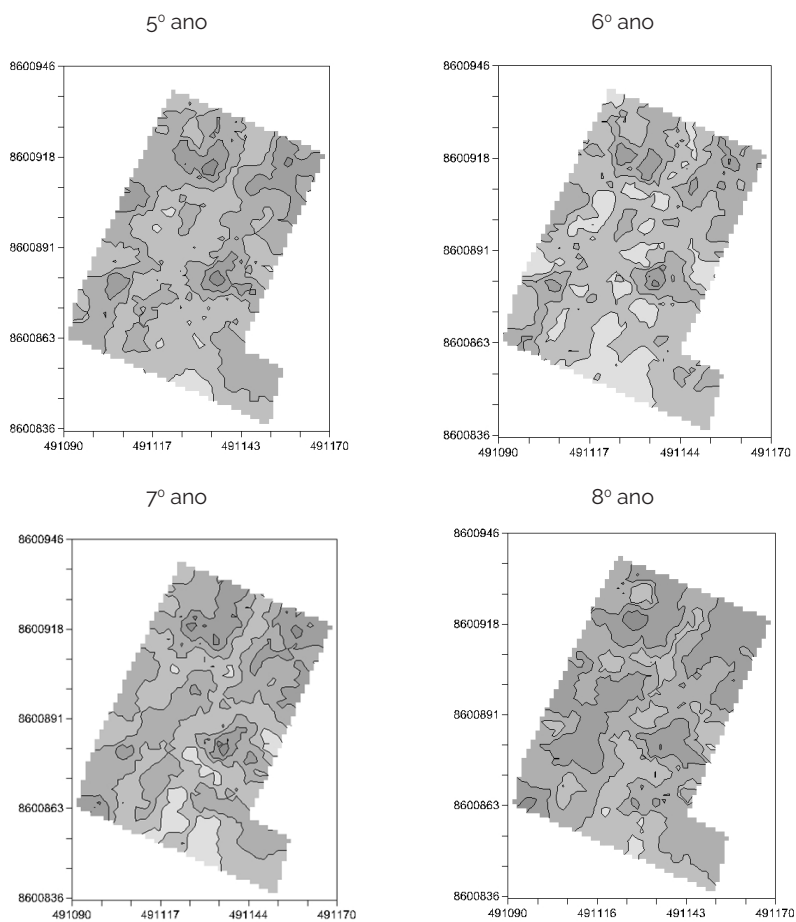
Os mapas interpolados pela krigagem ordinária evidenciam maior diferenciação das classes nos anos avaliados e nos tratamentos onde ocorrem maiores crescimentos das variáveis AT e DAS do jenipapeiro (Figuras 1, 2, 3 e 4). Nos mapas de AT e DAS, constata-se baixa diferenciação de classes no 1º e 2º ano e maior diferenciação das classes a partir do 4º ano.

Figura 1. Distribuição espacial da altura total (AT) no 10, 20, 30 e 40 ano de idade de jenipapeiro sob os diferentes espaçamentos.



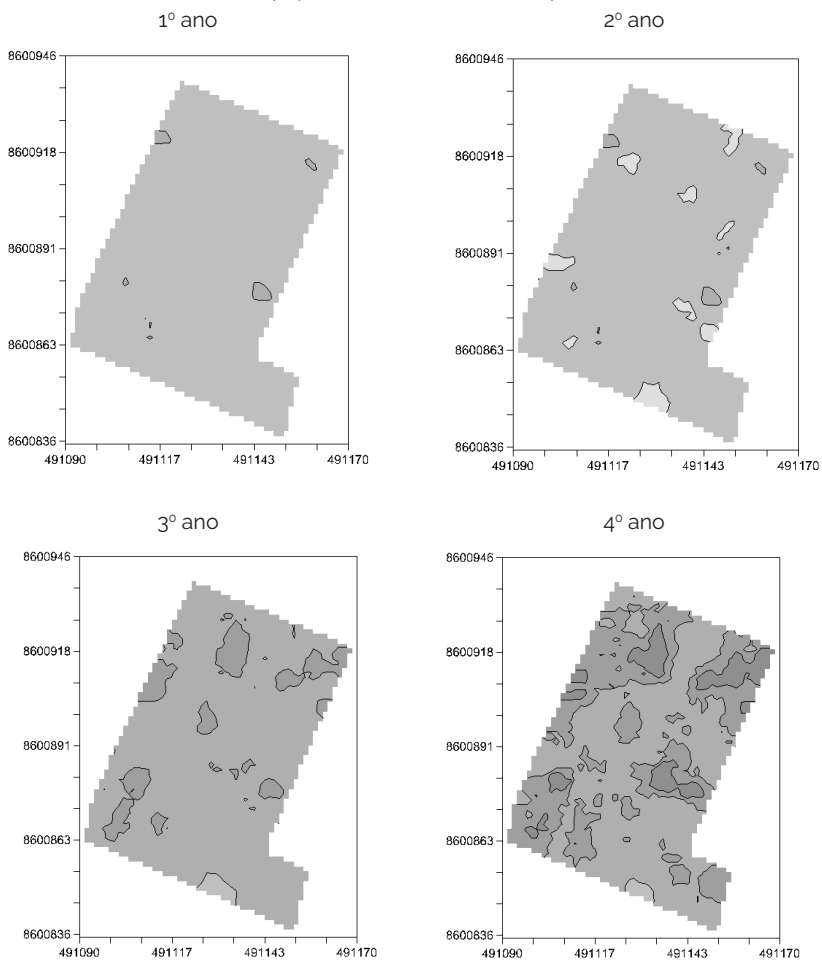
Fonte: Admilson Santana Sacramento (2014).

Figura 2. Distribuição espacial da altura total (AT) no 50, 60, 70 e 80 ano de idade de jenipapeiro sob os diferentes espaçamentos.



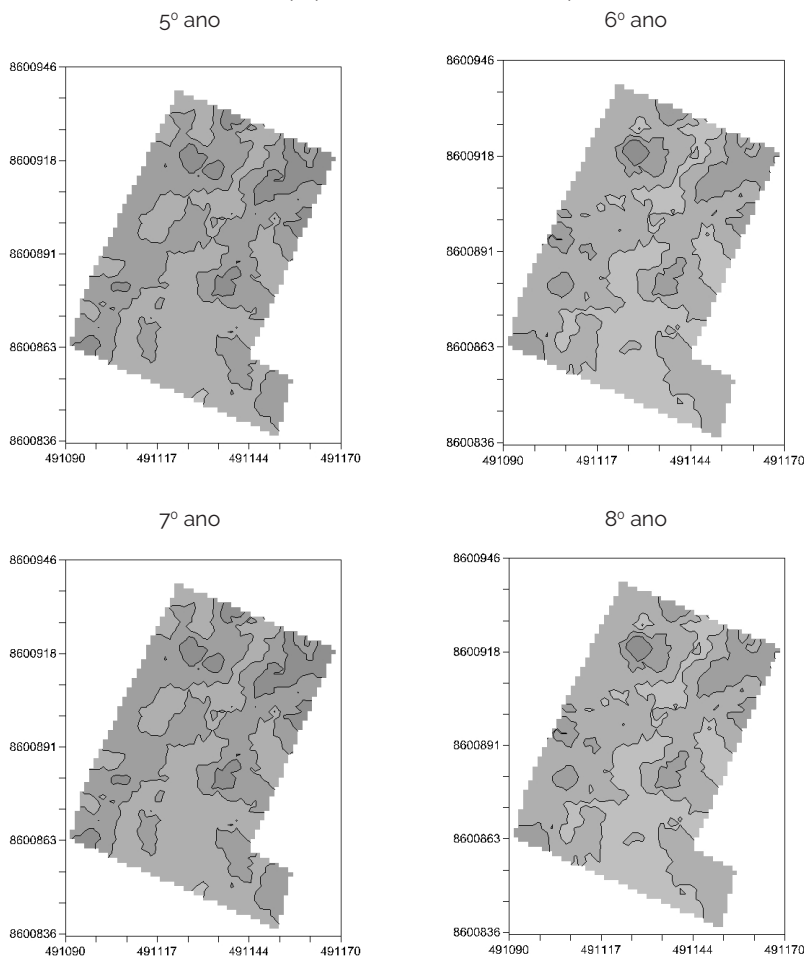
Fonte: Admilson Santana Sacramento (2014).

Figura 3. Distribuição espacial do diâmetro ao nível do solo (DAS) no 10, 20, 30, e 40 ano de idade de jenipapeiro sob os diferentes espaçamentos.



Fonte: Admilson Santana Sacramento (2014).

Figura 4. Distribuição espacial do diâmetro ao nível do solo (DAS) no 5º, 6º, 7º, e 8º ano de idade de jenipapeiro sob os diferentes espaçamentos.



Fonte: Admilson Santana Sacramento (2014).

Nos anos 5, 6, 7 e 8, os espaçamentos mais amplos apresentam maior crescimento do DAS e AT, destaque para o espaçamento 3,0 x 3,5 metros. Isso pode estar associado a baixa concorrência entre plantas, boa distribuição de chuva, condições de solo e características genética da espécie. A altura e o diâmetro das árvores

de jenipapeiro neste estudo foram superiores aos encontrados por Paiva *et al.* (2019) para a mesma espécie. Entretanto, o jenipapeiro apresenta maior crescimento em AT e DAS com aumento da idade, e conseqüentemente maior variabilidade espacial, expressando sua capacidade de adaptabilidade em plantio homogêneo.

Conclusões

A geoestatística mostra-se eficiente na avaliação da distribuição espacial das variáveis HT e DAS, das árvores de jenipapeiro.

Os modelos gaussiano e exponencial representam a variabilidade espacial das variáveis dendrométricas altura total e diâmetro ao nível do solo nas condições do estudo

O jenipapeiro apresenta dependência espacial moderada e variabilidade espacial do DAS e AT com o aumento da idade.

O espaçamento 3,0 x 3,5 m apresenta maior incremento em altura total e diâmetro aos oito anos de idade.

Referências

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C.C.; MARQUES JUNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em latossolo sob floresta nativa e pastagem na Região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p.397-406, 2014.

BOGNOLA, I. A.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; SILVA, E. A. A.; LINGNAU, C.; HIGA, A. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, 2008.

CALIXTO, A.; PELISSARI, A.; ROVEDA, A.; NAKAJIMAET, N. Modelagem geoestatística dos sortimentos volumétricos em povoamentos de *Pinus sp.* **Agrarian Academy**, v. 4, n. 7, p.335-345, 2017.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of

soil properties in Central Iowa Soil. **Soil Science Society American Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1508, 1994.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p.377-384, 2005.

COLETO, A. L.; SANTOS, W.; MORAES, M. A.; CAMBUIM, J.; NASCIMENTO, S. S.; FERRACINI, J.; LONGUI, E. L.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, M. L. T.. Genetic variation in silvicultural traits and carbon stock content in a provenance-progeny test of *Genipa americana* L. (Rubiaceae). **Silvae Genética**, v. 67, p. 133-138, 2018.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

COSTA, M. C.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; ALBRECHT, J. M. F.; COELHO, M. F. B. Substratos para produção de mudas de jenipapo (*Genipa americana* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.1, n. 35, p. 19-24, 2005.

DEBASTIANI, A. B.; VASCONCELLOS, B. N.; MARTINS, A. P. M.; CORTE, A. P. D.; SANQUETA, C. R. Predições geoestatísticas e zonas de incerteza no inventário de povoamentos florestais. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v.5, n.1, p.283-287, 2018.

FERNANDES, T. T.; **Krigagem indicativa para elaboração de mapas probabilísticos em agricultura de precisão**. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estatística, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

GUEDES, I. C. L.; MELLO, J. M.; MELLO, C. R.; OLIVEIRA, A. D.; SILVA, S. T.; SCOLFORO, J. R. S. Técnicas geoestatísticas e interpoladores espaciais na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 541-550, 2012.

KANEGAE JUNIOR, H.; MELLO, J. M.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Avaliação da continuidade espacial de características dendrométricas

em diferentes idades de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, Viçosa- MG, v.31, n.5, p.859-866, 2007.

LIMA FILHO, A. F.; COELHO FILHO, M. A.; HEINEMANN, A. B. Determinação de épocas de semeadura do feijão caupi no Recôncavo Baiano através do modelo CROPGRO. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1294-1300, 2013.

MELLO, J. M.; BATISTA, J. F.; OLIVEIRA, M. S.; JUNIORET, P. J. R. Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 113-126, 2005.

MELLO, J. M.; DINIZ, F. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, C. R.; SCOLFORO, J.R.S.; ARCEBI JUNIOR, F. W. Continuidade espacial para características dendrométricas (número de fustes e volume) em plantios de *Eucalyptus grandis*¹. **Revista Árvore, Viçosa**, v.33, n.1, p.185-194, 2009.

ORTIZ, J. L.; VETORRAZZI, C. A.; COUTO, H. T. Z.; GONÇALVES, J. L. M. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. n. 72, p. 67-79, 2006.

PAIVA, J. N.; BRAGA, R. S. S.; SANTANA, J. A. S.; CANTO, J. L. Crescimento e sobrevivência de *Genipa americana* L. no município de Macaíba (Rio Grande do Norte – Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.7, n.3, p. 088-093, 2019.

PELLISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; DRESCHER, R.; SANTOS, V. S. Modelagem geoestatística da dinâmica espacial da altura dominante de *tectona grandis* L.f. (teca). **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 1249-1260, 2012.

ROBERTSON, G. P. GS+: **Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's Guide**. Plainwell, Gamma Desing Software, 1998.

ROCHA, M. B.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; PRADO, W. B.; PAULA, A.; CONCEIÇÃO JUNIOR, V. Volumetria de *Genipa americana* em plantio homogêneo no Sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 84, n. 35, p. 419-425, 2015.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; SILVA, J. M.; SIQUEIRA, G. M.; ZAMBIANCO, E. C.. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n.2, p. 439-446, 2011.

SANTOS, A. R. F.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R. A. Restrição hídrica em sementes de Jenipapo (*Genipa americana* L.). **Revista Árvore**, Viçosa- MG, v. 2, n. 35, p. 213-220, 2011.

SOARES FILHO, W. S.; LEDO, C. A. S.; PASSOS, O. S.; SOUZA, A. S.; MATTOS, L. A.; QUINTELA, M. P. Parentais femininos monoembrionicos na obtenção de porta enxertos híbridos de citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 215-218, 2008.

Otimização aplicada ao manejo de florestas

Larice Souza Santos

Juliana Carvalho Barbosa Ramos

Deoclides Ricardo de Souza

Liniker Fernandes da Silva

Elton da Silva Leite

Simone Alves Silva

Introdução

No Brasil, grande parte da madeira que atende as demandas internas do país é oriunda das florestas nativas. No entanto, devido à exploração predatória destas florestas, a capacidade de provisão para as demandas atuais e futuras vem diminuindo ao longo do tempo, necessitando assim de estratégias e ferramentas que auxiliem no gerenciamento das atividades florestais e no apoio à tomada de decisões (HOFFMANN *et al.*, 2011; CARVALHO *et al.*, 2015; SNIF, 2017).

Atualmente, uma das ciências estudadas para o aprimoramento do planejamento e tomada de decisões no segmento florestal é a pesquisa operacional. A pesquisa operacional busca solucionar conflitos de interesses entre as partes de uma organização, procurando uma melhor solução para a organização como um todo (HILLIER e LIEBERMAN, 2012).

A pesquisa operacional tem sido amplamente empregada no planejamento e exploração de florestas plantadas (FERNANDES *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2014). No planejamento da exploração das florestas nativas essa ferramenta tem sido pouco usada mesmo sendo essas florestas as que mais demandam de planejamento das intervenções de caráter exploratório, devido à complexibilidade e heterogeneidade das florestas tropicais naturais.

As ferramentas matemáticas, computacionais e espaciais associadas às técnicas de pesquisa operacional, possibilitam a otimização do processo de tomada de decisão em termos legais, ambien-

tais e técnicos na gestão de florestas, sendo eficaz no planejamento e execução das atividades de manejo florestal sustentável (SILVA. *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018). A eficácia dos métodos computacionais permite avaliar alternativas ao mesmo tempo em que se resolvem problemas complexos, em período de tempo relativamente curto (RUDEK *et al.*, 2019)

Dentre os principais métodos da programação matemática aplicadas ao planejamento florestal, à programação linear é a mais utilizada, cuja aplicação, no segmento florestal, objetiva principalmente a otimização do planejamento da produção madeireira (SILVA *et al.*, 2006; MARTINHAGO, 2012; HADDAD *et al.*, 2014).

Dentro da programação existem várias extensões que são aplicadas a depender do cenário que se deseja avaliar, a exemplo da programação linear por metas, que permite a modelagem e a busca de soluções simultâneas para problemas com múltiplas metas ou objetivos, tendo por finalidade minimizar os desvios entre a realização dos objetivos e seus níveis de prioridades, ou seja, atingir todas as metas, o mais próximo possível (FERRARI; SFEIR, 2017).

Diante do atual cenário do manejo em áreas florestais naturais e pela necessidade de planejamento para promoção da colheita de árvores de interesse comercial, o presente trabalho teve como objetivo definir um modelo de otimização com o uso da programação inteira por metas para auxiliar no planejamento da colheita de madeira em unidade de manejo (UM) de floresta ombrófila densa de terra firme.

Material e métodos

Os dados de volumes do fuste de 4.660 árvores com DAP \geq 50 cm de 56 espécies arbóreas comerciais distribuídas em 49 unidades de trabalho (UT) de 10 ha cada, utilizados neste trabalho foram obtidos de um inventário de prospecção (100%) na unidade de produção anual (UPA) da empresa Nova Era Agroflorestal (02°35'53"S e 47°47'10"W), Paragominas, Pará (SOUZA, *et al.* 2006) (Figura 1).

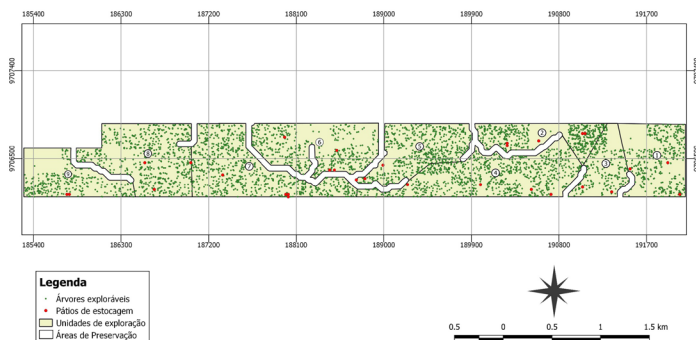
As 56 espécies arbóreas comerciais exploráveis com suas respectivas árvores e volumes foram classificados de acordo a Secretária de Meio Ambiente do estado do Pará (portaria n.º 611, de setembro de 2015).

As 49 unidades de trabalho de 10 hectares cada, por motivos técnicos operacionais foram reagrupadas e especializadas em nove unidades de trabalho (UT) e alocados pátios em função do volume de madeira em tora de cada UT (Figura 1), conforme proposto por Ramos (2017).

Os pátios de estocagem foram alocados por Ramos (2017) nas nove unidades de trabalho e teve como objetivo a otimização das distâncias entre cada árvore e um possível pátio. O número de pátios alocados foi dado em função do volume total de madeira a ser colhida. Os pátios alocados possuem dimensões de 20m x 25 m (500 m²) e capacidade de estocagem de 700 metros cúbicos (m³) de madeira em tora.

Para o cálculo do custo de arraste das árvores até os pátios de estocagem foi considerado o valor de US\$ 1,31 por metro linear e o custo de corte da árvore de US\$ 0,25 o metro cúbico (m³) (AMARAL *et al.*, 1998).

Figura 1. Mapa de localização da unidade de produção (UPA), Fazenda Tracajás - Paragominas, Pará.



Fonte: Juliana Carvalho Barbosa Ramos (2017).

Na Tabela 1, estão apresentadas as nove unidades de trabalho (UT) com as árvores e volumes.

Tabela 1: distribuição volumétrica por unidade de trabalho.

Unidade de Trabalho	Área da Unidade Trabalho (há ³)	Número de Pátios	Número de árvores	Volumes (m ³)
1	49,0	3	385	1.629,3410
2	36,0	5	455	2.130,5530
3	33,7	2	243	1.032,9720
4	79,8	4	876	3.654,6500
5	47,0	3	576	2.454,1280
6	57,5	4	465	1.932,3760
7	74,4	4	749	3.029,6520
8	66,7	3	609	2.579,6330
9	45,8	2	302	1.243,1470
Total	490	30	4.660	19.686,45

Fonte: Larice Souza Santos (2019).

Os preços da madeira por metro cúbico (m³) foram obtidos na Portaria N° 611, de 10 de Setembro de 2015 no boletim de preços dos produtos agrícolas e florestais da Secretaria de Meio Ambiente do estado do Pará, usando-se três classes de preços de madeira: madeira branca = US\$ 41,76/m³, madeira vermelha = US\$ 51,89/m³ e madeira nobre = US\$ 128,40/m³. Os valores são apresentados em dólares americanos, considerando a taxa de cambio (US\$ 1,0 = R\$ 4,11), cotados em 10 de outubro de 2019.

O volume individual de fuste das árvores exploráveis foi obtido pela equação de volume, desenvolvida por Queiroz (1984):

$$V_{cc} = 0,0774759688 \times DAP^2 \times Hc \quad (1)$$

$$V_{cc} = 0,0774759688 \times DAP^2 \times Hc \quad (1)$$

em que: V_{cc} = volume comercial com casca (m³); DAP= diâmetro a 1,30 metros de altura, e H_c= altura comercial, em metros.

Assim, a receita individual gerada para cada árvore foi calculada multiplicando o volume das árvores pelo preço do metro cúbico.

O modelo de otimização com o emprego da programação por metas permite tratar múltiplo objetivo sendo um deles o principal, que é usado como medida de otimização, e os demais secundários ou restrições atribuindo valores máximos ou mínimos (SILVA, 2009).

Para a execução do modelo, foram considerados três cenários de custo: cenário I – meta de custo baseada em vinte por cento (20%) do total do custo mínimo de extração; cenário II – quarenta por cento (40%) do total do custo mínimo de extração e cenário III- sessenta por cento (60%) do total do custo mínimo de extração.

Função Objetivo

A Função objetivo busca minimizar os desvios em custos de extração da *i*-ésima árvore, volume e receita da *i*-ésima árvore.

O modelo utilizado é descrito matematicamente pela equação:

$$\text{Min}Z = Cd_{ut}^- + Vd_{ut}^- + Rd_{ut}^-$$

em que $\text{Min}Z$ = minimizar o desvio da receita, do volume e do custo de extração; Cd_{ut}^- = desvio do custo de extração de madeira da unidade trabalho (corte e arraste) (US\$); Rd_{ut}^- = desvio da receita bruta do volume da unidade trabalho (US\$); e Vd_{ut}^- = desvio do volume da unidade de trabalho .

Restrições

a) restrição do volume de corte permissível por hectare;

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_i X_{ij} + Vd_{ut}^- = Vcp_{ut}, \quad \forall ut \quad \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_i X_{ij} + Vd_{ut}^- = Vcp_{ut}, \quad \forall ut$$

em que: X_{ij} = se a *i*-ésima árvore está atribuída ao *j*-ésimo pátio; V_i = volume da *i*-ésima árvore; Vd_{ut}^- = desvio do volume da unidade de trabalho e Vcp_{ut} = o volume de corte permissível por unidade de trabalho menor ou igual a 30 m³ha⁻¹, conforme Instrução Normativa nº 05 de 10 de setembro de 2015.

b) restrição referente a receita bruta do volume de madeira a ser colhida,

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_i P_i X_{ij} + R d_{ut}^- = R b_{ut}, \quad \forall ut$$

em que: $P_i P_i$ = preço da i -ésima árvore; $R d_{ut}^- R d_{ut}^-$ = desvio da receita bruta do volume da unidade trabalho e $R b_{ut} R b_{ut}$ = receita bruta do volume da unidade de trabalho.

c) restrição referente ao custo de extração da i -ésima árvore, em que C é o custo de extração.

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_i X_{ij} + C d_{ut}^- = C T_{ut}, \quad \forall ut$$

em que: $C_i C_i$ = custo de corte e extração do volume da i -ésima árvore; $C d_{ut}^- C d_{ut}^-$ = desvio do custo de extração do volume de madeira da unidade trabalho e $C T_{ut} C T_{ut}$ = custo total da extração do volume de madeira da unidade de trabalho.

d) restrição de rota única que assegura que cada árvore seja destinada a somente um pátio de estocagem.

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} \leq 1, \quad \forall i$$

e) restrição relacionada à capacidade dos pátios, assegurando que o volume de madeira destinada a cada pátio não ultrapasse a 700 metros cúbicos (m^3).

$$\sum_{i=1}^M V_i X_{ij} \leq 700, \quad \forall j$$

O modelo matemático foi processado no Solver IBM ILOG CPLEX 12.6. O computador utilizado para o processamento possui sistema operacional de 64 bits, Windows 10, processador Intel® Core™ i3-M 380, CPU 2.53GHz, e memória RAM de 4GB.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos (Tabela 2) apontam soluções distintas para os desvios de receita, de volume e de custos de corte e arraste nos cenários I, II e III. Em nenhum dos cenários, as unidades de trabalho apresentam no mesmo tempo, menor desvio de custo, menor desvio de receita e menor desvio de volume, ou seja, em nenhum cenário todos os objetivos são alcançados com uma única resposta. Segundo Silva *et al.* (2006), nestes casos a decisão final é adotada em função da preferência do tomador de decisão em relação aos objetivos considerados.

Tabela 2: valores dos desvios apresentados para os cenários I, II e III.

UT	Cenário I					
	D-Vol. (m ³)	D-Ri (U\$)	D-Cij (U\$)	M-Vol. (m ³)	M-Ri (U\$)	M-Cij (U\$)
1	760,21	40.585	2.8369	1.470	76.222	19.661
2	128,81	51.693	0,0226	1.080	101.839	16.094
3	549,87	25.380	2,9687	1.011	46.877	17.480
4	881,83	95.147	0,0691	2.394	170.180	55.203
5	331,09	59.678	0,9911	1.410	111.855	71.029
6	854,19	46.605	1,4113	1.725	96.217	24.122
7	946,84	77.129	0,7575	2.232	140.981	57.215
8	791,82	61.134	0,7014	2.001	118.486	39.501
9	856,38	32.028	0,6086	1.374	59.181	23.604
UT	Cenário II					
1	395,67	24.283	2,7326	1.470	76.222	39.323
2	0,07	42.765	0,0031	1.080	101.839	32.188
3	322,18	15.287	1,4838	1.011	46.877	34.960
4	92,80	5.952	0,1409	2.394	170.180	110.406
5	0,03	43.164	0,0657	1.410	111.855	142.058
6	433,89	28.051	0,1381	1.725	96.217	48.245
7	451,70	54.186	2,3372	2.232	140.981	114.429
8	246,10	36.098	0,6611	2.001	118.486	79.002
9	579,71	19.445	0,2961	1.374	59.181	47.207

Cenário III						
1	143,05	13.111	0,3943	1.470	76.222	58.984
2	0,81	42.672	0,0318	1.080	101.839	48.282
3	167,53	8.425	0,0057	1.011	46.877	52.440
4	0,01	51.202	1,3989	2.394	170.180	165.609
5	0,03	42.409	2,0079	1.410	111.855	213.087
6	155,01	15.752	0,4040	1.725	96.217	72.367
7	96,86	38.560	0,2320	2.232	140.981	171.644
8	0,03	23.606	0,4441	2.001	118.486	118.502
9	385,06	10.765	0,8112	1.374	59.181	70.811

UT: unidade e trabalho; D-Vol.: desvio da meta do volume; D-Ri: desvio da meta da receita; D-Cij: desvio da meta do custo; M-Vol.: meta de volume = volume máximo permitido; M-Ri: meta de receita = soma da receita de todas as árvores da unidade de trabalho; e M-Cij: meta de custo – varia conforme o cenário analisado – cenário I = 20% do total dos custos mínimos, cenário II = 40% do total dos custos mínimos e cenário III = 60% do total dos custos mínimos.

Fonte: Larice Souza Santos (2019).

Considerando os resultados da Tabela 2 é possível afirmar que os desvios referentes às metas de volume e receita da madeira, foram maiores do que os desvios dos custos de extração. Ao analisar e comparar os cenários I, II e III das receitas e dos custos referentes às etapas de corte e arraste das árvores colhidas, aos seus respectivos pátios, fica evidente que, mesmo com a otimização da alocação dos recursos através do modelo, os resultados obtidos foram diferentes para cada unidade de trabalho a depender do cenário analisado.

A Tabela 3 contempla o resultado do processamento do modelo cuja meta de custo é diferente nos três cenários analisados.

Tabela 3 - volume, receita e custos de extração da madeira nas unidades de trabalho sob diferentes cenários.

Cenário I						
UT	Volume máximo permitido (m ³)	Volume de corte (m ³)	Nº árvores cortadas	Σ Ri (US\$)	Σ Cij (US\$)	ΣRi-ΣCij (US\$)
1	1.470	710	127	35.637	19.658	15.979
2	1.080	951	147	50.146	16.094	34.052
3	1.011	461	99	21.497	17.477	4.020
4	2.394	1.512	274	75.033	55.203	19.830
5	1.410	1.079	199	52.177	71.028	-18.851
6	1.725	871	155	49.612	24.121	25.491

7	2.232	1.285	247	63.852	57.214	6.638
8	2.001	1.209	223	57.352	39.500	17.852
9	1.374	518	96	27.153	23.603	3.550
Cenário II						
1	1.470	1.074	209	51.939	39.320	12.619
2	1.080	1.080	209	59.074	32.188	26.886
3	1.011	689	145	31.590	349.59	-3.369
4	2.394	2.301	453	164.228	110.406	53.822
5	1.410	1.410	278	68.691	142.058	-73.367
6	1.725	1.291	254	68.166	482.44	19.921
7	2.232	1.780	368	86.795	114.427	-27.632
8	2.001	1.755	360	82.388	79.001	3.387
9	1.374	794	163	39.736	47.207	-7.470
Cenário III						
1	1.470	1.327	281	63.111	58.983	4.127
2	1.080	1.079	210	59.167	48.282	10.885
3	1.011	843	183	38.451	52.440	-13.988
4	2.394	2.394	525	118.978	165.608	-46.629
5	1.410	1.410	295	69.446	213.085	-143.639
6	1.725	1.570	334	80.465	723.666	8.098
7	2.232	2.135	455	102.421	171.644	-69.222
8	2.001	2.001	435	94.880	118.502	-23.622
9	1.374	989	221	48.416	70.810	-22.394

Ut - unidade de trabalho; Ri - receita bruta; Cij - custos de corte e arraste.

Fonte: Larice Souza Santos (2019).

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo de programação linear por metas na otimização na colheita de madeira indicam que a maioria das unidades de trabalho não apresenta receita líquida positiva para os cenários II e III, podendo ser explicado pelos custos de arraste das toras até pátios de estocagem. As unidades de trabalho exploradas em que a receita é maior que os custos de extração, em mais de um cenário foram as que possuem o maior número de pátios de estocagem (Tabela 1).

A unidade de trabalho 2, é a que possui maior número de pátios e de maior rentabilidade nos cenários I, II e III. O maior número de pátios em menores áreas favorece a redução da distância de arraste e conseqüentemente o custo de extração das árvores. Já que, de

acordo com Braz et al. (2017), os principais custos na exploração das florestas naturais advêm da construção de estradas e do arraste das toras até os pátios de estocagem.

Outra observação válida, é o fato que o modelo, em todas as UTs nos cenários I, II e III, indicou o corte de todos os indivíduos de maior valor comercial, classificados como madeira nobre (Tabela 4), provavelmente na tentativa de equilibrar receita/custo.

Tabela 4: número de árvores colhidas por classificação de madeira.

Cenário I				
UT	Madeira Branca	Madeira Nobre	Madeira Vermelha	Total
1	64	6	57	127
2	67	11	69	147
3	42	1	56	99
4	124	16	134	274
5	87	8	104	199
6	68	18	69	155
7	104	15	128	247
8	116	8	99	223
9	43	8	45	96
Cenário II				
1	111	6	92	209
2	30	11	168	209
3	72	1	72	145
4	216	17	220	453
5	92	9	177	278
6	130	18	106	254
7	158	16	194	368
8	191	10	159	360
9	79	9	75	163
Cenário III				
1	159	6	119	284
2	28	11	171	210
3	95	1	87	183
4	11	2	38	51
5	80	9	206	295
6	181	18	134	333
7	214	16	225	455
8	191	10	234	435
9	112	9	100	221

Fonte: Larice Souza Santos (2019).

Os resultados apontam diferentes soluções para os cenários analisados, apenas uma unidade de trabalho apresenta receita maior que os custos de extração (arraste e corte) para os Cenários I, II e III. O modelo de programação linear por metas mostra eficiente na determinação dos volumes de corte para os distintos cenários.

Conclusões

O modelo de programação linear por metas apresenta eficiência na determinação dos volumes de corte para os distintos cenários;

O modelo aponta que para a colheita de madeira ser viável economicamente nas unidades de trabalho deve-se ampliar o número de pátio para menor distância de arraste das toras de madeira.

Destaque para as unidades de trabalho 1, 2 e 6 nos cenários I, II e III por apresentarem maior receita líquida.

Novos estudos associados ao planejamento de pátios, trilhas de arraste e estradas são viáveis para otimização dos custos de extração.

Referências

AMARAL, P.; VERISSIMO, A.; BARRETO, P. **Floresta para Sempre: um Manual para Produção de Madeira na Amazônia**. Belém: Imazon, 1998.

BRASIL. Secretaria de Meio ambiente, Pará. **PORTARIA N.º 611**, de 10 de setembro De 2015.

BRAZ, E. M.; BASSO, R. O.; SILVA, J. P.; MATTOS, P. P. Índices de exploração para florestas naturais da microrregião de Sinop, MT. Colombo, PR: **Embrapa Florestas**, 2017. (Comunicado técnico, 395).

CARVALHO, K. H. A.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B. Influência da taxa de juros e do preço da madeira em modelos de regulação florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 143-151, 2015.

FERNANDES, A. P. D.; GUIMARÃES, P. P.; BRAZ, E. M.; HOEFLICH, V. A.; ARCE, J. E. Alternativas de planejamento para a exploração florestal. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 339 - 350, 2013.

FERRARI, L. S.; SFEIR, T. A. **Pesquisa Operacional aplicada à Engenharia Florestal**. SAEF. Curitiba, 2017.

HADDAD, H. M. D.; GOMIDE, L.; CRUZ, B. R.; SILVA, S. T. An integer linear programming approach applied to the Cerrado (Savanna) management. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 44, n. 1, p. 1 - 10, 2014.

HILLIER, F. S.; LIEBEMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9ª edição, Porto Alegre: AMGH, 2012.

HOFFMANN, R. G.; SILVA, G. F.; CHICHORRO, J. F.; FERREIRA, R. L. C.; VESCOVI, L. B.; ZANETI, L. Z. Caracterização dendrométrica de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.4, p.675-684, 2011.

LOPES, A. S.; SOUZA, D. R. Análise multivariada para estratificação volumétrica de uma floresta ombrófila densa de terra firme, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.1, p.49-54, 2006.

MARTINHAGO, A. Z. **Otimização para a locação de pátios de estocagem para exploração de impacto reduzido na Amazônia brasileira**. 2012. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

QUEIROZ, W. T. **Análise de fatores (“Factor Analysis”) pelo método da máxima verossimilhança**: aplicação ao estudo da estrutura de florestas tropicais. 1984. 109 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

RAMOS, J. C. B. **Geotecnologia e pesquisa operacional aplicadas ao planejamento da alocação de pátios de estocagem em sistema de exploração sustentável na Amazônia**. 2017. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.

RUDEK, A.; LOPES, E. S.; ARCE, J. E.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Development of Mathematical Programming Model for Cable Logging System Location. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 26, n. 1, p. 1- 9, 2019.

SNIF - **Sistema Nacional de Informações Florestais**. Boletim 2017 sobre Recursos Florestais no Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF: SFB, 2017. 32 p.

SILVA, D. A. S.; SILVA, G. F.; CHICHORRO, J. F. **Regulação de florestas inequidêneas sob manejo florestal comunitário na Amazônia**. Serviço Florestal Brasileiro. 2014.

SILVA, E. F. *et al.* Allocation of Storage Yards in Management Plans in the Amazon by Means of Mathematical Programming. **Forests**, v. 9, n. 127, p. 1 -20, 2018.

SILVA, G. F.; GHISOLF, E. M.; TEIXEIRA, A. F.; CABRINI, A. M.; BARROS Jr, A. A. O método das restrições na solução de um problema de planejamento florestal multiobjetivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 1, n. 1, p. 41-48, 2006.

SILVA, P. H.; GOMIDE, L. R.; FIGUEIREDO, E. O.; CARVALHO, L. M. T.; FERRAZ FILHO, A. C. Optimal selective logging regime and log landing location models: a case study in the Amazon forest. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 48, n. p. 18-27, 2018.

SILVA, A. F. **Modelagem do planejamento agregado da produção de uma usina sucroalcooleira**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá.

Colheita de eucalipto com o harvester

*Marx Sandino Santos Monteiro
Francisco de Assis Costa Ferreira
Bruno Meira Gomes
Liniker Fernandes da Silva
Elton da Silva Leite*

Introdução

As empresas do setor florestal vêm modernizando seu processo de mecanização, por meio da incorporação de máquinas e equipamentos especializados para colheita de madeira, necessitando de informações precisas sobre os aspectos técnicos e em quais condições as máquinas têm sua capacidade produtiva maximizada (BURLA, 2008).

Simões *et al.* (2010) e Burla *et al.* (2012) afirmam que no sistema de toras curtas, o *harvester* é a principal máquina utilizada na derrubada e no processamento, que consistem em alguns casos, no descascamento das árvores, no desgalhamento e no corte em toras de comprimento pré-determinado (traçamento), deixando as toras agrupadas e prontas para serem retiradas da área de colheita. Silva *et al.* (2010) e Leite *et al.* (2013) descrevem o *harvester* como uma máquina base adaptada ou específica de colheita florestal, com rodado de pneus ou esteiras metálicas ou mistas, lança hidráulica para alcance das árvores que em conjunto com o cabeçote executam as operações de derrubada e processamento.

Seixas e Batista (2014), afirmam que as máquinas base adaptadas constituídas de escavadoras de esteiras com a colocação de um cabeçote processador, são muito empregadas no setor florestal em virtude do menor custo de aquisição e a existência de modelos fabricados no país, facilitando a assistência técnica, a compra de peças, manutenção e fácil adaptação ao cabeçote *harvester*.

Avaliando as variáveis que influenciam as máquinas de colheita florestal, Ovaskainen et al. (2004) e Malinovski *et al.* (2006) concluíram que as configurações das máquinas, comprimento da lança hidráulica, potência e o rodado são variáveis que influenciam na produtividade. Entretanto, necessita-se de trabalhos relacionados a influência dos cabeçotes e operação na produtividade dos *harvesters*.

Para Simões e Fenner (2010), a realização de estudos sobre as variáveis que influenciam a produtividade da colheita de madeira tornou-se imperativos, visando a maximização da produtividade e a otimização operacional. A identificação dessas variáveis pode ser realizada por estudos específicos que possibilitem estimar a produtividade dos equipamentos utilizados na colheita, a qual resultará em subsídios para avaliação mais precisa do processo de produção.

Nota-se na literatura uma clara deficiência de informações sobre a influência do fator produtividade dos cabeçotes que afeta a capacidade produtiva do *harvester* na operação de colheita florestal mecanizada (BURLA, 2008).

Diante disso, objetivou-se avaliar o desempenho técnico de um *harvester* equipado com dois diferentes modelos de cabeçotes sob as operações de derrubada e derrubada/processamento em floresta de eucalipto.

Material e métodos

O estudo foi realizado no município de Eunápolis, Bahia, em áreas planas com povoamento de eucalipto. O projeto escolhido apresentava espaçamento de 4,0 x 3,0 m (linha x entre linhas), altura média de 29,8 m, média dos diâmetros a 1,3 m de altura (DAP) de 19,7 cm e volume individual 0,35 m³. O clima predominante na região é do tipo Af, com verão chuvoso e inverno seco, segundo a classificação climática de Köppen, que apresenta precipitação anual de 1.200 mm, com temperatura média anual de 24,5°C, e altitude de 180 m e o solo é classificado como Argissolo Amarelo Distrófico EMBRAPA (2006).

A máquina base utilizada foi uma escavadora hidráulica de esteiras da marca *Volvo*, modelo EC210B *prime*, potência 147,5 HP, cilindrada de 5,7 L. Os cabeçotes avaliados foram: 1) *Ponsse H7* e 2) *Ponsse H77*. As operações avaliadas foram: 1) derrubada e processamento e 2) processamento.

A coleta de dados de tempos e de movimentos das máquinas foi efetuada pelo método contínuo, seguindo metodologia utilizada por (SILVA *et al.*, 2010; SIMÕES *et al.*, 2010). Com o auxílio de quatro cronômetros: coletou-se o tempo contínuo das atividades, corte/derrubada, deslocamento/busca e processamento. Desta forma, foi possível obter o tempo parcial consumido em cada atividade realizada pelos cabeçotes para as operações de derrubada e processamento e apenas no processamento das árvores que foram realizadas no interior do talhão, caracterizando o sistema de toras curtas. A Tabela 1 representa a divisão dos movimentos do ciclo operacional.

A derrubada das árvores na operação de processamento foi realizada pelo *Feller-Buncher John Deere 903k* com motor de 9 L e potência máxima de 300 HP a 1.900 rpm, por este fato não se observou a operação de corte e derrubada para a operação de processamento, atividade 2.

Tabela 1. Divisão dos movimentos do ciclo operacional das máquinas.

Atividade	Operação	Descrição
Deslocamento	1 e 2*	Tempo despendido com deslocamentos do cabeçote e da máquina.
Corte e derrubada	1	Tempo consumido pelo corte ao tombamento da árvore.
Processamento	1 e 2	Tempo consumido com o desgalhamento, descascamento e traçamento da árvore de 6,20 m.

*1) derrubada e processamento e 2) processamento.

Fonte: Marx Sandino Santos Monteiro (2016).

O número de ciclos operacionais foi estimado de acordo com a metodologia proposta por Barnes (1968) e utilizada por Moreira *et al.*, (2004); Simões *et al.* (2010); Simões *et al.* (2014). Por meio de um estudo-

piloto foi estimado o número mínimo de ciclos operacionais para um erro de amostragem admissível fixado em 5% de probabilidade (Equação 1). Foram coletados 420 ciclos operacionais, valores acima do estimado (85 ciclos) para maior segurança sobre os resultados.

$$n = \frac{t^2 C^2}{E^2} \quad (1)$$

em que: n - número mínimo de ciclos operacionais necessários; t - Valor de t , para o nível de probabilidade desejado; C - coeficiente de variação (%); e E - erro admissível (%).

O operador foi o mesmo para as duas máquinas, a fim de evitar a interferência entre as operações. O eito de trabalho foi composto de três fileiras de árvores e a madeira depositada à esquerda do sentido de deslocamento da máquina.

A produtividade das máquinas foi determinada em metros cúbicos de madeira por horas efetivamente trabalhadas por meio da equação abaixo.

$$P = \frac{V}{He} \quad (2)$$

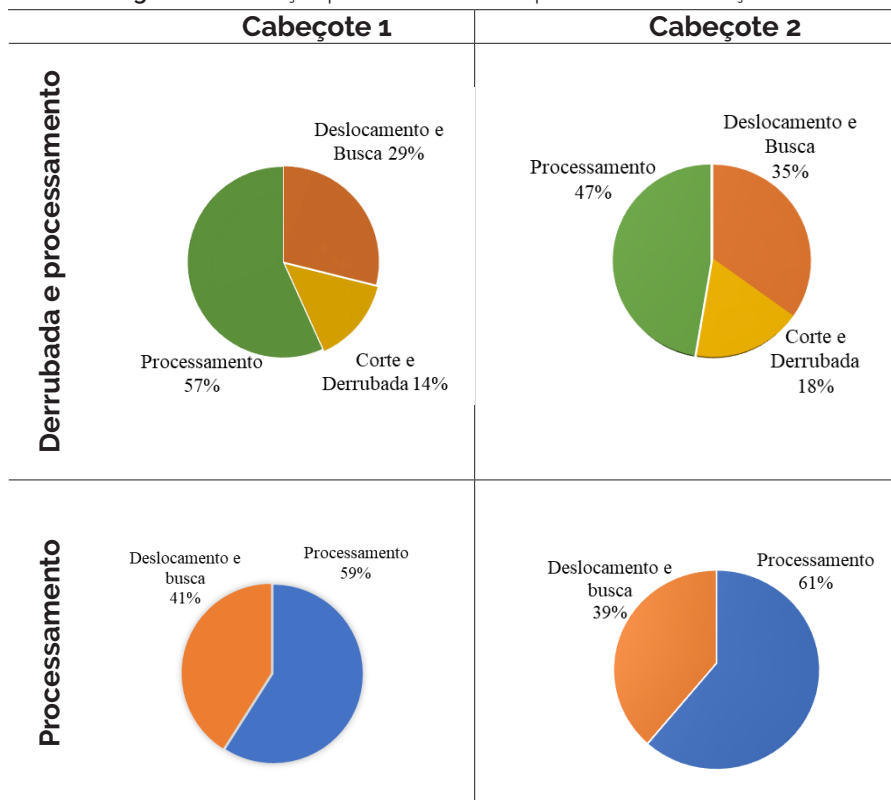
em que: P = produtividade ($m^3 h^{-1}$); V = volume da unidade amostral (m^3); e He = horas efetivas de trabalho (h).

O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2 (cabeçote 1-*Ponsse* H7 e 2-*Ponsse* H77 e as operações de 1- derrubada e processamento e 2 - processamento), com 4 repetições e 225 árvores por unidade amostral. Foram estimados os tempos e os percentuais dos tempos médios para as atividades do ciclo. Os valores de produtividade foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de *Tukey* a 5% de probabilidade, por meio do software estatístico *Statistic 7*.

Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta a distribuição percentual média das atividades parciais do ciclo operacional dos cabeçotes na derrubada e processamento e apenas no processamento da madeira.

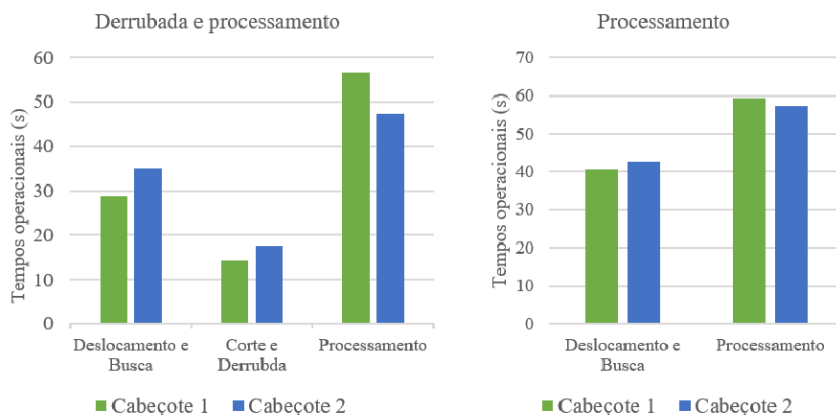
Figura 1. Distribuição percentual do ciclo operacional dos cabeçotes.



Fonte: Marx Sandino Santos Monteiro (2016).

A Figura 2 apresenta a distribuição média dos tempos do ciclo operacional dos cabeçotes na derrubada e processamento e apenas no processamento da madeira.

Figura 2. Distribuição média dos tempos do ciclo operacional em função das operações e cabeçotes *harvester*.



Fonte: Marx Sandino Santos Monteiro (2016).

Comparando os cabeçotes no estudo de tempos e de movimentos, o cabeçote 2 apresentou uma redução do percentual do tempo gasto na derrubada e processamento e maior proporção do percentual do tempo no processamento, estas diferenças podem ser explicadas pela característica do cabeçote, que tem maior tamanho de facas e rolos, reduzindo o percentual do tempo gasto na operação, verifica-se que o processamento foi a atividade que demandou maior tempo em relação às demais atividades.

A análise de variância e as médias da produtividade dos cabeçotes referentes as atividades de derrubada e processamento e de processamento estão representada na Tabela 2.

Tabela 2. Análise de variância dos valores da produtividade em função dos cabeçotes e da operação.

Análise de variância					
	GL	SQ	QM	F	p-valor
Cabeçote	1	588.87	588.87	78.023	0.000
Atividade	1	89.30	89.30	11.832	0.004
Cabeçote*atividade	1	20.70	20.70	2.743	0.123
Erro	12	90.57	7.55		

Total	15	789,44	
Teste de media tukey a 5%			
Tipo do cabeçote			
H7	1	33,60	B*
H77	2	45,73	A
Atividade			
Prod. derrubada	1	42,03	A
Prod.processamento	2	37,30	B

GL= grau de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; (*) as médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Marx Sandino Santos Monteiro (2016).

O cabeçote 2 apresentou produtividade superior de 36,1% em comparação ao cabeçote 1 e a operação processamento apresentou produtividade superior de 12,7% em relação a atividade de derrubada e processamento da madeira. Esta diferença pode ser explicada pelas características do cabeçote 2, que apresenta tamanho maior das facas, e conseqüentemente maior facilidade no descascamento. A derrubada realizada pelo *feller-buncher* ofereceu uma boa organização dos feixes de árvores para o processamento da madeira, facilitando a busca das mesmas pelos cabeçotes, aumentando a produtividade para a operação 2.

Seixas e Batista (2014) encontraram produtividade média de 24,5 m³h⁻¹ para os *harvesters* de esteiras, modelos *Komatsu* PC228 e *Volvo* EC 210 B, utilizando um cabeçote *Valmet* 370E, com volume médio de 0,33 m³ por árvore operando na derrubada e processamento. Quando comparado com os valores do presente trabalho, em que não há grande variação no volume individual por árvore e potência das máquinas utilizadas nos dois trabalhos, observa-se a diferença de produtividade. Esta diferença pode ser explicada pelo rendimento dos operadores ou pela produtividade entre os modelos de cabeçotes utilizados nas máquinas.

Simões *et al.* (2010) obtiveram produtividade média de 41,46 m³h⁻¹, avaliando um *harvester* de esteiras, modelo *CAT* 320 CL e cabeçote

marcam *Valmet*, modelo 965-BR, em povoamento de eucalipto com volume por árvore de 0,226 m³ operando na derrubada e processamento. Esses resultados mostram que os autores obtiveram maior produtividade quando comparado com o *harvester 1* (corte e processamento) evidenciado pela menor potência e diferenças técnicas da máquina deste estudo. O mesmo ocorreu com o estudo Bertin (2010), que para *harvester Caterpillar* de esteiras modelo CAT 320 CL e cabeçote *Partek 965* encontraram a produtividade de 41,61 m³h⁻¹.

Silva *et al.* (2010) avaliando um *harvester* constituído de uma máquina base *Caterpillar 320 CL* e cabeçote *Waratah 616*, em uma floresta de *Pinus sp.* com volume médio de 0,47 m³ por árvore, encontraram produtividade média de 19,19 m³h⁻¹, entretanto os autores efetuaram a coleta dos dados nos três turnos de trabalho, o que pode explicar a diferença de produtividade. Já Lopes *et al.* (2007), com o modelo de *harvester CAT 320 CL* equipada com um cabeçote da marca *LogMax*, modelo 7.000, em povoamentos de *Pinus sp.* com volume individual de 0,47 m³ por árvore, registraram uma produtividade de 32,73 m³h⁻¹, esta diferença pode estar associada a potência das máquinas e cabeçote avaliadas no presente trabalho.

Nota-se na literatura grande variação entre as produtividades dos equipamentos utilizados, características como a produtividade dos cabeçotes, potência das máquinas e eficiência dos operadores podem influenciar no rendimento da operação, necessitando de realizar estudos periódicos para determinar os modelos de máquinas e cabeçotes mais produtivos e em busca dos melhores resultados para o setor florestal.

Conclusão

O processamento foi à atividade que demandou maior percentual de tempo para ambos os cabeçotes. O cabeçote 2 apresentou produtividade superior de 36,1% em comparação ao cabeçote 1 e a operação processamento apresentou produtividade superior de 12,7%

em relação a atividade de derrubada e processamento da madeira. O cabeçote 2 e a atividade de processamento resultaram em maior desempenho do *harvester*.

Referências

BARNES, R. M. **Motion and time study**: design and measurement of work. 6.ed. New York: John Willey & Sons, 1968.

BERTIN, V. A. S. **Análise de dois modais de sistemas de colheita mecanizados de eucalipto em 1ª rotação**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2010.

BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do "harvester" na colheita do eucalipto**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

BURLA, E. R.; FERNANDES, H. C.; MACHADO, C. C.; LEITE, D. M.; FERNANDES, P. S. Avaliação técnica e econômica do harvesters em diferentes condições operacionais. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.20 n.5, p. 412-422, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem técnica e de custos do *Harvester* no corte de madeira de eucalipto no sistema de toras curtas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 205-215, 2013.

LOPES, E. S.; CRUZINIANI, E.; DIAS, A. N.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do corte de madeira de pinus com cabeçote harvester em diferentes condições operacionais. **Floresta**, Curitiba, v.37, n.3, p. 305-313, 2007.

MALINOVSKI, R. A. ; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R.. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita

de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Floresta**, Curitiba, v.36, n.2, p.166-182, 2006.

MOREIRA, F. M. T. *et al.* Avaliação operacional e econômica do "feller-buncher" em dois subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.28, n.2, p.199-205, mar./abr., 2004.

OVASKAINEN, H.; UUSITALO, J.; VÄÄTÄINEN, K. Characteristics and significance of a harvester operators' working technique in thinnings. **International Journal of Forest Engineering**, London, v.15, n.2, p.67-77, 2004.

SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Comparação técnica e econômica entre harvesters de pneus e com máquina base de esteiras. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 185-191, 2014.

SILVA, E. N.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A.. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *Pinus sp.* com *harvester*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.4, p.745-753, 2010.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com *harvester*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 611-618, 2010.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Produtividade e custos do feller-buncher e processador florestal em povoamento de eucalipto de primeiro corte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 621-630, 2014.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T. Influência do relevo na produtividade e custos do harvester. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.85, n.38, p.107-114, 2010.

Configurações de Harvesters na colheita florestal

Marx Sandino Santos Monteiro

Bruno Meira Gomes

Francisco de Assis Costa Ferreira

Deoclides Ricardo de Souza

Elton da Silva Leite

Introdução

Com a crescente demanda de matéria prima para a manutenção dos processos de produção das empresas florestais, a busca por máquinas mais produtivas é cada vez maior na colheita florestal. De acordo com Machado e Lopes (2000), o custo de colheita e transporte representa mais da metade do custo final da madeira posta no local de utilização. Em consequência disto, o custo da colheita tem se tornado fator determinante no setor florestal.

As empresas florestais brasileiras adotaram sistemas mecanizados, proporcionando avanços tecnológicos e ganhos em produtividade (LOPES *et al.*, 2008). Este sistema proporcionou maior sustentabilidade das empresas, entretanto, torna-se necessário a realização de estudos que aperfeiçoem as operações e que diminuam os custos operacionais (BRAMUCCI; SEIXAS, 2002; BURLA 2008). Para Leite *et al.* (2014), é necessário o desenvolvimento de máquinas e equipamentos específicos com objetivo de minimizar os custos, diminuir a necessidade de mão de obra e aumentar a produtividade.

Em condições florestais brasileiras as máquinas operam, principalmente, no sistema de toras curtas (*cut-to-length*), sendo o *harvester* a máquina mais utilizada (BURLA, *et al.*, 2012). O sistema de toras curtas é amplamente utilizado em muitos países, como Suécia (98%), Irlanda (95%) e Finlândia (91%) (KARJALAINEN *et al.*, 2001). Silva *et al.* (2010) e Leite *et al.* (2013) descrevem o *harvester* como uma máqui-

na base adaptada ou específica de colheita florestal, com rodado de pneus BPAF (baixa pressão e alta flutuação), esteiras metálicas ou mistas, lança hidráulica para alcance das árvores que em conjunto com o cabeçote executam as operações de derrubada, desgalhamento, descascamento, traçamento e formação de feixes.

As máquinas base adaptadas, constituídas de escavadoras de esteiras com a colocação de um cabeçote processador, são muito empregada no setor em virtude do menor custo de aquisição e a existência de modelos fabricados no país, facilitando a assistência técnica e a compra de peças e manutenção (SEIXAS; BATISTA, 2014). Entretanto, é necessário desenvolver estudos técnicos e econômicos destas máquinas e comparar com as máquinas específicas e de pneus, que são importadas, de elevados custos e podem apresentar elevada produtividade.

Avaliando as variáveis que influenciam as máquinas de colheita florestal, Ovaskainen et al. (2004) e Malinovski *et al.* (2006) concluíram que as configurações das máquinas, comprimento da lança hidráulica, potência, e rodado influenciam a produtividade. Isso mostra que a produtividade das máquinas é dependente, dentre outros fatores, do modelo utilizado. Diante disso, Nurminen et al. (2006), evidencia necessidade de realizar estudos para desenvolver processos mais eficientes e produtivos, que otimizem as operações. Para contribuir para a redução dos custos operacionais torna-se necessário desenvolver estudos que avaliem as máquinas de colheita florestal.

O conhecimento dos custos é uma etapa de fundamental importância para o planejamento das operações (SILVA *et al.*, 2014). Isso mostra a necessidade de estudos sobre os fatores que influenciam nos custos da colheita para as empresas, a fim de minimizá-los e aumentar a produtividade das máquinas envolvidas.

De forma geral, torna-se necessário desenvolver estudos de máquinas adaptadas e específicas que evidenciem as diferenças de produtividade, valor de aquisição, custo horário, custo de produção.

Sendo assim, objetivou-se avaliar o desempenho técnico e econômico de *harvesters* de pneus e esteiras nas operações de derrubada e derrubada/processamento de eucalipto.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em áreas planas com povoamento de clones híbridos de eucalipto com alta produtividade em regime de primeira rotação aos sete anos de idade, no município de Eunápolis – Bahia, tendo o espaçamento de 4,0 x 3,0 m, altura média de 29,8 m, diâmetro a 1,3 m de altura (DAP) de 19,7 cm e volume individual de 0,35 m³. O clima predominante na região é do tipo Af, com verão chuvoso e inverno seco, segundo a classificação climática de Köpen, e apresenta precipitação anual de aproximadamente 1200 mm, com temperatura média anual de 24,5 °C. A altitude média da região é de 180 m.

As máquinas avaliadas foram: 1) *harvester* de pneus *Komatsu* 941, motor 6 cilindros, turbo, Commonrail Tier 3 de 285 HP de potência, tração 6 x 6 e 4.052 horas de uso, 2) *harvester* de esteiras, constituído por uma escavadora hidráulica *Komatsu* PC 200, motor SAA6D107E-1 de 6 cilindros, turbo-alimentador com *aftercooler*, injeção direta, 155 HP de potência e 18.526 horas de uso. Ambas as máquinas foram equipadas com o cabeçote *harvester* 370 *Komatsu*.

O estudo de tempos e movimentos dos *harvesters* foi efetuado pelo método multimomento, com frequência de coleta de dados a cada 15 segundos, seguindo modelo utilizado por (FERNANDES *et al.*, 2013; LEITE *et al.*, 2014). Utilizou-se os mesmos operadores que se revezaram nas máquinas, com intuito de eliminar a interferência do operador no resultado final da operação, as coletas foram efetuadas no turno de trabalho diurno entre os horários de 06:00 e 14:00 horas.

Para condução do estudo de tempos e movimentos, foi realizada a subdivisão dos movimentos executados pelas máquinas, levando em consideração apenas o tempo efetivo de operação das máquinas, excluindo os tempos de manutenção, pausa pessoal, manobras, obtendo

assim a capacidade de trabalho teórica. As atividades foram subdivididas em: "deslocamento e busca" (tempo despendido com a movimentação do cabeçote e máquina), "corte e derrubada" (tempo consumido do corte ao tombamento da árvore), "descascamento" (tempo consumido para a retirada de cascas e galhos) e "traçamento" (representado pelo tempo gasto na seção do fuste em toras de 6,20 m).

O número de ciclos operacionais foi estimado de acordo com a metodologia proposta por Barnes (1977) e utilizado por (MARTINS *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2010; FERNANDES *et al.*, 2013; LEITE *et al.*, 2014). Por meio de um estudo-piloto foi estimado o número mínimo de ciclos operacionais para um erro de amostragem admissível fixado em 5%, a 95% de probabilidade como mostra Equação 1. Foi coletado valores acima do estimado para maior segurança sobre os resultados.

$$n = \frac{t^2 c^2}{E^2} \quad (1)$$

em que: n - número mínimo de ciclos operacionais necessários; t - Valor de f , para o nível de probabilidade desejado; CV - coeficiente de variação (%); e E - erro admissível (%).

A produtividade das máquinas foi determinada em metros cúbicos de madeira por horas efetivamente trabalhadas por meio da Equação 2 (SILVA *et al.*, 2010).

$$P = \frac{V}{He} \quad (2)$$

$$P = \frac{V}{He} \quad (2)$$

em que: P = produtividade ($m^3 h^{-1}$); V = volume da unidade amostral (m^3); e He = horas efetivas de trabalho (h).

O custo operacional total de cada máquina foi obtido através do somatório dos custos fixos (depreciação, juros, seguros e impostos) e custos variáveis (combustível, lubrificante, óleo hidráulico, pneus ou

esteiras, mão de obra, manutenção), determinados de acordo com a metodologia da *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2001), utilizada por (LOPES et al., 2008; SILVA et al., 2010; SILVA et al., 2014; LEITE et al., 2014).

Tabela 1. Equações para determinação do custo horário dos harvesters.

Custos Fixos	$\text{Depreciação} = \left(\frac{Va - Vr}{N He} \right)$	(3)
	$\text{Juros, seguros e impostos} = \frac{(IMA i)}{He} \rightarrow IMA = \frac{(Va - Vr)(N + 1)}{(2N)} + Vr$	(4)
	$\text{Abrigo} = \frac{(Va - Fa)}{He}$	(5)
	$\text{Taxas administrativas} = \frac{Va Fad}{He}$	(6)
Custos Variáveis	$\text{Combustível} = C = Pu cc$	(7)
	$\text{Lubrificantes} = Il C$	(8)
	$\text{Óleo hidráulico} = OH = lo C$	(9)
	$\frac{\text{Pneus}}{\text{esteiras}} = P = \frac{Npe \square Vpe}{Hpe}$	(10)
	$\text{Manutenção e reparos} = \frac{\left[Va FR_1 \left(\frac{h + He}{1000} \right)^{FR_2} \right] - \left[Va FR_1 \left(\frac{h}{1000} \right)^{FR_2} \right]}{He}$	(11)
	$\text{Mão de obra} = \left(\frac{(S + E) No M}{He} \right)$	(12)

Va = valor de aquisição da máquina (US\$); Vr = valor residual, 10% Va (US\$); He = horas efetivas de uso anual; N = vida útil (5 anos); i = taxa de juros (12%); IMA = investimento médio anual; Fa = fator de abrigo (0,75%); Fad = fator administrativo (1%); Pu = preço do combustível (US\$ 0,64 L-1); cc = consumo de combustível; Il = índice de lubrificantes (20%); lo = índice de óleo (20%); Vpe = preço do pneu (US\$ 1.827,04) e esteiras (US\$ 3.994,66); Hpe = vida útil do pneu (12.000 h) ou esteiras (20.000h); Npe = número de pneus (6) esteiras (2); FR1 = fator 1 (0,003); FR2 = fator 2 (2); h = hora que deseja calcular (h); S = salário mensal do operador (US\$ 669,08); No = número de operadores (2); E = encargos (1,74); M = meses no ano (12).

Fonte: adaptado de American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2001).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos com seis parcelas de 75 árvores cada.

Os valores da atividade do ciclo foram demonstrados graficamente e a produtividade estimados os valores médios.

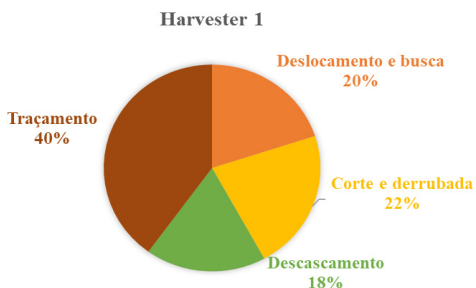
Resultados e discussão

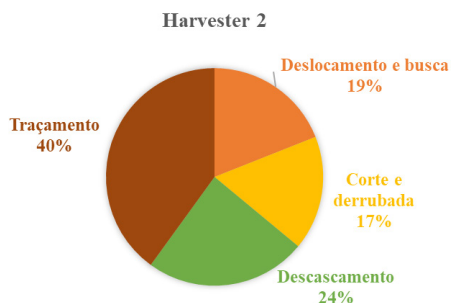
Na Figura 1, estão apresentados os valores médios em percentuais das atividades dos ciclos operacionais dos *harvesters*. E os tempos parciais das atividades das máquinas em segundos por árvores na Figura 2. O tempo médio dos ciclos foi de 30,00 segundos por árvore para o *harvester* pneus (1) e 41,09 segundos por árvore para o *harvester* esteira (2).

A atividade de traçamento apresentou maior tempo para ambos *harvesters*. Observa-se que o *harvester* de pneus (1) apresentou redução no tempo de descascamento (Figura 1), este fato pode ser explicado pela característica da máquina de pneu apresentar uma bomba hidráulica específica para o cabeçote, melhorando o rendimento no momento no descascamento.

Destaca-se que o *harvester* de pneus (1) apresentou menor tempo para as atividades do ciclo operacional das máquinas, sendo que as maiores diferenças ocorreram para o descascamento e traçamento. Este fato confirma a vantagem da bomba hidráulica exclusiva para o cabeçote. As diferenças encontradas na atividade de "deslocamento e busca" explica a maior mobilidade da máquina de pneus.

Figura 1. Tempo em percentual das atividades dos harvesters 1 (pneus) e 2 (esteiras).



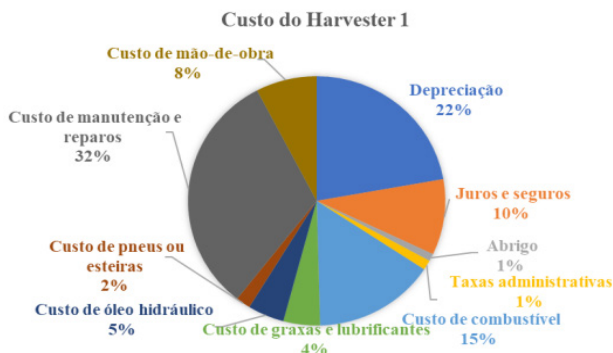


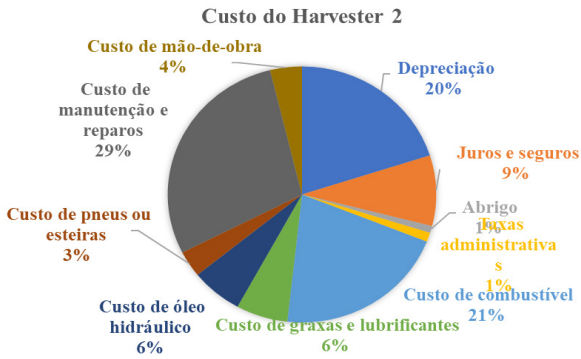
Fonte: Marx Sandino Santos Monteiro (2016).

Os valores médios das produtividades foram: 48,51 m³ por hora para o *harvester* pneus (1) e 35,09 m³ por hora para o *harvester* esteiras (2). Estes resultados evidenciam que o *harvester* 1 apresentou desempenho 38% maior em produtividade.

Os custos operacionais obtidos para os *harvester* pneus (1) e esteiras (2) foram de US\$ 80,66 h⁻¹ e US\$ 53,81 h⁻¹, respectivamente (Figura 2). Os custos fixos (depreciação, juros e seguros, abrigo e taxas administrativas) corresponderam a US\$ 28,91 h⁻¹ e US\$ 16,69 h⁻¹, e os custos variáveis (combustível, óleo hidráulico, lubrificantes, esteiras, manutenção e reparos e mão de obra) representaram US\$ 51,74 h⁻¹ e US\$ 37,13 h⁻¹ para os *harvesters* pneus (1) e esteiras (2), respectivamente.

Figura 2. Percentual dos custos dos *harvesters* pneus (1) e esteiras (2).





Fonte: Marx Sandino Santos Monteiro (2016)

O custo de produção foi U\$\$ 1,66 m⁻³ para o *harvester* 1 (pneus) e U\$\$ 1,53 m⁻³ para o *harvester* 2 (esteiras).

Em relação aos resultados do ciclo operacional, a atividade que consumiu maior tempo foi o traçamento, (40,0%) para ambos os *harvesters*. Martins *et al.* (2009) encontraram resultados semelhantes utilizando *harvesters* de pneus *Timberjack* 1270D, em que houve maior proporção do ciclo para o traçamento, com 41,4% do tempo, utilizando o método multimomento com frequência de coletas de 10 segundos.

Avaliando o *harvester Caterpillar* modelo *CAT 320 C* de esteira Bertin (2010) encontrou rendimento operacional de 41,61 m³h⁻¹. Este resultado foi maior que o encontrado pelo *harvester* de esteira deste estudo, explicado pela menor potência da máquina e menor comprimento de tora desse estudo, levando mais tempo para realizar o traçamento.

No estudo feito por Burla *et al.* (2012), os rendimentos foram de aproximadamente 35,00 (m³/hora) utilizando um *harvester* de pneus marca *John Deere*, modelo 1270 D, o resultado pode ser explicado pela diferença da potência das máquinas avaliadas nos estudos, já que apresentam uma diferença de aproximadamente 70 HP de potência maior e maior tecnologia da máquina deste estudo, máquina mais recente.

Vale ressaltar que os operadores do *harvester* de esteiras relataram desconfortos ergonômicos, sendo necessário realizar

estudos sobre as condições que os operadores estão expostos nestas máquinas, a melhoria dos fatores ergonômicos, como a redução de vibração e de movimentos brutos da máquina de esteira pode melhorar a eficiência operacional e a produtividade dos operadores (SOUZA *et al.*, 2015).

Conclusões

O traçamento foi à atividade que resultou em maior tempo do ciclo operacional para os *harvesters* de pneus e esteira.

O *harvester* de pneus apresentou produtividade superior em 38% em relação ao *harvester* esteiras.

O custo de produção para o *harvester* pneus foi 8% a mais que o *harvester* de esteiras, justificado pelo alto valor do custo horário do *harvester* pneus.

Referências

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, **ASAE standards 2001**: machinery, equipment and buidings: operating costs. Iowa: Ames 2001. P, 164-226.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos**: Projeto e medida do trabalho. 6.ed. Americana: Edgard Blucher, 1977. 635p.

BERTIN, V. A. S. **Análise de dois modais de sistemas de colheita mecanizados de eucalipto em 1ª rotação**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista. Botucatu, SP, 2010.

BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de "harvesters" na colheita florestal. **Scientia Forestalis**, n.62, p.62-74, dez., 2002.

BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do "harvester" na colheita do eucalipto**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2008.

BURLA, E. R.; FERNANDES, H. C.; MACHADO, C. C.; LEITE, D. M.; FERNANDES, P. S. Avaliação técnica e econômica do harvester em diferentes condições operacionais. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.20 n.5, p. 412-422, 2012.

FERNANDES, H.C.; BURRA, E. R.; LEITE, E. S.; MINETTE, L. J. Avaliação técnica e econômica de um "Harvester" em diferentes condições de terreno e produtividade da floresta. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p.145-151, 2013.

KARJALAINEN, T.; ZIMMER, B.; BERG, S.; WELLIN, J.; SCHWAIGER, H.; FINÉR, L.; CORTIJO, P. Energy, carbon and other material flows in the Life Cycle Assessment of forestry and forest products. Finlândia: **European Forest Institute**, n.10, 68 p., 2001.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem técnica e de custos do Harvester no corte de madeira de eucalipto no sistema de toras curtas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.41, n.98, p.205-215, 2013.

LEITE, E. S.; MINETTE, L. J.; FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P.; AMARAL, E. J.; LACERDA, E. G. Desempenho do harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.38, n.1, p.94-101, 2014.

LOPES, S. E.; FERNANDES, H. C.; SANTOS, N. T.; RINALDI, P. C. N. Avaliação técnica e econômica de uma garra traçadora operando em diferentes produtividades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.36, n.79, p. 215-222, 2008.

MACHADO C.C.; LOPES E.S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Revista Cerne**, Lavras, v.6, n.2, p.124-129, 2000.

MALINOVSKI, R. A., MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Floresta**, Curitiba, v.36, n.2, p.166-182, 2006.

MARTINS, R. J.; SEIXAS, F.; STAPE, J. L. Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v.37, n.83, p.253-263, 2009.

NURMINEN, T.; KORPUNEN, H.; UUSITALO, J. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. **Silva Fennica**, v. 40, n. 2, p. 335-363, 2006.

OVASKAINEN, H.; UUSITALO, J.; VÄÄTÄINEN, K. Characteristics and significance of a harvester operators' working technique in thinnings. **International Journal of Forest Engineering**, London, v. 15, n. 2, p. 67-77, 2004.

SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Comparação técnica e econômica entre harvesters de pneus e com máquina base de esteiras. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 185-191, 2014.

SILVA, E. N. *et al.* E. Avaliação de custos de dois modelos de *harvester* no corte de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24, n.3, p.741-748, 2014.

SILVA, E. N.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *Pinus sp.* com *harvester*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.4, p.745-753, 2010.

SOUZA, A. P.; DUTRA, R. B. C.; MINETTE, L. J.; MARZANO, F. L. C.; SCHETTINO, S. Metas de produção para trabalhadores de corte florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.4, p.713-722, 2015.

Extração florestal de eucalipto com forwarders

*Bruno Meira Gomes
Francisco de Assis Costa Ferreira
Marx Sandino Santos Monteiro
Luís Carlos de Freitas
Elton da Silva Leite*

Introdução

A colheita florestal destaca-se pela sua maior importância econômica na produção de madeira, tornando a atividade um processo contínuo de melhorias das condições de operação dos sistemas de colheita (LEITE *et al.*, 2014). De acordo com Machado *et al.* (2014), as atividades de colheita e transporte em florestas plantadas correspondem de 60 a 70% do custo total da madeira. A extração é uma etapa da colheita florestal e consiste na movimentação da madeira do interior dos talhões até as margens das estradas florestais (SIMÕES; FENNER, 2010).

A produtividade das operações de colheita é uma das principais variáveis que condiciona a viabilidade da retirada de madeira dos projetos florestais (MALINOVSKI *et al.*, 2006). Para os *forwarders*, a produtividade operacional varia de acordo com a distância de baldeio, configuração da máquina, capacidade da caixa de carga e da garra (JIROUSEK KLVAČ; SKOUPÝ, 2007; HIESL; BENJAMIN, 2013). Cechin (2000) completa que as horas descanso e higiene pessoal, o tempo de experiência, velocidade de deslocamento da máquina e paradas técnicas para manutenção e reparos influenciam o desempenho das máquinas.

Santos *et al.* (2016) ressaltam que em razão do alto custo desta máquina é necessária à realização de pesquisas visando o aumento da produtividade por unidade de tempo das mesmas através de formas mais eficientes de colher, treinamento dos operadores, da melhoria

técnica-tecnológica e métodos de preservação do maquinário utilizado, para tornar a atividade florestal mais competitiva e lucrativa.

De forma geral, necessitam de pesquisas para melhorar os modelos de produtividade desenvolvidos e permitir a previsão de desempenho do sistema (GERASIMOV *et al.*, 2011). Nurminen *et al.* (2006) completam que estes estudos visam encontrar métodos de trabalho mais eficientes, que venham otimizar as operações e desenvolver máquinas e operações mais eficientes.

Diante disso, se faz necessário desenvolver modelos de produtividade sob as especificidades e configurações das máquinas de colheita a fim de proporcionar melhorias contínuas no setor florestal. Assim, objetivou-se avaliar o desempenho técnico e econômico de diferentes *forwarders* na colheita de eucalipto.

Material e métodos

O estudo foi realizado no município de Eunápolis – Bahia, em área de relevo plano com povoamentos de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*, espaçamento de 4,0x3,0 m, altura média de 32,8 m, diâmetro a altura do peito (DAP) 27,2 cm, volume individual 0,47 m³, idade de 7 anos.

O clima predominante na região é do tipo Af, com verão chuvoso e inverno seco, segundo a classificação de Köpen, precipitação média anual de 1.200 mm, temperatura média anual de 24,5°C.

O sistema de colheita utilizado foi o de toras curtas, *cut-to-length*, com traçamento de 6,20 metros de comprimento. As operações de derrubada e traçamento foram realizadas pelo *harvester* em uma faixa de trabalho de três linhas e a galhada disposta na área de corte. A madeira foi extraída com o tempo pós-derrubada e processamento de 45 dias.

Neste estudo foram utilizados os *forwarders*: 1) Tigercat 1075B, com motor Mercedes 906 Tier III, 275 hp (205 kW) de potência, tração 8x8, capacidade de 20 toneladas, grua hidráulica F111-F78 com braço

telescópico, garra Hultdins FG530S com capacidade 0,52 m², apresentando 2.786 horas de trabalho; 2) Ponsse Elephant 8W com motor Mercedes-Benz de 275 HP (205 kW) de potência, tração 8x8, capacidade de 18 toneladas, grua hidráulica, modelo k100+S com braço telescópico, garra com capacidade 0,36 m², apresentando 10.968 horas de trabalho; 3) Komatsu 890.3, com motor 74 AWI turbo com Commonrail de 212 HP (158 kW) de potência, tração 8x8, com capacidade de 18 toneladas, grua 165F com braço telescópico, garra G36 com capacidade de 0,36 m², apresentando 11.523 horas de trabalho.

Para realização deste estudo foi seguido à metodologia proposta por Barnes (2001), através do método de cronometragem de tempo contínuo. As velocidades operacionais foram obtidas pela mensuração da distância da máquina e o tempo, por meio de um hipsômetro (TruPulse 200 B) e cronometro digital centesimal, respectivamente. A partir dos dados dos tempos de deslocamentos e distâncias determinou as velocidades das viagens vazias e carregadas.

As atividades do ciclo operacional foram deslocamento vazio, carregamento, deslocamento carregado e descarregamento. O carregamento e descarregamento eram realizados por um único sentido.

Preliminarmente foi realizado um estudo de tempos e movimentos piloto com o objetivo de definir o número mínimo de ciclos operacionais das máquinas avaliadas, para um erro de amostragem admissível fixado em 5%, a 95% de probabilidade, (SIMÕES *et al.*, 2014), conforme Equação 1.

$$n \geq \frac{t^2 CV^2}{E^2} \quad n \geq \frac{t^2 CV^2}{E^2} \quad (1)$$

em que: n = número mínimo de ciclos operacionais necessários; t = valor de t, *Student*, no nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade; CV = coeficiente de variação (%) e E = erro admissível (%).

A disponibilidade mecânica foi calculada de acordo com a porcentagem de tempo de trabalho programado em que a máquina está mecanicamente apta a realizar trabalho produtivo (FONTES; MACHADO, 2014), conforme a Equação 2.

$$DM = \left(\frac{HT - HPM}{HT} \right) 100 \quad (2)$$

em que: DM = grau de disponibilidade mecânica (%); HPM = horas de paradas para manutenção (h); e HT = horas totais (h).

A eficiência operacional das máquinas foi calculada através da porcentagem do tempo efetivamente trabalhado, em relação ao tempo total programado para o serviço (CARMO, 2013), Equação 3.

$$EO = \left(\frac{He}{HT} \right) 100 \quad (3)$$

em que: EO = Eficiência operacional (%); He = Horas de trabalho efetivo (h); e HT = horas totais (h).

Para o cálculo da produtividade foram considerados: o volume da caixa de carga em metros cúbicos; o número de ciclos (ou viagens) realizados; e o tempo de trabalho efetivo em horas, obtido a partir do estudo de tempos e movimentos (TELES, 2015), conforme as Equações 4 e 5.

$$Pt = \frac{V}{He} \quad (4)$$

em que: Pt = produtividade teórica ($m^3 h^{-1}$); V = volume da caixa de carga (m^3); e He = horas efetivas de trabalho (h).

$$Pe = Pt * e \quad (5)$$

em que: Pe = produtividade efetiva ($m^3 h^{-1}$); Pt = produtividade teórica ($m^3 h^{-1}$); e e = eficiência operacional.

Para estimar o volume de madeira na caixa de carga dos *forwarders* utilizou-se o método por imersão da peça em água,

denominado de xilômetro, obtido através do sistema 'PIVOTEX' da empresa, com 16 medições para cada máquina, obtendo a média de volume por viagem. Este método de imersão da madeira em líquido de densidade conhecida apresenta a vantagem de obter valores reais de corpos-de-prova com formas irregulares (MORESCHI, 2009).

A média de consumo de óleo diesel, em $L h^{-1}$, foi obtida através do quociente da quantidade de combustível abastecido após as operações pelo tempo em horas, estimado o consumo por horas trabalhadas, expresso na equação 6. O consumo de combustível por volume de madeira em metros cúbicos, Equação 7.

$$cc = \frac{L}{H} \quad (6)$$

em que: cc = consumo de combustível ($L h^{-1}$); L = quantidade de litros do combustível; H = horas operacionais (h).

$$Cv = \frac{cc}{Pt} \quad (7)$$

em que: Cv = consumo por volume de madeira ($L m^{-3}$); cc = consumo de combustível ($L h^{-1}$); Pt = produtividade teórica ($m^3 h^{-1}$).

A análise dos custos operacionais baseou-se: no somatório dos custos fixos (depreciação, juros, seguros e impostos) e custos variáveis (combustível, lubrificante, óleo hidráulico, esteiras, manutenção e reparos e mão de obra), de acordo com a metodologia da *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2001), utilizada por Leite *et al.* (2013) e Silva *et al.* (2014). O custo de produção, em $US\$ m^{-3}$, foi obtido pela Equação 8.

$$CP = \frac{CO}{Pe} \quad (8)$$

em que: CP = custo de produção ($US\$ m^{-3}$); CO = custo operacional ($US\$ h^{-1}$); Pe = produtividade efetiva ($m^3 h^{-1}$).

Os ciclos operacionais e as produtividades das máquinas foram analisados considerando o delineamento inteiramente casualizado,

constituído por três tratamentos (*forwarders*), com 33 repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo programa R e os valores médios comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A análise de regressão foi efetuada para estimar a relação da produtividade em função a distância de extração. Por meio desta modelagem as médias das atividades de deslocamentos do ciclo operacional e das produtividades foram estimadas sob o baldeio de 120 m de distância, similar ao estudo de Minette *et al.* (2004).

Resultados e discussão

Os estudos de tempos e movimentos estão apresentados na Figura 1, para a distância de baldeio de 120 metros. Os tempos médios para os ciclos operacionais das máquinas foram: 19,39 min. (*forwarder* 1), 16,75 min. (*forwarder* 2) e 15,47 min. (*forwarder* 3). Pode-se constatar que a atividade de carregamento e descarregamento despendeu cerca de 70% do tempo para cada máquina.

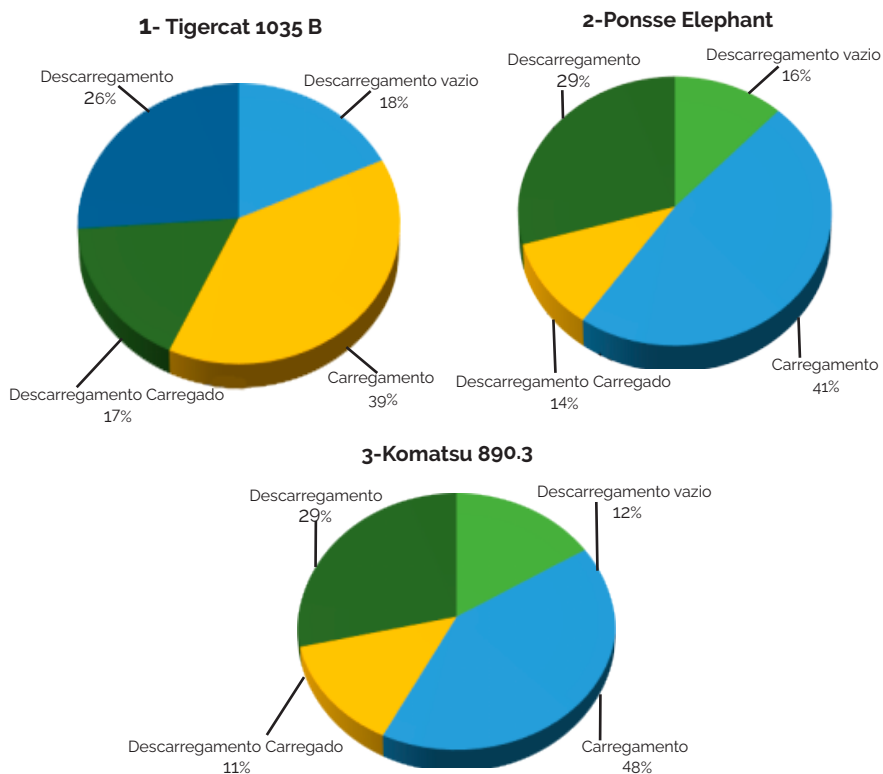
O *forwarder* 3 apresentou maior capacidade de deslocamento, sendo que o deslocamento vazio foi 12% e o deslocamento carregado foi de 11% maior em comparação aos *forwarders* 1 e 2.

Com relação ao desempenho operacional, verificou-se que o *forwarder* 1 apresentou disponibilidade mecânica de 92,82% e eficiência operacional de 83%, referente a 468 horas totais e 378,18 h⁻¹ de horas trabalhadas e 89,82 h⁻¹ de horas paradas. O *forwarder* 2, exibiu 95,41% de disponibilidade mecânica e eficiência operacional de 82,00%, correspondentes a 466 horas totais, 373,23 h⁻¹ de horas trabalhadas e 92,37 h⁻¹ de horas paradas. Já o *forwarder* 3 expôs a disponibilidade mecânica de 93,78% e eficiência operacional de 83,00%. As eficiências dos *forwarders* avaliados neste estudo foram similares.

Os resultados do teste de volume, determinado pelo 'PIVOTEX', demonstraram o volume da caixa de carga de 25,2 m³ para o *forwarder* 1; 16,2 m³ para o *forwarder* 2 e 16,0 m³ para o *forwarder* 3, fatos que evidenciam maior capacidade de carga da máquina 1 e similaridade

para os *forwarders* 2 e 3. O *forwarder* 1 apresentou produtividade teórica média de $69,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sendo esse valor estaticamente superior aos $51,24 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ apresentado pelo *forwarder* 2 e $54,15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ pelo *forwarder* 3 (Tabela 2). A produtividade dos *forwarders* 2 e 3 não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 1. Percentual dos elementos que compõem o ciclo operacional das máquinas.



Fonte: Bruno Meira Gomes (2016).

A Tabela 1 apresenta as médias do estudo de tempos e movimentos. O carregamento foi à atividade do ciclo operacional que demandou maior tempo para as três máquinas. As médias dos *forwarders* 1 e 3 foram semelhantes estatisticamente, demandando maiores tempos operacionais.

Tabela 1. Médias do ciclo operacional dos forwarders 1 = Tigercat 1035 B; 2 = Ponsse Elephant e 3=Komatsu 890.3.

Carregamento	Forwarders		
	1	2	3
Deslocamento vazio	3,73 a	2,66 b	2,19 b
Carregamento	7,98 a	6,96 b	7,83 a
Deslocamento carregado	3,49 a	2,32 b	2,00 b
Descarregamento	4,39 a	4,81 a	3,45 a
Velocidade vazio	4,05 b	3,52 b	6,24 a
Velocidade carregado	3,29 b	2,82 b	5,69 a
Tempo total	19,39 a	16,75 b	15,47 b

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na linha para cada fator são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a (5%).

Fonte: Bruno Meira Gomes (2016).

Tabela 2. Análise de variância e Teste Tukey a 5% da produtividade dos forwarders.

Análise de Variância					
Efeitos	GL	SQ	QM	F	P-valor
Tratamentos	2	8220,9	4110,5	27,68	***
Residuo	96	14256,5	148,5		
Total	98	22477,4			
Médias Tukey 5%					
Forwarder	Produtividade teórica (m ³ h ⁻¹)				
1-Tigercat 1035 B	69,82 a				
2-Ponsse Elephant	51,24 b				
3-Komatsu 890.3	54,15 b				

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

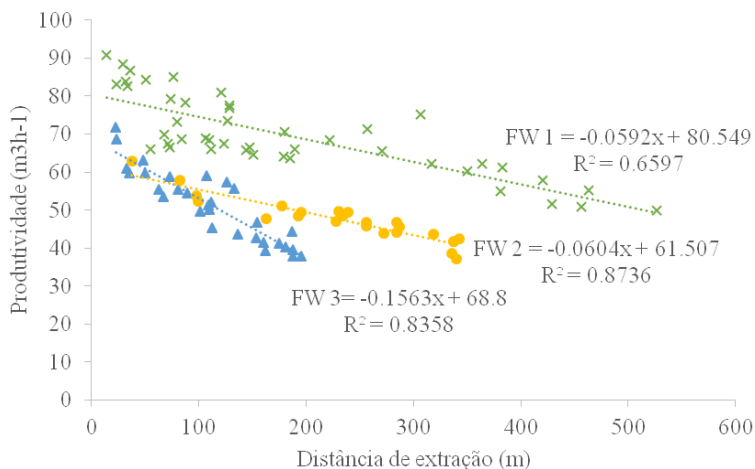
Fonte: Bruno Meira Gomes (2016).

Diante desses resultados tem-se o *forwarder* 1 com produtividade 36% maior em comparação ao *forwarder* 2, e 29% em relação ao *forwarder* 3. Estes valores são explicados pelo tamanho da caixa de carga superior (dimensões 56% maior que os demais *forwarders*) e elevada capacidade da garra (44% maior) e maior potência.

As equações de produtividade dos *forwarders* em função da distância de extração estão demonstradas na Figura 2, observa-se que com o aumento da distância de extração houve decréscimos na

produtividade, fatos relatados por Minette *et al.* (2004), Jiroušek *et al.* (2007), Oliveira *et al.* (2009), Hiesl e Benjamin (2013) e Leite *et al.* (2014). Além disto, evidencia maior produtividade do *forwarder* 1.

Figura 2. Equações de produtividade em função da distância de baldeio dos forwarders: FW1=Tigercat 1035 B; FW2=Ponsse Elephant; FW3=Komatsu 890.3.



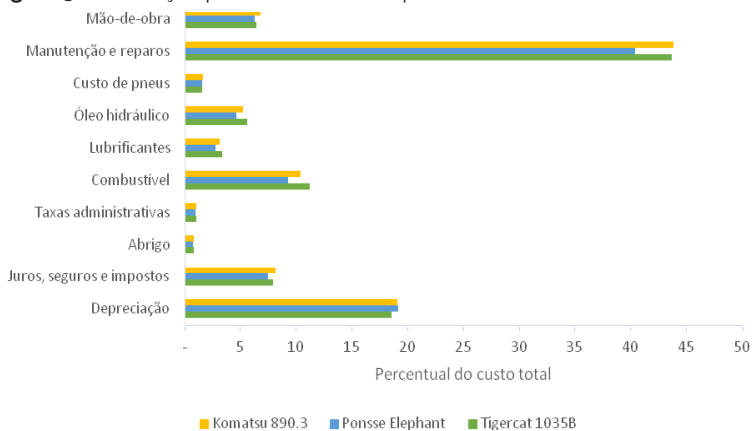
Fonte: Bruno Meira Gomes (2016).

O consumo médio de combustível foi de $16,87\ L\ h^{-1}$ e o consumo por volume de madeira extraída foi de $0,19\ L\ m^{-3}$ para o *forwarder* 1. O *forwarder* 2 apresentou o consumo de combustível de $15,20\ L\ h^{-1}$ e consumo por volume de $0,25\ L\ m^{-3}$. O *forwarder* 3 obteve o consumo de combustível de $15,00\ L\ h^{-1}$, apresentando com isso um consumo por volume de $0,22\ L\ m^{-3}$. Desta forma, a extração pelo *forwarder* 1 demonstrou menor consumo de combustível por volume de madeira.

O *forwarder* 1 apresentou custo total de $US\$ 97,03\ h^{-1}$, destes, $US\$ 27,39\ h^{-1}$ (28,22 %) refere-se aos custos fixos e $US\$ 69,64\ h^{-1}$ (71,77%) aos custos variáveis. O *forwarder* 2 apresentou um custo total de $US\$ 91,66\ h^{-1}$. Desse total, foram: $US\$ 26,76\ h^{-1}$ (29,20 %) para custo fixo e $US\$ 64,90\ h^{-1}$ (70,80 %) para custo variável. O *forwarder* 3 resultou no custo total de $US\$ 92,80\ h^{-1}$. Esse valor foi fracionado em: $US\$ 26,94\ h^{-1}$ (26,75%) para custo fixo e $US\$ 65,68\ h^{-1}$ (73,25%) para custo variável.

A Figura 3 apresenta os percentuais dos componentes dos custos operacionais.

Figura 3. Distribuição percentual dos componentes dos custos dos forwarders.



Fonte: Bruno Meira Gomes (2016).

Comparando os custos, a máquina que despendeu o maior custo operacional foi o *forwarder* 1, devido ao maior valor de aquisição e maior consumo de combustível. Em contrapartida, apresentou o menor custo de produção, devido a maior produtividade. Os custos de produção foram: US\$ 1,39 m⁻³, US\$ 1,79 m⁻³ e US\$ 1,71 m⁻³ para o *forwarder* 1, 2 e 3, respectivamente.

Os resultados do estudo de tempos e movimentos encontrados neste trabalho corroboram com a afirmação de Seixas (2007) e Seixas e Castro (2014), que as operações de carregamento e descarregamento representam a maior parte do tempo operacional dessas máquinas.

Leite *et al.* (2014) concluíram que a atividade que obteve maior representatividade para o *forwarder* John Deere, modelo 1710D foi o carregamento da máquina, seguido do descarregamento; juntos, corresponderam a 66% do tempo total do ciclo operacional. Estes resultados são inferiores aos encontrados neste estudo, fato explicado devido os autores avaliarem a máquina em condições de aplane e declive demandando maior tempo no deslocamento e

menor percentual nas atividades de carga e descarga. Neste estudo as máquinas foram avaliadas em condições planas.

A constituição média dos elementos do ciclo operacional do *forwarder* em minutos foi de 27,1 minutos para distância média de extração de 120,5 m, segundo Oliveira *et al.* (2009). A média de tempo do ciclo operacional para os *forwarders* deste estudo foram de 18,12 min. Essa diferença pode ser explicada pela maior capacidade da garra e da caixa de carga dos *forwarders* deste estudo.

O *forwarder 1* apresentou maiores tempos para as atividades deslocamento vazio e deslocamento carregado por apresentar maior capacidade de carga. Os operadores relataram dificuldades quanto aos movimentos da grua e garra no início do carregamento, necessitando de maior atenção para evitar que a caixa de carga incline ou tombe, isto ocorre em virtude do maior volume da garra em relação aos *forwarders 2* e *3*.

Os obstáculos e resíduos presentes nos talhões também tornavam os riscos de tombamento eminentes, com isso, os operadores optavam por deslocar em menor velocidade, reduzindo também os impactos na cabine.

Os *forwarders 1* e *3* foram semelhantes na atividade de carregamento. O *forwarder 2* resultou em menores tempos, isto pode ser justificado pela maior facilidade em deslocar a garra.

As velocidades obtidas pelos *forwarders 1, 2* e *3* deste trabalho são consideradas baixas em comparação às encontradas por Bantel (2006) para a avaliação do *forwarder* Komatsu 890.2. Valores explicados pela maior capacidade de carga, maiores dimensões, peso das máquinas deste estudo, fatos que influenciou negativamente no deslocamento. O mesmo fato ocorreu em comparação com o estudo de Minette *et al.* (2004), que trabalharam com a extração de madeira com o *forwarder* da marca Timberjack, modelo 1210B. Entretanto, o carregamento demandou maiores valores em contraste aos encontrados neste estudo, explicado pela maior robustez das máquinas aqui avaliadas.

Os valores de eficiência operacional apresentaram similaridade entre as máquinas, justificando que os equipamentos dispõem de manutenção preventiva e corretiva eficiente. Estes resultados se aproximam dos valores de máquinas florestais novas segundo Fontes e Machado (2014).

Oliveira *et al.* (2009) avaliaram o *forwarder* Komatsu 890.2 encontraram eficiência operacional média de 70,00% e disponibilidade mecânica de 89,00%, sendo médias inferiores em comparação aos resultados deste estudo. Este fato pode ser explicado pelos autores relatarem fatores que influenciaram negativamente nas interrupções mecânicas, como constantes travamentos no sistema operacional da máquina, fatos que não ocorreram neste estudo.

Jiroušek *et al.* (2007) analisaram a produtividade de extração de madeira com o *forwarder* em condições de 0,1 a 1,0 m³ de madeira por árvore e distância de extração variando de 80 a 1.400 m. Considerando a faixa de 120 m, as produtividades encontradas pelos autores são inferiores em comparação as encontradas neste trabalho, as diferenças foram devido a maior capacidade da caixa de carga, maior potência das máquinas e pela extração de espécie diferente deste estudo.

Hiesl e Benjamin (2013) avaliaram três *forwarders* diferentes com motores que vão de 90 cv a 140 cv e capacidade de carga partindo de dez toneladas para mais de doze toneladas dos modelos Valmet 5446, Timberjack 1010 e Rottne e encontraram valores inferiores ao deste estudo. As máquinas descritas pelos autores são de porte menor às utilizadas neste trabalho. Estes fatos reforçam que a utilização de máquinas mais robustas na extração florestal deste estudo tende a aumentar a produtividade, entretanto deve-se salientar a necessidade de avaliar os valores de compactação que estas máquinas podem exercer no solo.

Leite *et al.* (2014) realizando modelagem do desempenho da extração de madeira pelo *forwarder* John Deere, modelo 1710D, encontrou produtividade de 46 m³ h⁻¹, sendo menor do que as deste

estudo. O que explica essa diferença é a classe de volumes utilizada pelos autores, 0,13 a 0,42 m³ e a configuração da máquina. Segundo Jiroušek et al. (2007), os volumes médios de madeira das árvores e as distâncias de extração são fatores cruciais nas operações de extração de madeira.

Os *forwarders* 2 e 3 apresentaram redução do consumo de combustível de 11% em relação ao *forwarder* 1, explicado pela diferença da capacidade e peso das máquinas. Entretanto, o *forwarder* 1 apresentou menor consumo por volume de madeira (L m⁻³), redução de 31,58% e 15,79%, em comparação ao *forwarder* 2 e *forwarder* 3, nesta ordem. Esse fato é explicado pela diferença de produtividade das máquinas.

Santos (2014) avaliando o *forwarder* John Deere, modelo 1710D encontrou valores médios de consumo de combustível que se igualam aos *forwarders* 2 e 3 deste estudo. Estes valores também são similares aos encontrados por Bantel (2006), analisando a extração de madeira de eucalipto.

Bantel (2006) avaliando o *forwarder* Valmet 890.2 encontrou menores valores de custo operacional. Esses valores são explicados pela diferença de porte e capacidade da máquina utilizada pelo autor, quando comparadas com os *forwarders* utilizadas nesse estudo.

O custo operacional do *forwarder* John Deere, modelo 1710D, avaliado por Leite *et al.* (2014) foram superiores aos encontrados neste trabalho, pois, os autores consideraram os custos com transporte de maquinário e pessoal além de maior custo do combustível.

Simões e Fenner (2010), avaliando o *forwarder* Valmet 890.2/6WD, obtiveram o custo operacional de 35,83% para os custos fixos e 64,17% para os custos variáveis, e o custo de produção de US\$ 2,90 m⁻³ e uma produtividade de 40 m³ h⁻¹, inferior aos resultados deste trabalho, devido à capacidade de carga e porte da máquina.

Minette *et al.* (2004), chegaram aos valores US\$ 60,70 e US\$ 1,93 m³ para o custo operacional e de produção médio, diferindo deste

estudo devido ao modelo da máquina, Timberjack 1210B, com tração 6x6, motor de 172 hp, máquina inferior aos *forwarders* deste estudo.

Conclusões

As atividades de carregamento e descarregamento demandaram maiores tempos do ciclo operacional das máquinas.

Os valores de eficiência operacional foram semelhantes para os diferentes *forwarders*.

Os *forwarders* 2 e 3 ofereceram os menores custos operacionais.

O *forwarder* 1 resultou em maior produtividade e menor custo de produção, apresentando melhor desempenho para a atividade de extração de madeira de eucalipto.

Referências

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE standards 2001**: machinery, equipment and buildings: operating costs. Iowa: Ames, 2001. (ASAE D497.5).

BANTEL, C. A. **Análise de extração de madeira de eucalipto com forwarder em floresta de primeira e segunda rotação**. Botucatu, 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2006.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos**: projeto e medida do trabalho. São Paulo, 2001.

CARMO, F. C. A. **Análise operacional da colheita florestal no sul da Bahia**. Jerônimo Monteiro: UFES, 2013. 50f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

CECHIN, F. N. **Análise da eficiência e do desempenho operacional das máquinas e dos equipamentos utilizados no corte raso de povoamentos florestais na região do planalto norte de Santa Catarina**. 2000. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

FONTES, J. M.; MACHADO, C. C. Manutenção mecânica. *In*: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014.

GERASIMOV, Y., SENKIN, V., VÄÄTÄINEN, K. Productivity of single-grip harvesters in clear-cutting operations in the northern European part of Russia. **European Journal of Forest Research**. v. 3, n. 131, p. 647–654, 2011.

HIESL, P., BENJAMIN, J.G. Applicability of International Harvesting Equipment Productivity Studies in Maine, USA: A Literature Review. **Forests**, v. 4, n. 4, p. 898-921, 2013.

JIROUŠEK, R., KLVAČ , R., SKOUPÝ, A. Productivity and costs of the mechanized cut-to length wood harvesting system in clear-felling operations. **Journal of Forest Science**, v. 53, n. 10, p. 476-482, 2007.

LEITE, E. S. *et al.* Modelagem técnica e de custos do *Harvester* no corte de madeira de eucalipto no sistema de toras curtas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.41, n.98, p.205-215, 2013.

LEITE, E. S.*et al.* Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo 'forwarder'. **Revista Árvore**, Viçosa – MG. v. 38, n. 5, p. 879-887, 2014.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. *In*: MACHADO, C. C. (Coord.) **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa, MG:Editora UFV, p 15-42, 2014.

MALINOVSKI, R. A. *et al.* Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Floresta**, Curitiba, v.36, n.2, p.169-182, 2006.

MINETTE, L. J. *et al.* Análise técnica e econômica do *forwarder* em três subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 28, n. 1, p. 91-97, 2004.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

NURMINEN, T.; KORPUNEN, H.; UUSITALO, J. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. **Silva Fennica**. v. 2, n. 40, p. 335-363, 2006.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C.; Avaliação técnica e econômica do *Forwarder* na extração de toras de pinus. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 525-533, 2009.

SANTOS, L. N. **Avaliação econômica da colheita florestal mecanizada com harvester e forwarder**. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

SANTOS, L. N. *et al.* Avaliação de custos da operação de extração da madeira com *forwarder*. **Cerne**, Lavras, v.22, n.1, p.27-34, 2016.

SEIXAS, F. Extração florestal. *In*: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2007.

SEIXAS, F.; CASTRO, G. P. Extração. *In*: MACHADO, C. C. (Editor). **Colheita florestal**. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 2014.

SILVA, M. L. *et al.* Custos. *In*: MACHADO, C. C. (Editor). **Colheita florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte. **Floresta**, Curitiba, v.40, n.4, p.711-720, 2010.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Produtividade e custos do *feller-buncher* e processador florestal em povoamento de eucalipto de primeiro corte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 621-630, 2014.

TELES, M. T. A. **Evolução produtiva, perfil e percepção das condições de trabalho de operadores de máquinas de colheita florestal**. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2015.

Determinação a laser de volume de madeira

Isabela Santos Oliveira

Elton da Silva Leite

Júlio Eduardo Arce

Ricardo Franco Cunha Moreira

Introdução

Em uma empresa florestal, a estimação correta do volume de madeira entrante na fábrica é de grande importância. Informações distorcidas quanto ao real volume afetam a verificação do verdadeiro rendimento dos povoamentos que por sua vez pode se traduzir em prejuízos envolvendo os pagamentos dos serviços e o valor na venda da madeira (SOARES *et al.*, 2003). Desta forma, torna-se necessário o emprego de um método de aferição adequado, que possa garantir a melhor precisão na determinação do volume com menor tempo e custo de trabalho (LIMA *et al.*, 2015).

A determinação do volume de madeira pode ser dada por diferentes formas, por métodos diretos e indiretos (THIERSCH, 2002), destacando-se a metodologia de medição manual a partir da cubagem rigorosa, métodos baseados no Princípio de Arquimedes como o xilômetro, e a utilização de fotografias analisadas por meio de softwares. Carvalho *et al.* (1992) destacam como método alternativo utilizado em algumas empresas a pesagem do caminhão entrante na fábrica, com e sem a carga. Bertola (2002) em seus estudos, utilizando o programa computacional "Digitara", verificou que a utilização de fotografias digitais para determinação do volume sólido de madeira apresenta-se como também um método alternativo com desvios inferiores a 1% em relação à cubagem rigorosa.

A cubagem rigorosa é considerada um dos métodos mais precisos para a determinação do volume de toras (MACHADO; FIGUEIRE-

DO FILHO, 2009). Este método obtém a partir da medição das dimensões das toras, o volume estéreo que deve ser convertido em volume sólido através de um fator de empilhamento (SOARES *et al.*, 2003). Os principais métodos empregados na obtenção do volume sólido a partir da cubagem rigorosa são Smalian, Huber, Hohenadl e Newton (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Entretanto, a cubagem rigorosa demanda elevada mão-de-obra e tempo. Neste contexto, as empresas procuram novas técnicas confiáveis de aferição de volume de madeira, de forma a diminuir os erros de medição com maior rapidez e menor custo operacional, na medida em que a confiabilidade na medição é necessária onde exista conflito de interesse, ou onde os erros em medição acarretem em riscos (MACHADO, FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Em substituição aos métodos tradicionais de cubagem, e tendo em vista a necessidade de gerar uma informação mais assertiva do volume (GARBER; MAGUIRE, 2003), atualmente existem metodologias baseadas em sistemas a laser *scanner* como o Logmeter® 4000, utilizadas em países da América Latina (Chile) e Finlândia (JONSSON, 2009). Este sistema apresenta vantagens sob os sistemas tradicionais de medição por apresentar rapidez na aferição de toda a carga, redução da mão-de-obra, além da possibilidade de criação de um banco de dados com informações úteis para casos de auditoria (IPEF, 2009). Esta inovação em medição, conforme Jonsson (2009), é um passo à frente em direção a um maior grau de automação facilitando o procedimento e tornando-o mais economicamente viável.

Diante do exposto, de forma a atender a demanda por maior precisão nas mensurações de cargas de madeira em empresas florestais, este trabalho teve como objetivo analisar a utilização do scanner a laser automático na aferição de volume sólido de madeira de eucalipto sob diferentes diâmetros de madeira.

Material e métodos

As cargas de madeira utilizadas neste trabalho foram oriundas de plantios comerciais de eucalipto localizados no município de Padre Carvalho, estado de Minas Gerais. As aferições foram realizadas em uma empresa do setor florestal no município de Mucuri, Bahia. As toras foram derrubadas e processadas com a utilização do *harvester* e baldeadas com o *forwarder*.

Os veículos rodoviários utilizados neste estudo foram quatro caminhões do tipo "tritrem" com seis feixes em cada. Estes feixes foram submetidos à aferição de volume sólido da madeira sem casca pelos métodos: "A" cubagem rigorosa (método de Huber) e "B" cubagem a Laser, obtido pela utilização do sensor automático a laser, representado pelo nome comercial de Logmeter® 4000 (Figura 1a).

O Logmeter® 4000 apresenta um processo de medição de madeira simples, contínuo e de forma automática, permitindo mensurar volume de toras, cavacos e cargas de resíduos florestais. O processo de medição foi caracterizado pelos perfis transversais da carga, criando uma representação 3D com mais de um milhão de medições individuais (Figura 1b). Após identificação de toras ocorreu o processo de segmentação pela aplicação de algoritmos de processamento de imagem, identificando os limites da carga, além dos elementos não desejados, como os pneus do veículo, as barras de tração e a plataforma (Figura 1c), determinando o volume de madeira sólida, diâmetro, comprimento, conicidade e tortuosidade (Figura 1d), conforme descrito por Nylinder *et al.* (2017).

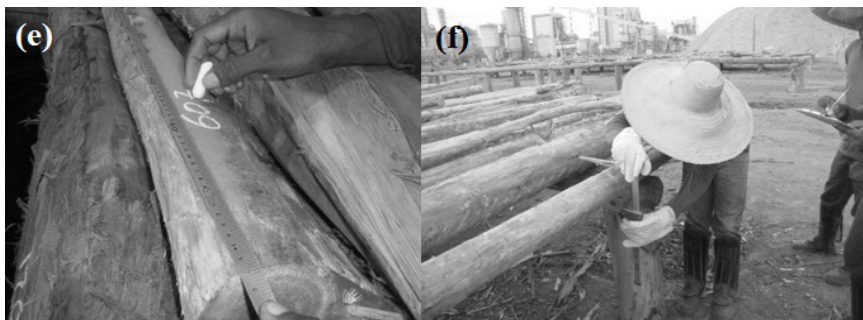
Os veículos se deslocavam na velocidade média de $0,72 \text{ m s}^{-1}$ variando de $0,55$ a $0,86 \text{ m s}^{-1}$ ($2,0$ a $3,1 \text{ Km h}^{-1}$) no período da passagem no sensor a laser estacionário Logmeter® 4000. Estas velocidades encontram-se abaixo do limite máximo estabelecido pelo fabricante ($1,11 \text{ m s}^{-1}$ ou 4 km h^{-1}). Em seguida as cargas foram direcionadas para o pátio de madeira para aferição do volume sólido por meio da cubagem rigorosa.

O método de cubagem rigorosa utilizado foi o de Huber (Equação 1), sendo mensurados o comprimento total por meio de uma fita métrica e o diâmetro médio, obtido pela média das extremidades da tora por meio de suta (Figura 1). A partir destes dados estimou-se o volume médio das toras e o volume do feixe do compartimento de carga.

$$V = \frac{1}{100000} \pi \left(\frac{Dm^2}{4} \right) L \quad (1)$$

em que: V= volume da tora (m³); Dm = diâmetro médio das extremidades da tora (m); L=comprimento da tora (m).

Figura 1. Cubagem rigorosa: medição de comprimento (esquerda) e medição de diâmetro (direita).



Fonte: Isabela Santos Oliveira (2017).

Os dados foram inicialmente submetidos à análise de desvios em porcentagem do volume de madeira sólida por feixe no compartimento de carga em relação à cubagem rigorosa (Equação 2), determinando os desvios de cada feixe de madeira e para cada veículo de transporte. Desta forma, os desvios negativos indicaram superestimativas e os desvios positivos indicam subestimativas em relação ao volume da cubagem rigorosa.

$$Des = \frac{VR - VL}{VR} 100 \quad (2)$$

em que: Des=desvio de volume sólido de madeira (%) do método scanner a laser em relação ao volume determinado pela cubagem

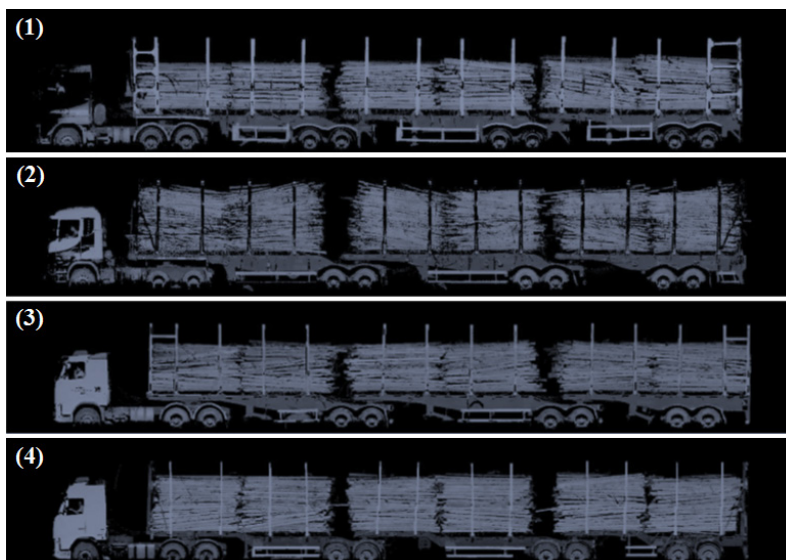
rigorosa VR= volume da cubagem rigorosa; e VL = volume da cubagem do Logmeter® 4000.

Após as análises de desvios foi realizada a análise do volume médio da tora em esquema fatorial 2x4 (método de cubagem rigorosa e a laser e quatro diâmetros de tora), com seis repetições (feixes de carga). Os valores de volume foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de *Tukey* a 5% de significância. Realizou-se também a análise de correlação de Pearson entre os comprimentos e diâmetros, por meio do programa estatístico R (R Core Team 2016).

Resultados e discussão

A Figura 3 apresenta as imagens do escaneamento a laser dos veículos com diferenças nas cargas transportadas quanto a espaços vazios, qualidade de carga.

Figura 2. Escaneamento a laser do lateral esquerdo dos veículos de transporte.



Fonte: Isabela Santos Oliveira (2017).

A Tabela 1 apresenta as variações de diâmetro e comprimento das toras dos veículos de transporte, sendo os coeficientes de variação de 25,19% para diâmetro e de 3,64% para comprimento de toras.

Tabela 1. Diâmetro e comprimento das toras dos veículos de transporte obtido pela cubagem rigorosa.

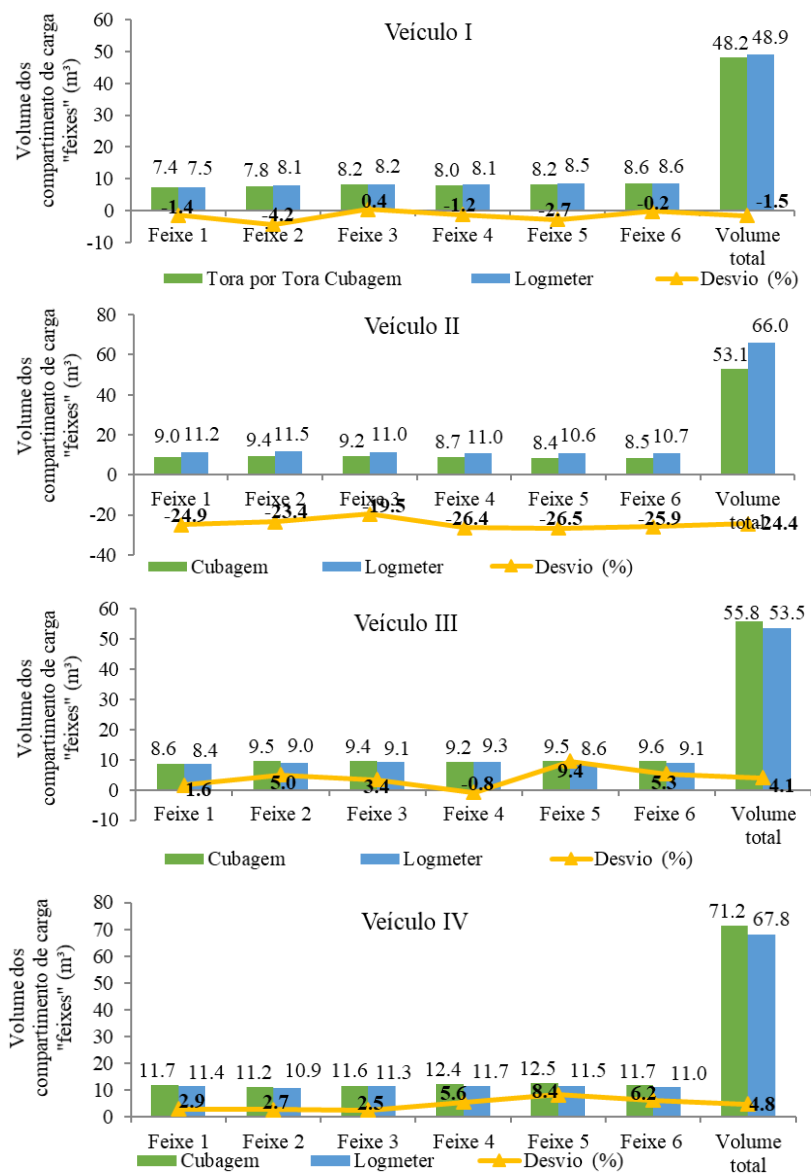
Feixes	Diâmetro da tora (cm)				Comprimento da tora (m)			
	Veículos de transporte rodoviário (Tritrem)							
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	10,38	5,87	9,67	10,64	3,34	3,23	3,49	3,28
2	10,07	6,01	9,79	10,54	3,37	3,24	3,48	3,31
3	10,28	5,76	9,90	10,86	3,36	3,23	3,53	3,33
4	10,45	5,61	9,43	10,58	3,36	3,21	3,49	3,40
5	10,44	5,49	9,89	10,52	3,34	3,16	3,51	3,43
6	10,48	5,59	10,07	10,79	3,33	3,13	3,52	3,37
Média	10,35	5,72	9,79	10,65	3,35	3,20	3,50	3,35

Fonte: Isabela Santos Oliveira (2017).

Na Tabela 1, observa-se que ocorreu controle na qualidade do traçamento da madeira e não discrepâncias consideráveis no comprimento das toras que apresentam intervalos de comprimento variando de 3,2 cm a 3,5 cm. Desta forma, os comprimentos das toras não foram passíveis de causar erros em medição do volume no método de sistema de escaneamento a laser.

A Figura 3 apresenta as análises dos desvios do volume de madeira sólida por feixe no compartimento de carga e o volume total do veículo de transporte, o desvio total dos quatro caminhões analisados foi de -4,3%, superestimando os valores em volume de madeira em relação à cubagem rigorosa.

Figura 3. Volume e desvios de madeira estimada pelo método de cubagem a laser e cubagem rigorosa.



Fonte: Isabela Santos Oliveira (2017).

O veículo I apresentou desvio de -1,5%. Os veículos III e IV apresentaram desvios de 4,1% e 4,8%, respectivamente. Estes valores são considerados adequados dentro dos limites aceitáveis pelo fabricante do *scanner* a laser (até 5%). O veículo II apresentou desvio muito elevado, aproximadamente -24%. Analisando as imagens de carga (Figura 2) observa-se maior número de toras com média de 986 toras/feixe, e diâmetro médio de 5,7 cm, estes fatores podem ter causado os erros em medição de volume sólido que variaram de 11,2 cm até 11,5 cm.

O diâmetro de toras apresenta como fator causador de variação na aferição do volume de toras (TORQUATO, 1983; CARRILLO *et al.*, 1985; BERTOLA, 2002) e isto evidencia diferenças significativas entre o fator de empilhamento de diferentes classes de diâmetro (CARRILLO *et al.*, 1985). Na avaliação de cubagem a partir de fotografias digitais, Rezende (1988), observou uma tendência de subestimação dos fatores de empilhamento de volume de toras de eucalipto para diâmetros maiores. No presente estudo, o uso de sensor a laser com feixes de toras com maiores diâmetros subestimam os volumes e os feixes com toras de menores diâmetros superestimam os volumes, corroborando com Rezende (1988).

Nas Tabelas 2 e 3 encontram-se as análises de variância e as médias de volume médio das toras para os métodos de cubagem rigorosa e a laser em função do diâmetro. Observa-se que há diferenças significativas entre os volumes médios de toras para os dois métodos de medição nos veículos 2, 3 e 4, estes veículos apresentaram números de toras por feixe superiores a 307 peças e isto pode ter acarretado em desvios de medição dos volumes sólidos.

O veículo 1 apresentou similaridade entre os métodos de aferição com volume de $0,030 \text{ m}^3$ por tora, aproximadamente. A partir das imagens geradas, observa-se que esta carga apresentou boa uniformidade de suas características com diâmetro médio de 10,3 cm e comprimento médio de 3,4 m, proporcionando uma boa aferição por meio de sensor a laser.

Apenas o veículo II apresentou variação em relação à aferição de volume com a utilização do sensor a laser. A menor precisão do método no veículo II deve-se ao menor diâmetro das toras, com tendência a acomodamento de qualidade inferior, maior presenças de espaços vazios, tora sob tora, características que não favorecem a aferição correta do sistema a laser. Isto indica que para diâmetros em torno de 10 cm e comprimentos de 3,5 m, a utilização da metodologia de escaneamento a laser apresenta-se com elevada precisão de medição do volume sólido da carga.

Tabela 2. Análise de variância dos volumes médios das toras para os métodos de cubagem rigorosa e a laser em função do diâmetro de tora.

Fonte de Variação	GL	QM	F
Método de aferição	1	2,9611E-09	4,0000E-03 ns
Diâmetro	3	1,2400E-03	1,5886E+03**
Método de aferição*Diâmetro	3	9,0000E-06	1,1159E+01**
Erro	40	7,8058E-07	
Total	47		
CV (%)	3,5200		

Fonte: Isabela Santos Oliveira (2017).

Tabela 3. Médias de volume de madeiras em relação ao diâmetro das toras para os quatro caminhões analisados sob os dois métodos de cubagem.

Método de aferição	Diâmetro							
	1		2		3		4	
A - Rigorosa	0,0304	Ca	0,0089	Aa	0,0288	Bb	0,0324	dB
B - Laser	0,0309	Ca	0,0111	Ab	0,0276	Ba	0,0308	Ca

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (linha), minúscula (coluna) não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

Fonte: Isabela Santos Oliveira (2017).

Conclui-se que as diferenças de arrumação da carga (Figura 2) podem influenciar na medição de volume de toras com o laser, pois este método não contabiliza os espaços vazios e as acomodações da madeira na caixa de carga, podendo afetar o cálculo de volume. Assim, os menores diâmetros contemplam maiores espaços vazios e maiores desvios obtidos pelos métodos de aferição (Figura 3).

Conclusões

O método de cubagem a laser apresentou elevado potencial na determinação de volume de madeira de eucalipto.

Os menores diâmetros de toras e maior número de toras por feixe são fatores passíveis de causar erros na aferição do volume sólido de madeira, podendo ocorrer superestimação dos valores na medição a laser *scanner*.

O método de sistema a laser *scanner* avaliado necessita de ajustes para minimizar os desvios e as diferenças em relação à cubagem rigorosa, garantindo melhor precisão em utilização para aferição do volume sólido de madeira.

Referências

BERTOLA, A. **Uso de Fotografias Digitais Para Quantificar o Volume Sólido de Madeira Empilhada**. 2002.47p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CARRILLO, G. E. t alii - Comparações de coeficientes de apilamiento para brazuelo. **Boletim técnico**, INIF, México n. 103, p. 1-13, 1985.

CARVALHO, F.D.; CORREIA, B.B.; DAVIES, R.; RODRIGUES, F.C.; FREITAS, J.C. Image processing system for the measurement of timber truck loads. In: Supplementary volume, 1992, Hong Kong. **Proceedings**. Hong Kong: University of Hong Kong, 1992.

GARBER S.M.; MAGUIRE D.A. Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures. **Forest Ecology and Management**. v. 179. n.1. p. 507-522, 2003.

IPEF. "**IPEF Notícias**". Número 196. Janeiro, Fevereiro, Março 2009.

JONSSON, J. **Automation of pulp wood measuring – An economical analysis**. 2009,

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 2. ed., New York: John Willey & Sons, 1972.

LIMA, G. C. P.; KOHLER, S. V.; S. R.; NAVROSKI, M. C.; BONAZZA, M.; ALLEGRETTI, G.; SCARIOTI, R. Acuracidade de métodos de cubagem para estimativa do volume de *Pinus taeda* L. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 1, n. 1, 2015.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2009.

NYLINDER, M., KUBENCA, T., & HULTNAS, M. **Medição de toras carregadas em caminhões usando scanner laser**. Um campo de estudo na planta de Celulosa Arauco, Nueva Aldea. Disponível em: www.repositorium.sdum.uminho.pt. Acesso: 14 jun 2020.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2016. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SOARES, C. P. B. *et al.* Determinação de fatores de empilhamento através de fotografias digitais. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.27, n.4, 2003.

THIERSCH, C. R. **Modelagem da densidade básica, do volume e do peso seco para plantios de clones de Eucalyptus spp.** UFLA: Lavras, 2002. 197 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, 2002.

TORQUATO, M.C. **Fator de empilhamento**: implicações técnicas na medição da madeira empilhada. *Sivicultura*, São Paulo, n. 8, v. 30, p. 230-233, 1983.

Previsão de preços celulose brasileira

*Marcela Guedes Dourado
Lucas Gabriel Souza Santos
Liniker Fernandes da Silva
Deoclides Ricardo de Souza
Elton da Silva Leite
Luis Carlos de Freitas
Everton Luis Poelking*

Introdução

O setor florestal é de grande importância para a economia brasileira. Do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, 1,1% são gerados pelo setor de árvores plantadas (IBA, 2017). Este segmento é altamente competitivo, sendo que os fatores de maior contribuição para tal fato são os investimentos em pesquisas e desenvolvimento, e as condições do clima e solo no país (HORA E MELO, 2016).

No ano de 2016, dos 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil, cerca de 34% foi referente ao setor de celulose e papel. Sendo que a produção brasileira de celulose cresceu 8,1%, colocando o país na segunda posição entre os maiores produtores mundiais de celulose (IBA, 2017). Na Bahia, dos 16 milhões de metros cúbicos gerados pelo setor florestal estadual em 2016, cerca de 86% foi para atender a indústria de celulose e papel, salientando que a produção destinada ao segmento de celulose e papel é a mais expressiva no estado (ABAF, 2017).

Em função de características como o longo prazo de maturação dos projetos e a heterogeneidade das condições produtivas (SILVA; JACOVINE e VALVERDE, 2005), o planejamento florestal mostra-se cada vez mais essencial para subsidiar o desenvolvimento do setor, o que torna fundamental o conhecimento do comportamento dos preços de celulose ao longo dos anos, com intuito de prever valores

futuros e auxiliar a tomada de decisões das empresas de base florestal (SOUZA *et al.*, 2017).

No campo florestal, alguns trabalhos já foram desenvolvidos aplicando o método Box e Jenkins, tal como: Castro *et al.* (2011), que analisaram a eficiência do método para prever a produção de celulose de fibra curta no Brasil. Almeida *et al.* (2009), que usaram o modelo ARIMA na previsão do preço pago às exportações de compensado para o Estado do Paraná. Cordeiro *et al.* (2010) que aplicaram as técnicas estatísticas de previsão para prever os preços de exportação da madeira serrada de pinus no Brasil.

O método de Box e Jenkins (1976) baseia-se em prever os valores futuros da variável previsão, tomando como referência apenas seus valores presentes e passados, através do ajuste dos modelos autorregressivos integrados e média móveis (ARIMA). O método constrói modelo que descrevem as previsões com base em séries temporais, de forma parcimoniosa, proporcionando base para: economia e planejamento de negócios; controle e otimização de processos industriais e controle de produção (GUJARATI, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2011).

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar o método Box e Jenkins (1976) na realização de previsões do preço de celulose de fibra curta brasileira.

Materiais e métodos

Para ajuste do modelo, foi utilizada série mensal com preços FOB (Free On Bord) da celulose de fibra curta brasileira, no período de janeiro de 2007 a maio de 2015, totalizando 101 observações obtidas pelo sistema Comexstat, do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (Mdic). As primeiras 89 observações, de janeiro de 2007 a abril de 2014, foram utilizadas para o ajuste do modelo. As últimas 12 observações, de junho de 2014 a maio de 2015, foram reservadas para validação como fonte de comparação dos dados da previsão de preços com a escolha da equação que foi estimada.

Os dados foram analisados em quatro etapas, sendo elas a identificação, estimação, avaliação e previsão, de acordo com Box e Jenkins (1976).

A identificação compreende um conjunto de procedimentos necessários para a determinação do número de defasagens usadas nos processos de Média Móvel e Autoregressivo, bem como, a identificação do número de diferenciações necessárias. Conforme o método, tem-se as seguintes classes de modelos:

Na média móvel (MA), a série temporal Y_t resulta da combinação linear dos termos aleatórios em t período atual com aqueles ocorridos em períodos anteriores. Assim, o modelo de média móvel em sua forma geral ou um MA(q), leva em consideração q valores defasados de (equação 1):

$$Y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} \dots - \theta_p \varepsilon_{t-p} \quad (1)$$

em que: Y_t = variável no tempo t ; θ_1 = parâmetro a ser estimado; ε_t = termos aleatórios.

O modelo autorregressivo (AR) a série temporal Y_t é determinada apenas pelos seus valores realizados e pelos termos aleatórios. O modelo de ordem p AR(p) será o resultado da soma ponderada de seus p valores passados e dos termos aleatórios, ou seja, o comportamento futuro da variável pode ser explicado através do seu comportamento passado (equação 2):

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2)$$

em que: Y_t = variável no tempo t ; ϕ_1 = parâmetro a ser estimado; ε_t = termos aleatórios.

A média móvel autorregressivo, é a combinação dos componentes de um modelo AR (p) com os componentes de uma modelo MA (q), formando assim o modelo ARMA. No modelo ARMA (p , q), a série temporal Y_t é função de seus valores históricos e

pelos termos aleatórios corrente e passados. Conforme expresso na equação 3.

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (3)$$

em que: Y_t = variável no tempo t ; ϕ = parâmetro do MA; θ = parâmetro AR; e ε_t = termos aleatórios.

O modelo autorregressivo, integrado de média móvel (ARIMA) deve ser empregado quando a série temporal analisada não for estacionária, sendo recomendado aplicar diferenças para que a série se torne estacionária. O número de diferenças necessárias para tornar a série estacionária é classificado como ordem de integração (I). A série temporal Y_t será estacionária após ser diferenciada d vezes, o formato do modelo pode ser descrito como ARIMA (p, d, q), dados pela equação 4.

$$W_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (4)$$

em que: W_t = variável diferenciada; Y_t = variável no tempo; Y_{t-1} = variável no período anterior.

Para cada um dos parâmetros de médias móveis (parâmetro q), o filtro autorregressivo estacionário (parâmetro p) e o de integração não-estacionário (parâmetro d), a ordem pode variar. Sendo necessário escolher por modelos de ordem 1 ou 2 com base no princípio de parcimônia, ou seja, deve-se escolher o modelo mais compreensível, com menor conjunto de parâmetros possível para simplificar o entendimento (CORDEIRO *et al.*, 2010).

Após identificação dos parâmetros d , p e q do modelo, a próxima etapa foi à estimação, que consiste em estimar os parâmetros de componentes autorregressivos e dos componentes de médias móveis. Para obter melhores resultados na utilização da metodologia Box e Jenkins (1976), a amostra deve ter no mínimo 50 observações (SOARES *et al.*, 2010).

Com base nos resultados da função de autocorrelação e autocorrelação parcial, estimou-se a equação de previsão de preços de celulose de fibra curta brasileira pelo Método Mínimos Quadrados. O software utilizado foi o EViews 7.0.

A avaliação baseia-se em checar se a equação ajustada foi adequada, verificando o comportamento dos resíduos da mesma, feita por meio da análise do correlograma e do teste Augmented Dickey-Fuller (ADF).

A previsão é realizada quando se obtém uma equação satisfatória. Depois da escolha da equação, foi feita a previsão para as doze observações no período de junho de 2014 a maio de 2015.

Para verificar a qualidade das previsões, foram utilizadas às estatísticas Erro Absoluto Médio (MAE), Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE) e Média Percentual Absoluta do Erro (MAPE)

O erro médio absoluto (MAE) é calculado por:

$$MAE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|}$$

em que: y_i e \hat{y}_i são respectivamente ao preço FOB (Free On Bord) observado e estimado da celulose fibra curta para o i-ésimo mês; N - número de observação.

Erro médio quadrático (RMSE) é uma média quadrática que mede a significância do erro, mostrando a diferença entre as previsões e os equivalentes valores observados (LOUREIRO, 2008).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}}$$

Em que: y_i e \hat{y}_i são respectivamente ao preço FOB (Free On Bord) observado e estimado da celulose fibra curta para o i-ésimo mês; N - número de observação.

Média Percentual Absoluta do Erro (MAPE), mede o erro em porcentagem da seguinte forma:

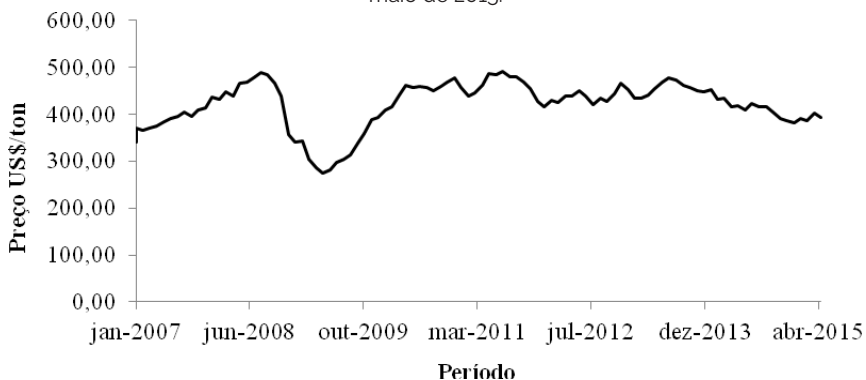
$$MAPE = \left(\sum_{t=1}^n \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{y_t} \right) / n \times 100 \text{ se } y_t \neq 0$$

Em que: y_t são os dados, \hat{y}_t são os ajustes; n é o número de observações.

Resultados e Discussão

Com verificação gráfica prévia (Figura 1), observa-se tendência de queda, a inexistência de sazonalidade e a não estacionariedade da série de preço de celulose de fibra curta brasileira, de janeiro de 2007 a maio de 2015.

Figura 1. Preço de exportação da celulose de fibra curta brasileira, de janeiro de 2007 a maio de 2015.



Fonte: Marcela Guedes Dourado (2019).

Os resultados do Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) em nível para as séries mensais de preços de celulose de fibra curta brasileira (Tabela 1) comprovam que a série de preço sob estudo é não-estacionária. Visto que os valores calculados são menores que seus respectivos valores críticos em todos os modelos analisados, ou seja, a hipótese nula de raiz unitária não pode ser rejeitada para a série avaliada.

Tabela 1. Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) em nível para as séries mensais de preços de celulose de fibra curta brasileira, de janeiro de 2007 a maio de 2015.

Modelo	Valor crítico em nível de 1%	Valor calculado do teste ADF
Com intercepto e tendência	-4,066981	-2,235263
Somente com intercepto	-3,507394	-2,166488
Sem intercepto e tendência	-2,591813	-0,103063

Fonte: Marcela Guedes Dourado (2019).

Visando garantir a estacionariedade das séries temporais, suas variáveis não podem apresentar tendências e devem ser estáveis ao longo do tempo, essa característica é fundamental para a previsão do futuro com base na regressão de séries temporais, corroborando com a premissa de que o futuro se comportará de acordo com o passado (ALMEIDA *et al.*, 2009; CASTRO *et al.*, 2011).

Sendo assim, para correção da não estacionariedade nas séries de preços, fez-se necessário proceder a transformação de primeira diferenciação, com intuito de torná-la estacionária.

Na primeira diferenciação da série com seus respectivos modelos (Tabela 2), nota-se que o valor calculado do teste ADF é de -6,646621 com significância de -4,066981 em nível de 1%, superior aos valores críticos tabelados, ou seja, a hipótese nula de existência da raiz unitária pode ser rejeitada.

Tabela 2. Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) em primeira diferença para as séries mensais de preços de celulose de fibra curta brasileira, de janeiro de 2007 a maio de 2015.

Estatística	Modelo	Valor crítico em nível de 1%	Valor calculado do teste ADF
τ_t	Com intercepto e tendência	-4,066981	-6,646621
	Somente com intercepto	-3,507394	-6,685330
	Sem intercepto e tendência	-2,591813	-6,724217

Fonte: Marcela Guedes Dourado (2019).

De forma similar foi constatado no trabalho de Cordeiro *et al.* (2010), em primeira diferença, o valor calculado foi de -9,84, e o valor crítico com 1% de -4,02, rejeitando a hipótese nula de raiz unitária.

As análises das Funções de Autocorrelação (FAC) e Autocorrelação Parcial (FACP), após a aplicação da primeira diferença, ajudaram

para inferir a presença de estacionariedade, indicando o modelo a ser utilizado. Foram obtidos picos fora do intervalo no lag 1 e 2 da função de autocorrelação e 1 para função de autocorrelação parcial.

Identificado o modelo ARIMA e seus respectivos valores de p , d e q , realizou a estimação dos parâmetros e da variância do resíduo, através do método Mínimos Quadrados (MQO). Obteve as seguintes estimativas para os modelos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros ARIMA (1, 1, 1) e (1, 1, 2) para previsão do preço de celulose de fibra curta brasileira, de janeiro de 2007 a maio de 2015.

Modelo	f1	f2	f3	AIC	SCH	R ²	R ² aj
ARIMA (1, 1, 1)	0,000295 (p<0,97)	0,653665 (p<0,01)	-0,346985 (p<0,14)	-3,609	-3,524	0,140	0,120
ARIMA (1, 1, 2)	0,001067 (p<0,87)	0,289852 (p<0,01)	0,164438 (p<0,01)	-3,615	-3,530	0,145	0,125

AIC – Critério de informação Akaike; SCH – Critério de informação Schwarz; R² - Coeficiente de determinação múltipla; R² aj – Coeficiente de determinação múltipla Ajustado.

Fonte: Marcela Guedes Dourado (2019).

As duas equações foram estimadas, com base nos critérios de Akaike (AIC), Schwarz (SCH), R², R² ajustado, princípio de parcimônia, na significância dos coeficientes e no comportamento dos resíduos.

Escolheu-se o modelo ARIMA (1, 1, 2), o que mais se ajustou a série de dados para previsão de preço de celulose de fibra curta, devido à significância dos coeficientes, ao maior coeficiente de determinação ajustado (R² aj), e aos menores valores observados para os critérios de AIC e SCH.

Conforme recomendado por Box e Jenkins (1976), os resíduos devem apresentar comportamento aleatório do tipo ruído branco e coeficientes significativos.

Ao analisar as equações, verificou-se que o comportamento médio dos seus resíduos foi adequado, pelos resultados do teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), pode-se rejeitar a hipótese nula de raiz unitária, dado que os valores críticos são menores que o valor calculado (Tabela 4). Desta forma, pode-se assegurar que o modelo apresentou-se adequado para as estimações realizadas.

Tabela 4. Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) em nível nos resíduos para as séries mensais de preços de celulose de fibra curta brasileira, de janeiro de 2007 a maio de 2015.

Estadística	Modelo	Valor crítico em nível de 1%	Valor calculado do teste ADF
τ_{τ}	ARIMA (1, 1, 1)	-4,068290	-9,184327
	ARIMA (1, 1, 2)	-4,068290	-8,936308

Fonte: Marcela Guedes Dourado (2019).

Em análises aos correlogramas de autocorrelação e autocorrelação parcial do preço externo do compensado paranaense, Almeida et al. (2009), observaram que os modelos apresentaram comportamentos semelhantes, indicando a necessidade da avaliação de mais informações para sua escolha, bem como, os critérios estatísticos, principalmente o R^2 ajustado.

Percebe-se que ambas as equações apresentaram características desejáveis em relação ao correlograma, por sua vez a equação ARIMA (1, 1, 2) mostrou-se superior para as estimações realizadas em função das estatísticas usadas para avaliação da qualidade das equações.

Para Coelho Júnior et al. (2009), na escolha da equação deve-se respeitar a condição do ruído branco, observando as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial atendendo todas as exigências da teoria. Em estudo das séries de preços da borracha natural nacional, o autor optou-se por prognosticar os valores para 12 períodos adiante, as projeções obtidas pela equação que melhor se adequou, um ARIMA (1, 1, 1), apresentou-se estatisticamente adequado.

Após a análise dos resíduos com a aceitação do modelo adequado, realizou-se a previsão do preço de celulose de fibra curta brasileira, para as doze observações, no período de junho de 2014 a maio de 2015, cujo os dados não foram utilizados no modelo, de forma a verificar o comportamento futuro.

As projeções feitas pelo modelo foram satisfatórias, com raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) de 2,17, média percentual absoluta do erro (MAPE) de 2,14, e erro médio absoluto (MAE) de 1,89.

Em alguns trabalhos desenvolvidos com base na metodologia proposta por Box e Jenkins, obtiveram resultados bem próximos ao estudado, tal como:

Cordeiro et al. (2010) ao avaliar as previsões do preço de exportação da madeira serrada de Pinus no Brasil, obteve MAPE de 10,02, assim como, Castro et al. (2011) ao analisar as projeções da produção de celulose de fibra curta no Brasil, atingiu média percentual absoluta do erro (MAPE) de 9,54.

Soares et al. (2010) citam que ao avaliar o preço da madeira de *Eucalyptus* spp nas cidades de Itapeva (SP) e Bauru (SP), com apoio das técnicas de estatísticas de previsão, obteve a média percentual absoluta do erro de 3,53 e 4,45.

Souza et al. (2017) em análise econométrica de preços de carvão vegetal no norte de Minas Gerais, verificaram que ao comparar os valores estimados com os valores reais, obteve MAPE de 4,67.

Na Tabela 5 foi calculado o erro percentual (Erro %), com intuito de quantificar o desvio entre o valor observado e o valor previsto, observando que os maiores desvios foram no período de novembro de 2014 e maio de 2015, porém estão dentro do aceitável.

Tabela 5. Previsão do preço FOB (Free On Bord) de celulose de fibra curta brasileira no período de junho de 2014 a maio de 2015.

Período	Valor observado (Preço FOB*)	Previsão (Preço FOB*)	Erro (%)
01/6/2014	409,2	417,4	2,00
01/7/2014	422,8	408,0	-3,50
01/8/2014	416,4	425,8	2,26
01/9/2014	414,8	417,3	0,61
01/10/2014	404,6	413,1	2,10
01/11/2014	391,5	401,6	2,57
01/12/2014	386,6	386,8	0,05
01/1/2015	382,0	383,8	0,48
01/2/2015	390,5	380,9	-2,46
01/3/2015	385,1	393,0	2,07
01/4/2015	402,4	385,3	-4,25
01/5/2015	393,4	406,6	3,34

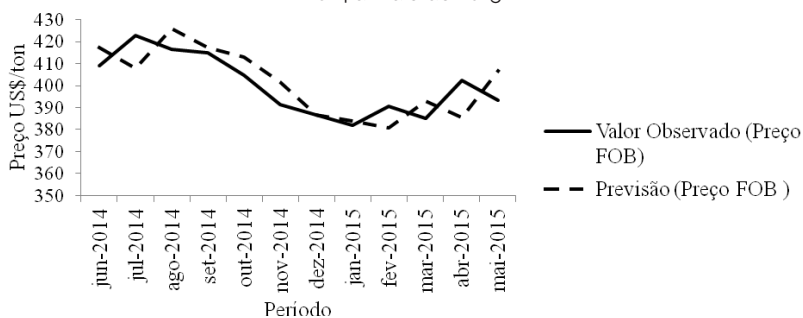
Fonte: Marcela Guedes Dourado (2019).

Cordeiro et al. (2010), ao analisar doze observações no período de setembro de 2007 a agosto de 2008, para previsões dos preços de exportação da madeira serrada de pinus no Brasil, constataram que os maiores desvios foram em março e maio de 2008.

De acordo com Soares *et al.* (2012), a estimativa feita pelo modelo ARIMA (1,1,4), referente ao período de outubro de 2008 a setembro de 2009, para o preço da castanha de caju, superestimou em 4,09% e obteve desvios superiores em outubro e novembro de 2008.

Conforme exposto na Figura 2, as previsões fornecidas pelo modelo ARIMA (1, 1, 2), foram semelhantes aos valores observados e previstos. Desta forma, pode-se dizer que o modelo foi adequado e pode ser aplicado para prever a o preço da celulose de fibra curta.

Figura 2. Previsão do preço de celulose de fibra curta brasileira, no período de junho de 2014 a maio de 2015.



Fonte: Marcela Guedes Dourado (2019).

Em trabalho de projeção da produção de celulose de fibra curta no Brasil, no período de 1950 a 2009, Castro *et al.* (2011), obtiveram a estacionariedade da série em segundas diferenças, o modelo ARIMA (2, 2, 1) foi eficaz na previsão, podendo antever a produção em até quatro anos de forma confiável.

Soares *et al.* (2010), evidenciaram no seu estudo de previsão de preço da madeira de *Eucalyptus*, a importância de deixar de fora as doze últimas observações com o intuito de fazer uma previsão para melhor avaliar o modelo, ressaltando ainda a capacidade de previsão satisfatória, com erro (%) médio baixo e alta significância dos coeficientes estimados, comprovando a confiabilidade estatística do modelo.

Ao estudar previsões de longo prazo de séries econômicas, devem-se levar em consideração os fatores macroeconômicos e

edafoclimáticos que podem diferir dos valores originais no período projetado. Ou seja, ao aplicar o método de Box e Jenkins (1976) é recomendável ao pesquisador, atenção e prática para escolha do melhor modelo, fundamentado nas análises de domínio do tempo e domínio da frequência para auxiliar na modelagem e definir os modelos aptos (COELHO JÚNIOR, 2006).

Conclusões

De acordo com os resultados obtidos ao se comparar os valores, bem como a baixa diferença média percentual obtida na previsão, confirmam que, o modelo ARIMA (1, 1, 2) foi capaz de captar o comportamento da série e alcançar elevada acurácia em prever o preço de celulose de fibra curta brasileira no período junho de 2014 a maio de 2015.

A metodologia de Box e Jenkins pode servir como ferramenta de apoio para tomadas de decisões futuras para empresas de âmbito florestal, assim como fornecer orientações sobre o comportamento dos preços ao longo dos anos, contribuindo para o planejamento florestal e conseguinte desenvolvimento do setor de celulose no país.

Referências

ALMEIDA, A. N. *et al.* Análise do preço externo do compensado paranaense através da metodologia de Box & Jenkins. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 81, p. 061-069, jan., 2009.

ASSOCIAÇÃO BAIANA DAS EMPRESAS DE BASE FLORESTAL – ABAF. **Relatório de ações ABAF e do setor florestal em 2018**. Salvador-BA, 2018.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time series analysis forecasting and control**. San Francisco: Holden-Day, 1976.

CASTRO, R. V. *et al.* Projeções da produção de celulose de fibra curta no Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 2, abr./jun., 2011.

COELHO JUNIOR, L. M. **Análise econômica de produtos florestais em condições de risco e incerteza**. 2010. 206 f. 2010. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)–Universidade Federal de Lavras, Lavras.

COELHO JÚNIOR, L. M. *et al.* Análise temporal do preço do carvão vegetal oriundo de floresta nativa e de floresta plantada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 30, n. 3, p. 429-438, abr., 2006.

COELHO JUNIOR, L. M. *et al.* A. D. Análise temporal da borracha natural brasileira. **Revista Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 19-26, jan./mar., 2009.

CORDEIRO, S. A. *et al.* Previsões do preço de exportação da madeira serrada de *Pinus* no Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 36, p. 205-214, jun., 2010.

FISCHER, S. **Séries univariantes de tempo metodologia de Box e Jenkins**. Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística, 1982.

GUJARATI, D.N. **Econometria básica**. 4.ed. São Paulo: Elsevier, 2006.

HORA, A. B.; MELO, L. P. D'ávila. **Papel e celulose** In: Panoramas setoriais: mudanças climáticas. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. (Brasil). Ano base 2016. **Relatório 2017**. Brasília, 2017.

LOUREIRO, J. M. F. **Desenvolvimento de modelos de previsão a longo prazo de preços de mercado de eletricidade**. 2008. Dissertação (Dissertação em Engenharia Electrotécnica e de computadores Major Energia) – FEUP. 42p. 2008.

SILVA, M.L.; JACOVINE, L.A.G.; VALVERDE, S.R. **Economia florestal**. 3ª edição. Viçosa: UFV, 2005.

SOARES, N. S. *et al.* Elaboração de modelo de previsão de preço da madeira de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, jan./mar., 2010.

SOARES, N. S; SOUSA, E. P. DE; SILVA, M. L. DA. Análise de previsões de preços da castanha de caju no Ceará. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 43, n. 3, p. 487-500, 2012.

SOARES, N. S. *et al.* Análise de Previsões do preço da borracha natural no Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 285-294, dez., 2008.

SOUZA, P. D. Análise econométrica de preços de carvão vegetal no norte de Minas Gerais/Econometric analysis of charcoal prices in the North of Minas Gerais. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, v. 9, n. 3, p. 67-75, dez., 2017.

Conflitos de uso das terras em Jiquiriçá

*Camila Piqui Guerra
Everton Luis Poelking*

Introdução

O processo histórico de ocupação do território no Brasil teve como consequência a substituição da cobertura vegetal por atividades agropecuárias. A exploração excessiva das terras provocou a intensificação da erosão hídrica e aumento na degradação ambiental. Na busca da mitigação dos impactos ambientais, a sociedade regula o uso e o manejo dos recursos naturais através de leis e normas. Diante disso, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) foram estabelecidas com o intuito de manter a preservação dos recursos hídricos, do solo, da biodiversidade, do fluxo da fauna e da flora, e por consequência o bem-estar das populações (BRASIL, 2012a). A ausência de planejamento adequado associado ao crescimento desordenado das cidades e das áreas de exploração agropecuária, aceleram a degradação das APPs no Brasil.

Legislação ambiental brasileira

O uso e proteção das áreas naturais são regulamentados pelo Código Florestal (BRASIL, 2012a) com alterações feitas pela Lei Federal nº 12.727 de 2012, que trazem definições e propõem parâmetros quanto à preservação e conservação de todas as categorias das APPs. Apesar de ter alterado os parâmetros, reduzidos drasticamente os limites para restauração e o grau de proteção ambiental, em alguns casos mantém a mesma estrutura e conceitos fundamentais sobre as APPs do Código Florestal anterior, além de contemplar novos instrumentos de gestão e de regularização ambiental (BRASIL, 2012a).

A atual legislação florestal determina que a partir de 22 de julho de 2008 todas as APPs devem ser mantidas preservadas integralmente, quando estas não tenham sido utilizadas por atividades consolidadas como os sistemas agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural ou ocupações urbanas, anteriormente a esta data. As restrições e permissões da continuidade das atividades nas áreas consolidadas foram incluídas com a alteração dada na lei 12.651 25 de maio de 2012 pela Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012, tendo definido que as APPs continuam as mesmas para efeito de conceituação. No entanto, houve mudanças para a necessidade de recomposição dessas áreas. O Decreto 7.830, de 17 de outubro de 2012, estabeleceu um escalonamento de acordo com tamanho da propriedade, referenciada em módulos fiscais que possuam áreas consolidadas em APP que será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais, conforme tamanho do imóvel rural (BRASIL, 2012b).

Conflitos de uso

Conhecer e monitorar o uso e ocupação da terra de determinada área, a fim de compreender os padrões e organização do espaço é uma estratégia primordial para gestão do ambiente, uma vez que as influências do uso inadequado podem ser analisadas (LEITE; ROSA, 2012). A exploração intensiva das terras em APPs e todas as atividades desenvolvidas no limite dessas áreas podem gerar grandes problemas ambientais, que podem ser irreversíveis, influenciando diretamente na perda da biodiversidade (SANTOS *et al.*, 2017).

A necessidade de determinar usos adequados ao solo é tão relevante à gestão do ambiente que o torna objeto de regulamentação na maioria dos países do mundo. O mecanismo de controle para fiscalização do uso do solo previsto no Código Florestal Brasileiro passou a ser o Cadastro Ambiental Rural – CAR (BRASIL, 2012b). O efetivo mapeamento destas áreas para o planejamento territorial e as ações de campo nos âmbitos local, facilita as fiscalizações que visam

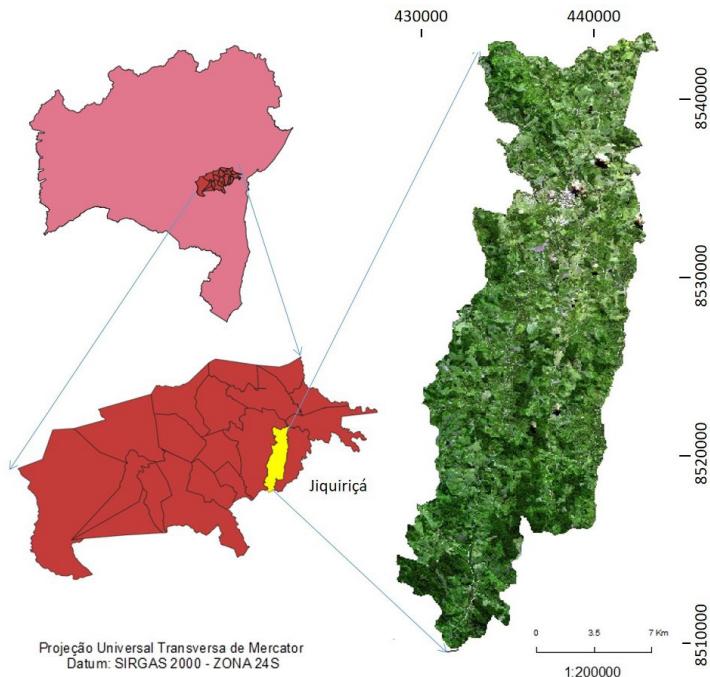
ao cumprimento da legislação ambiental. Sendo assim, o uso das geotecnologias, sobretudo as imagens de satélite de alta resolução espacial, permitem analisar ocorrências de uso inadequado do solo, agilizando assim, o período hábil de fiscalização no cumprimento das leis pertinentes, tendo como referência os aspectos técnicos.

O município de Jiquiriçá apresenta atividades ligadas à produção agrícola e pecuária, além da presença do turismo que modificaram o ambiente natural da região que hoje encontra-se com alto grau de supressão da vegetação natural. As áreas de matas sofrem intensa pressão, tanto para a ampliação da agricultura e pecuária quanto para a extração de madeira, em tora e lenha (IBGE, 2012). Este estudo visou identificar os conflitos do uso e ocupação do solo existentes nas APPs do município de Jiquiriçá, conforme os parâmetros de proteção estabelecidos pela legislação ambiental.

Material e métodos

A área de estudo corresponde ao município de Jiquiriçá, está localizado no Território de Identidade Vale do Jiquiriçá, região do estado da Bahia, Brasil, a uma altura média de 342 m acima do nível do mar e possui uma área total de 239,2 km², Figura 1. De acordo com o IBGE (2016) a cidade possui uma população de 15,071 habitantes.

O clima predominante no município, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am, caracterizado por inverno seco e verão chuvoso. A maior parte da topografia do município é caracterizada por relevo ondulado (8 a 20%) e forte-ondulado (20 a 45%), intercalado por áreas montanhosas (IBGE, 2012).

Figura 1. Localização da área de estudo.

Fonte: Camila Piqui Guerra (2017).

Jiquiriçá se enquadra em área de domínio do bioma Mata Atlântica, sendo que as áreas de ocorrência da Mata Atlântica, em especial às localizadas em morros, lagos e cachoeiras, tiveram intenso impacto antrópico, devido à atividade turística presente na cidade e entre outros fatores, como pastagem e uma pequena parcela de agricultura. Mesmo com o destaque do setor terciário na atividade econômica do município, o setor agropecuário é o principal modificador da paisagem natural, pela degradação das matas nativas para expansão de lavouras e pastagens, tendo como consequência a perda da biodiversidade, alteração do ciclo hidrológico, erosão do solo, assoreamento dos corpos d'água, entre outros (SEI, 2016). O município é drenado por quatro rios perenes: o Rio Velho, Rio Boqueirão e Rio do Bom Jesus que atravessa a área urbana, todos desaguardo no Rio Jiquiriçá.

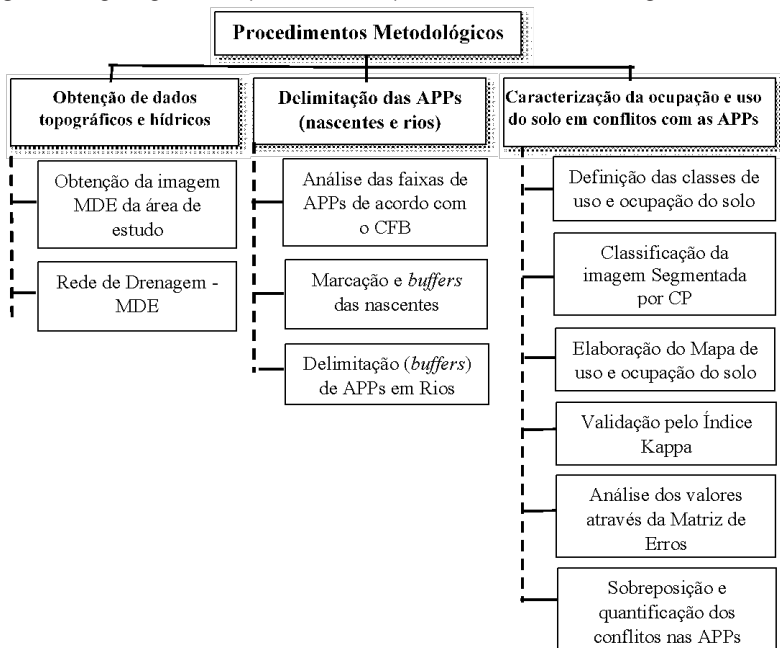
Utilizou-se imagens do satélite *Rapideye (RE4)* referente a 04 setembro de 2015 com resolução espacial de 5 metros e nível de processamento 3 A, previamente ortorretificadas. As imagens foram obtidas junto ao Geocatálogo do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017) e permitem a geração de mapa de uso da terra na escala 1:25000.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado é oriundo da missão do mapeamento do relevo terrestre *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* que são imagens de radar que possuem informações altimétricas com resolução espacial de 30 metros. Esse dado foi obtido no sítio de internet do *United States Geological Survey (USGS, 2017)*, que disponibiliza gratuitamente um MDE com resolução espacial de 1 arc-segundo. A partir do MDE, gerou-se a rede hidrográfica por meio de extração automática com rotinas específicas do software ArcGis 10.2®. Por fim, foi realizado um ajuste visual entre as drenagens extraídas pelo modelo e os canais de drenagem vistos na imagem. Para identificação das APPs em conflito de uso e as atividades envolvidas na pesquisa foram divididas em três etapas principais, conforme exibido na Figura 2.

A delimitação das APPs atendeu rigorosamente ao Código Florestal (BRASIL, 2012a). Entretanto, não foi aplicado o critério de áreas consolidadas em APPs. Esse critério não foi avaliado em razão das dificuldades na obtenção de todos os limites detalhados das áreas dos imóveis presentes no território de Jiquiriçá.

O Código Florestal estabelece diversas categorias de APPs e define os limites da faixa marginal de proteção aos cursos d'água na qual a vegetação deve ser preservada (30 metros para os rios de até 10 metros de largura. As áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 metros; áreas de encosta com declividade acima de 100%) (BRASIL, 2012c). Dessa forma, foram feitos delineamentos das APPs em torno das nascentes, rios e áreas de encostas com declividade superiores a 100%.

Figura 2. Organograma esquemático dos procedimentos metodológicos utilizados.



Fonte: Camila Piqui Guerra (2017).

Nesta etapa foi elaborado o mapa de ocupação e uso do solo, a partir da classificação supervisionada da imagem do sensor *RapidEye*. As amostras de treinamento, Mata Nativa, Solo Exposto, Água, Área Urbana, Pastagem e Agricultura, foram obtidas com base em observação de campo e posteriormente delimitadas nas imagens. Para a confecção dos mapas de ocupação e uso do solo foi classificado pelo método Máximaverossimilhança (MaxVer) do ArcGIS10.2.

Para avaliar a acurácia dos mapas gerados pelo método utilizado foi realizada análise estatística através do índice Kappa, que relacionam as ocorrências de cada classe com pontos de referência, gerando uma matriz de erros. Essa matriz considera a proporção de amostras corretamente classificadas, correspondentes à razão entre a soma da diagonal principal da matriz (amostras corretamente classificadas) e a soma de todos os elementos dessa matriz (número

total da amostra), tendo como referência o número total de classes (MOREIRA, 2001). O Índice Kappa varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1 melhor é a acurácia.

Os conflitos de uso do solo nas APPs foram obtidos com a sobreposição do mapa total de APPs delimitadas e com o mapa de uso e ocupação do solo gerado a partir da imagem do satélite *RapidEye*. Após a sobreposição dos mapas, foram mensuradas as áreas correspondentes a cada classe, assim como os percentuais de uso em APPs por meio de cálculos de área. Os conflitos de uso considerados neste trabalho se referem a qualquer tipo de uso antrópico identificado nos limites das áreas que deveriam ser destinadas à preservação permanente.

Resultados e discussão

Uso e ocupação

Como pode ser observado na Tabela 1 a pastagem é o uso predominante no município de Jiquiriçá, Bahia, representando 54,37% do uso e ocupação total, seguido pela floresta com 32,51%. Esses valores correspondem a mais de 80% da área total do município. Por meio da matriz de erros calculada para o índice Kappa da imagem classificada apresentou acerto de 0,94 cujo valor é considerado como excelente.

Apesar de ainda existir área representativa de floresta no município, pode-se notar que os polígonos de remanescentes florestais, seja mata nativa (bioma Mata Atlântica) ou exótica, identificados em Jiquiriçá encontram-se bem dispersos e isolados, o que dificulta a conservação ambiental desses remanescentes (Figura 3a). A maior parte dos polígonos das áreas de floresta destaca-se na porção sul do município, mais distante do centro urbano do município. Tabarelli *et al.* (2012) ao estudar a conversão da Mata Atlântica em paisagens antrópicas, destacam que a degradação das APPs acarreta na fragmentação florestal, resultando em uma paisagem onde os remanescentes

florestais encontram-se rodeados por culturas agrícolas e pastagens. Este cenário é semelhante ao que ocorre no município de Jiquiriçá, que de modo geral, há pequenos mosaicos de fragmentos florestais dispersos na paisagem, acarretando na baixa capacidade de prover serviços ecossistêmicos importantes à fauna e à flora. De acordo com os valores apresentados pelo SOS Mata Atlântica (2017), os desmatamentos identificados no estado da Bahia entres os anos de 2013 – 2014 foram de 3.997 ha, elevando esse nível de desmatamento para 12.288 ha apenas no período entre 2015 – 2016.

Tabela 1. Quantificação da área ocupada por cada classe de uso e ocupação do solo no município de Jiquiriçá no ano de 2015.

Classes de Uso e Ocupação do Solo	Área	
	(km ²)	(%)
Floresta	77,79	32,51
Pastagem	130,06	54,37
Agricultura	14,55	6,10
Corpos D'água	0,96	0,40
Solo Exposto	14,83	6,20
Área Urbana	1,02	0,42
Total	239,21	100

Fonte: Camila Piqui Guerra (2017).

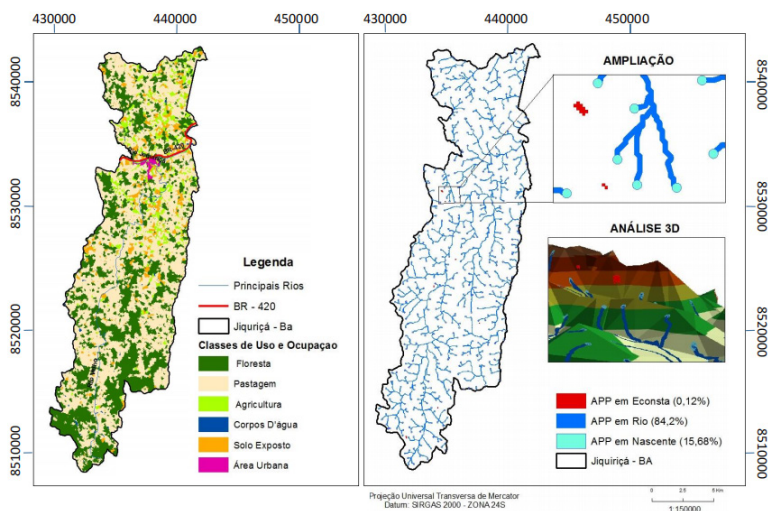
A classe de solo exposto tem a terceira maior contribuição de uso dentro da área total do município, representado por 6,20% da área total. Cabe destacar que o solo exposto está diretamente relacionado à classe do uso da agricultura em período de entressafas. A atividade agrícola, comparada a pastagem, ainda é pouco significativa, compondo apenas 6,10% do município.

No que tange a classe de corpos d'água, esta corresponde 0,40% da área total, que são compostas por cachoeiras, lagoas artificiais e represas distribuídas por todo município. Em relação área urbana, esta perfaz um total de 1,0 km² da área do município.

Áreas de preservação permanentes

O município de Jiquiriçá possui uma APP total de 25,3 km² de um total de 239,2 km² da área do município, representando 10,57% de áreas a serem legalmente protegidas (Figura 4b). Na Figura 4a é apresentada a distribuição das classes de uso e ocupação do solo no município de Jiquiriçá.

Figura 3. a) Mapa de uso e ocupação do solo. b) APPs do município de Jiquiriçá – BA.



Fonte: Camila Piqui Guerra (2017).

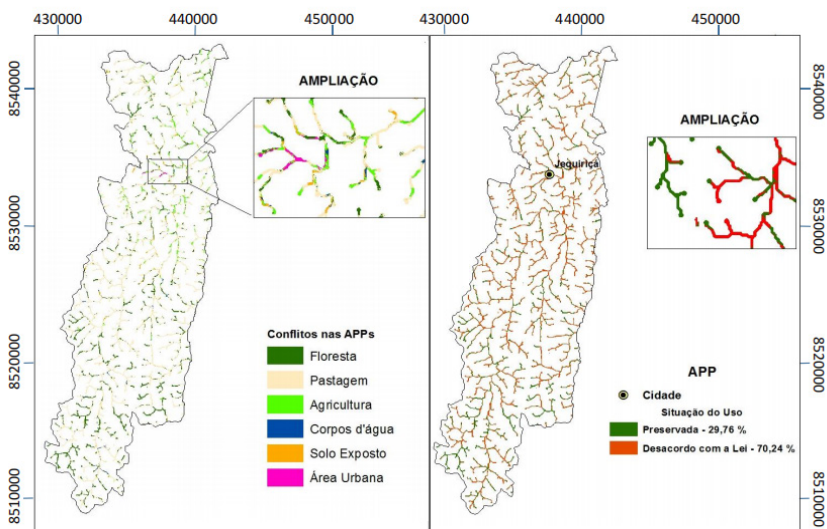
As APPs nas margens dos rios destacaram-se em área de abrangência em relação às demais. Essa categoria de APP apresenta 9,83% de todo o município. Eugênio *et al.* (2011), consideram que as APPs em rios asseguram a manutenção do equilíbrio ambiental nas margens, uma vez que, tem uma grande importância vital no controle da erosão do solo, impedindo o deslocamento de sedimentos como: resíduos sólidos, nutrientes e produtos químicos, que se localizam nas partes mais altas do terreno, para o leito dos rios.

Para as APPs em nascente, estas apresentaram a segunda maior proporção, cerca de 1,65% da área total do município. As nascentes são

regiões de grande influência para toda a extensão dos rios presentes no município, pois nelas devem ser asseguradas elevado grau de conservação e preservação ambiental, além de serem bastante sensíveis às alterações do uso inadequado do solo em torno da sua área. Conforme verificado por Marmontel e Rodrigues (2013), um dos principais destaques que se deve ter em relação às nascentes é que quando preservadas têm a finalidade de manter a proteção do solo e qualidade da água, demonstrando que as conservações da mata ciliar no entorno das nascentes auxiliam de forma quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos de uma região. De acordo com Carvalho *et al.* (2012), a recarga do sistema freático é responsável pela formação das nascentes e, conseqüentemente, dos rios, sendo a sobrevivência destes somente possível por meio de um ciclo hidrológico equilibrado, bem como por um solo preservado que assegure a reposição de água do lençol freático.

Conflitos nas APPs

Os conflitos de uso são determinados pelas ocupações inadequadas do solo dentro das áreas legalmente protegidas. Os usos com pastagens, solo exposto, agricultura e área urbana são considerados "conflito de uso dentro da APP", sendo as florestas naturais e os corpos d'água consideradas uso regular dentro das APPs. Na Tabela 2 e Figura 4, são apresentados os respectivos resultados de conflitos de uso e cobertura do solo encontrados nas APPs mapeadas no município de Jiquiriçá.

Figura 4. Conflito de uso da terra nas APPs do município de Jiquiriçá, BA.

Fonte: Camila Piqui Guerra (2017).

As classes de pastagem e agricultura ocuparam as maiores áreas de APPs, somando mais de 66,55%. Menos de um terço das APPs estão com cobertura de Floresta, o que demonstra uma expressiva consolidação destas áreas. Em relação ao conflito causado pela ocupação da área urbana ao longo das margens de rios e em torno das nascentes, estas classes de uso apresentam 0,64%. Isso se dá pelo curso do Rio Jiquiriçá que atravessa a área urbana do município.

A situação apresentada é preocupante, especialmente, por ocuparem áreas destinadas à preservação. Segundo Rodrigues *et al.* (2013), as APPs nas margens dos rios conservam a estabilidade do regime fluvial. Desta forma, o aumento de solo exposto causada pela remoção da cobertura vegetal pode causar a compactação, que contribui para a diminuição da porosidade e da permeabilidade do solo, provocando a diminuição da vida aquática e, por conseguinte o assoreamento dos corpos d'água locais (FIGUR e REIS, 2017).

Tabela 2. Quantificação da ocorrência de uso do solo nas categorias das áreas de preservação permanente delimitadas no município de Jiquiriçá - BA.

Classe	Nascentes		Rios		Total	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Floresta	1,37	34,72	5,72	26,87	7,10	28,09
Pastagem	2,18	55,13	12,63	59,29	14,83	58,63
Agricultura	0,24	5,95	1,77	8,30	2,004	7,92
Corpos D'água	0,03	0,73	0,39	1,86	0,42	1,80
Solo Exposto	0,14	3,43	0,69	3,28	0,83	3,30
Área Urbana	0,008	0,20	0,09	0,44	0,10	0,40

Fonte: Camila Piqui Guerra (2017).

Considerando as APPs do município de Jiquiriçá e os conflitos identificados de uso inadequado do solo nessas áreas, foi possível quantificar o total de APPs que se encontram preservadas e em desacordo com o Código Florestal vigente, mostrados na Tabela 3. Cerca de 70 % das APPs mapeadas estão em conflito (áreas consolidadas) com as recomendações do Código Florestal. O uso de atividades agrícolas e pecuária estende-se até próximo às margens de rios e nascentes, o que afeta significativamente a conservação das APPs.

Quanto à distribuição espacial das APPs preservadas e aquelas em desacordo com a lei, percebe-se que os conflitos entre legislação e uso do solo estão presentes em quase todo o território do município. Somente as áreas que se encontram com altitudes mais elevadas, ou seja, no extremo Sul do município que predominam a maior presença de fragmentos florestais e conseqüentemente a conservação das áreas protegidas.

Tabela 3. APPs com uso regular e em conflito com o Código Florestal.

APPs	(%)	(km ²)
Uso regular	29,76	7,53
Conflito de uso	70,24	17,77
Total	100,00	25,30

Fonte: Camila Piqui Guerra (2017).

A Figura 5 apresenta exemplo de locais de uso e ocupação localizados nas margens do Rio Jiquiriçá e do Rio Velho. Pode-se notar a expansão urbana presente nas margens do rio, com residências expostas a áreas de risco (Figura 5a), presença de solo exposto por uso excessivo da área (Figura 5b). Pastagem localizada próximo à na zona rural do município com presença de animais ao longo dos rios (Figura 5c e d).

Figura 5. Estado de degradação das APPs em rios: (a e b) Expansão Urbana e solo exposto nas margens do Rio Jiquiriçá; (c e d) Presença de pastagem nas margens do Rio Velho.



Fonte: Camila Piqui Guerra (2017).

Portanto, existem nessas áreas residências urbanas, pastagem e solo exposto a menos de 30 metros das margens dos rios, locais destinados à preservação permanente. Dessa forma, as consequências desse processo são a diminuição e capacidade de infiltração de água no solo e o favorecimento ao escoamento superficial, provocando assoreamento e degradação desse recurso hídrico. Além de interferir diretamente na qualidade de vida da população.

Durante as observações em campo pode-se verificar muitas áreas de pasto com a presença de animais em áreas das matas ciliares, afetando diretamente a perda da cobertura vegetal. Sobre o uso nas APPs de nascentes, a legislação define que essas áreas devem

possuir no mínimo um raio de 50 metros destinada à preservação. Foi registrada uma nascente em uma propriedade rural intensamente antropizada e com a ausência da mata ciliar no seu perímetro. A retirada da mata ciliar, presente nas nascentes, causa vários problemas relacionados ao abastecimento de água para a população, pois a vegetação desempenha uma grande função sobre o curso d'água e seu suprimento pode causar desequilíbrio ambiental e aferir mudanças no volume de água fornecida (FIGUR e REIS, 2017). Garcia *et al.* (2015) afirmam que apesar da importância que possuem as matas ciliares e de serem preservadas por lei, essa vegetação vêm sendo alvo das atividades antrópicas, diante dos interesses conflitantes de uso e ocupação do solo, ocasionando a sua supressão ao longo dos cursos d'água. Em relação às APPs de encosta (declividade acima de 100%), não foi possível registrar o uso existente nesses locais devido às características de relevo que essas áreas possuem, limitando o acesso.

Destaca-se ainda os impactos causados pelas atividades turísticas no município, que é uma das mais importantes destinações turísticas da Região do Vale de Jiquiriçá, devido a presença de diversas cachoeiras que servem de atrativo à população (Figura 6a e b). Devido a pressão turística foram construídos em vários locais ao longo do rio Jiquiriçá estabelecimentos de lazer, o que provocou intensificação de desmatamento e alteração da paisagem natural.

Figura 6. Cachoeira dos Amores (a) e Cachoeira dos Prazeres (b).



Fonte: Camila Piqui Guerra (2017).

O Ministério Público da Bahia (MPB) interditou a Cachoeira dos Prazeres, pois apontou diversas irregularidades de usos instalados nas margens dos rios, que são áreas protegidas por lei e devem ser mantidas intactas. Além disso, o MPB exigiu da prefeitura de Jiquiriçá a construção do PRAD (Programa de Recuperação de Áreas Degradadas) com um prazo definido.

Por outro lado, existem algumas áreas que se encontram de acordo com a legislação ambiental. A Figura 9 apresenta fotos de pequenos fragmentos florestais (vegetação nativa e exótica) ao longo dos rios, nascentes e cachoeiras que estão cumprindo integralmente com os limites determinados pela legislação ambiental, ou seja, áreas protegidas. Fazendo uma comparação com as APPs dos cursos de água do município em estudo, que se encontram em situação de conflito de uso e as que estão preservadas é evidente a diferença no que diz respeito à largura e manutenção dos recursos hídricos. De fato, isso é devido a presença da vegetação natural no entorno dessas áreas, exemplificado nas fotos.

Os proprietários de imóveis rurais que possuem áreas consolidadas, conforme as alterações do Código Florestal (BRASIL, 2012b), não serão mais obrigados a recompor toda sua extensão, e sim apenas uma faixa marginal que varia de acordo com o tamanho da propriedade (Módulo Rural). Siqueira et al. (2016) afirmam que a redução da metragem da APPs entre cinco e vinte metros marginais previstas na atual política de proteção da vegetação nativa podem trazer alterações na estrutura e funcionamento dessas áreas existentes no Brasil, além de perdas significativas de espécies e indivíduos, fazendo com as APPs deixem de cumprir as funções ambientais previstas na legislação.

O CAR é um instrumento eficiente para sistematização da regularização ambiental. Dessa forma, as propriedades rurais no município de Jiquiriçá deverão ser adequadas ambientalmente, respeitando os

pressupostos do Código Florestal com fins de restabelecer de forma sustentável as funções ecológicas principalmente das APPs de rios e nascentes sem, contudo, impactar significativamente nos sistemas de produção agropecuário já estabelecido.

Conclusões

As APPS do município de Jiquiriçá estão em estado de degradação bem avançado. Menos de um terço das APPs possuem cobertura florestal preservadas. A maior parte das APPs está caracterizada como consolidada segundo o Código Florestal (Lei n°. 12.651). As classes Pastagem e Floresta foram as de maiores ocorrências.

Entretanto, a classe de Área Urbana apresentou a menor ocorrência de uso indevido. Também foi quantificado que do total das APP, estão em desacordo com a legislação ambiental.

Destaca-se a importância de políticas públicas por meio de instrumentos do CAR para promover a adequação ambiental das propriedades agrícolas do município. Adequação ambiental, somado às ações de educação ambiental para mitigar progressivamente impactos sobre os remanescentes de vegetação e restabelecer as funções ambientais dos recursos naturais da região. Desta forma garantindo sustentabilidade aos sistemas de produção agropecuário estabelecidos e melhorias das condições ambientais e qualidade de vida às populações do município.

Referências

BRASILa. **Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 18 jul. 2017.

BRASILb. **Código Florestal (Lei Federal nº 12.727)**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 18 jul. 2017.

BRASILc. **DECRETO Nº 7.830 de 17 de outubro de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 18 jul. 2017.

CARVALHO, A. P. V.; BRUMATTI, D. V.; DIAS, H. C. T. D. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa – MG, v. 2, n. 2, p. 148-156, dez., 2012.

EUGENIO, F.C. *et al.* Identificação de áreas de preservação permanente no município de Alegre utilizando geotecnologia. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 563-571, out./dez., 2011.

FIGUR, C.; REIS, T. J. A influência do uso e cobertura da terra nos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Abaúna, em Getúlio Vargas. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 39, n.2, p. 352 – 365, maio/ago., 2017.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA – SOS Mata Atlântica. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2015-2016.** São Paulo, 69 p. 2017.

GARCIA, Y. M. *et al.* Caracterização de conflitos de uso do solo em apps na bacia hidrográfica do córrego barra seca (Pederneiras/SP). **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30 n. 1, 68-73, jan./mar., 2015.

IBGE. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2016.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa>. Acesso em: 16 de agosto 2017.

IBGE. **Produção Extrativa Vegetal.** 2012. <http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 30 jul. 2017.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio formiga, Tocantins. **Revista Eletrônica de Geografia**, Uberlândia, v.4, n.12, p. 90-106, dez., 2012.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra

e conservação da vegetação ciliar. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 2, p. 171-181, abr./jun., 2015.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2001.

RODRIGUES, C. T. A. *et al.* Conflito do Uso da Terra nas Áreas de Preservação Permanente da Bacia do Rio Pajeú. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 3, n. 3, p. 71-80, set., 2013.

SANTOS, W. A. *et al.* Conflito de uso da terra em áreas de preservação permanentes da bacia do rio Piauitinga, Sergipe, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 60, n. 1, p. 19-24, jan./mar., 2017.

SEI - **SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA**. Perfil socioeconômico do município de Jiquiriçá. Abril, 2016. Disponível em <https://www.sei.ba.gov.br/> acesso em: 18 jul. 2017.

SIQUEIRA, M. N. *et al.* Ecological aspects related to ligneous vegetation in the permanent preservation areas of Mineiros, Goiás, in light of the new native vegetation protection policy - Law 12.651/2012. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 40, n.4, p.581, jul./ago., 2016.

TABARELLI, M. A conversação da floresta atlântica em paisagens antrópicas: lições para a conservação da diversidade biológica das florestas tropicais. **Interciência**. Caracas - Venezuela, v. 37, n. 2, p. 88-92, fev., 2012.

U.S.G.S. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.html. Acesso em: 23 junho 2017.

Perda de solos em microbacia

Laiana dos Santos Trindade

Everton Luís Poelking

Raissa Homem Gonçalves

Taline Borges Ribeiro

Introdução

O processo histórico de ocupação do território brasileiro compreende a substituição gradual da cobertura vegetal nativa por atividades agropecuárias, constantemente baseadas na exploração excessiva dos recursos naturais. Tal processo foi responsável por diversos problemas ambientais, principalmente a intensificação da perda de solo pela erosão hídrica. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), o uso antrópico intensifica o processo de erosão do solo, visto que altera as condições naturais do ambiente e as propriedades do solo tornando-os compactado, impedindo a infiltração da água e, conseqüentemente aumentando o escoamento superficial.

A adequação do uso e ocupação do solo são considerados os principais fatores responsáveis pela conservação das bacias hidrográficas. Os métodos de avaliação de impactos ambientais, as práticas de conservação e as perdas de solos têm sido extensamente utilizados como subsídios no planejamento ambiental. Uma parte do planejamento do controle da erosão é a quantificação da perda de solo pelo processo, o que infere uma função importante tanto para a identificação de áreas críticas quanto para o planejamento conservacionista.

Erosão hídrica

A erosão é um processo natural de desprendimento e transporte das partículas do solo, porém, a ação antrópica vem sendo responsável

por destruir o equilíbrio das condições naturais e conseqüentemente acelera o processo de erosão (CARVALHO *et al.*, 2006).

A erosão hídrica envolve uma seqüência de transferências de matéria e energia, desde a energia cinética da gota da chuva ao cair, até o impacto desta ao encontrar o solo. A gota de chuva exerce um papel desagregador, que através do impacto desestrutura, desagrega e assim desprende as partículas do solo para o transporte (CARVALHO *et al.*, 2009).

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), a erosão hídrica é resultante da combinação dos fatores, topografia, regime de chuva, tipo de solo e manejo do solo e práticas conservacionistas de suporte. Quando alguns desses fatores sofrem alguma intervenção antrópica, ocorre um desequilíbrio de outros mecanismos que atuam integrados, e são responsáveis pelo processo erosivo de uma bacia hidrográfica.

Dentre os principais fatores que afetam a erosão hídrica destacam-se: a erosividade da chuva, definida pela sua intensidade; erodibilidade do solo, quantificada pelas características físicas e químicas do solo; comprimento de rampa e declividade; e a cobertura vegetal, através da sua maior ou menor proteção do solo.

Para Mutchler, Murphere e McGregor (1988), determinar as áreas com alto potencial à erosão auxilia no planejamento da ocupação do solo a fim de prevenir, desacelerar ou evitar este processo. Diversos modelos foram criados com o objetivo de estimar o potencial erosivo de uma bacia, dentre eles destaca-se a Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS). A EUPS é um modelo empírico proposta por Wischmeier e Smith (1978) com o objetivo de estimar as taxas de perda de solo por erosão.

Modelo da EUPS e SIG

A modelagem da erosão é uma ferramenta eficaz na avaliação de estratégias a serem adotadas no controle da degradação dos solos, sendo uma forma de descrever matematicamente o processo de destacamento, transporte e deposição das partículas do solo (CABRAL *et al.*, 2010).

Segundo Cabral *et al.* (2010), podem ser empregados diferentes modelos na estimativa dos processos erosivos, com o objetivo de quantificar as perdas de solo por erosão ou afim de realizar uma avaliação qualitativa no comportamento erosivo de uma área de interesse. Dentre os diferentes modelos matemáticos, a EUPS é a mais conhecida e utilizada na estimativa de erosão. Esse modelo foi desenvolvido no *National Runoff and Soil Loss Data Center* (Purdue University, Estados Unidos) em 1954 e organizada por Wischmeier e Smith (1978), suas variáveis são: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, fatores topográficos (comprimento de rampa e declividade do relevo) e uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas.

De acordo com Oliveira, Saraphim e Borja (2015), o fator erodibilidade está diretamente relacionado às propriedades referentes ao solo que afetam a sua susceptibilidade à erosão, ou seja, a facilidade no qual as partículas do solo são deslocadas pelo impacto direto das gotas de chuva. As diferentes propriedades químicas e físicas referentes a cada tipo de solo, como: textura, teor de matéria orgânica, granulometria, grau de permeabilidade, densidade e outras propriedades biológicas e mineralógicas dos solos, determinarão os valores de erodibilidade causada pela água (SILVA *et al.*, 2007; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Os fatores topográficos são a combinação do comprimento de rampa (L) e a declividade (S), esses fatores influenciam a modificação da ação erosiva exercida pela água das chuvas sobre os solos. A intensidade da erosão hídrica é grandemente afetada por esses fatores diante que com o aumento do comprimento de rampa e da declividade, acelera o processo erosivo, pois aumenta o volume de água que escoar através de uma seção transversal à vertente e, conseqüentemente, aumenta a capacidade de remoção dos materiais em suspensão (WISCHMEIER, SMITH, 1978).

A cobertura vegetal diminui a quantidade de energia cinética que chega ao solo durante a chuva e, além disso, ela também reduz os processos erosivos nas formas de escoamento das enxurradas aumentando a capacidade e o tempo de infiltração da água das chuvas. Os fatores uso e manejo do solo (C) e as práticas conservacionistas (P)

infere a influência da cobertura vegetal na determinação das perdas de solo por erosão laminar em áreas cultivadas. O fator P atua nas perdas e nos processos erosivos e variam conforme o tipo de cultura agrícola, enquanto o fator C é a relação entre as perdas correspondentes de um solo mantido descoberto e as perdas de solos de uma área cultivada em determinado manejo (STEIN et al., 1987).

Estudos baseados em metodologias de conservação do solo utilizando SIG têm sido realizados. Silva et al. (2007) utilizaram o SIG na avaliação espacial e temporal de perdas de solo. Albuquerque et al. (2002) também associaram o uso da EUPS com o SIG para determinar as perdas de solo no município de Sumé na Paraíba. Oliveira, Saraphim e Borja (2015) estimaram de forma efetiva as perdas de solo e do Potencial Natural de Erosão da bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do Lageado em Botucatu, no estado de São Paulo, através do SIG.

As técnicas de geoprocessamento implantadas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) são importantes na avaliação e planejamento do uso e degradação do solo. O SIG permite a execução da estimativa de perdas de solos por erosão, a simulação de degradação do solo e classificação das terras de acordo com a capacidade de uso (OLIVEIRA et al., 2015). A EUPS quando compilada através do SIG, possibilita a avaliação da perda de solo por erosão hídrica e contextualiza os resultados obtidos em função do uso e ocupação das terras.

Diante do exposto, o estudo da erosão é um fator importante para prever o potencial de erosão, e com isso direcionar a atividade humana e o uso sustentável. Portanto, este capítulo objetivou estimar o modelo da (EUPS) na microbacia do Rio da Dona (BA), para determinar as perdas de solo.

Material e métodos

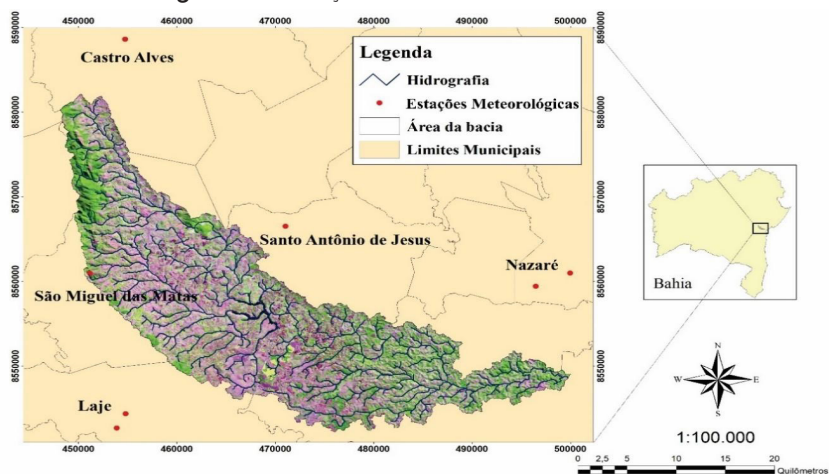
A microbacia do Rio da Dona está situada na Região Econômica do Recôncavo Sul do Estado da Bahia (Figura 1). A área apresenta uma

diversidade de aspectos culturais, ambientais, sociais e econômico no entorno das margens do seu curso. A microbacia abrange uma área aproximadamente de 668 km², com curso principal do Rio da Dona de 116,23 km de extensão. Suas principais nascentes estão localizadas no alto curso do rio, com uma altitude de aproximadamente de 600 metros, na Serra da Jiboia, Município de Varzedo e desagua diretamente no Oceano Atlântico.

Segundo a EMBRAPA (2011), podem ser encontrados os seguintes solos na microbacia: Espodossolo Ferrihumilúvico hidromórfico, Latossolo Amarelo distrófico (solo predominante na microbacia), Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e Planossolo Eutrófico. Sua geomorfologia é predominantemente de depressões e patamares, com vegetação predominante de floresta ombrófila densa, inserida no bioma Mata Atlântica (IBGE, 2006).

Conforme a classificação climática de Köppen, a microbacia apresenta dois tipos de clima: Aw (tropical subúmido com chuvas de verão) e Af (tropical chuvoso de floresta sem estação seca). Com base nos dados do site do ANA (2018) as médias de precipitação bem distribuídas o ano todo (precipitação anual variando entre 897 mm e 1809 mm).

Figura 1. Localização da Microbacia do Rio da Dona.



Fonte: Laiana dos Santos Trindade (2018).

Perdas de solos

Erosividade Fator R

O fator R é um índice que representa a capacidade da chuva e enxurrada provocar erosão em uma área desprotegida e é representada pelo produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em trinta minutos (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Diante da ausência de dados de intensidade de chuva (EI), foi utilizada a equação proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) para o cálculo do EI (Equação 1).

$$R = \Sigma EI = 67,355 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,850} \quad R = \Sigma EI = 67,355 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,850}$$

Equação 1

onde: R = erosividade da chuva, EI = erosividade média mensal (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹),

r = precipitação média mensal (mm), P = precipitação média anual (mm).

Pelo somatório de cada chuva, se obteve o valor mensal e pelo somatório dos valores mensais os valores anuais. Foi utilizada uma série histórica de 30 anos de registros de chuvas, dado que quanto maior a série histórica mais correta é a informação.

Esses dados foram compilados no *software* Excel 2016, calculando as precipitações médias e mensais e assim determinando os valores da erosividade da área em estudo utilizando a Equação 1. Posteriormente os dados foram interpolados no *software* ArcGIS 10.2®, com a extensão *Spatial Analyst* gerando uma superfície *raster* representando assim os valores do fator R.

Erodibilidade Fator K

Para determinar as propriedades de cada tipo de solo foram utilizados os dados descritos por Bernal (2016), em que foi realizado

um estudo com a Região Hidrográfica do Atlântico Leste, na qual a Microbacia do Rio da Dona está inserida, utilizando a equação proposta por Denardin (1990) ($\text{Equa}\mathcal{C}S = 10,8 \text{ sen } \theta + 0,03 \text{ paratan tan } \theta < 0,09$

$$K = 0,00608397 (x_1) + 0,00834286 (x_2) - 0,00116162 (x_3) - 0,00037756 (x_4)$$

$$K = 0,00608397 (x_1) + 0,00834286 (x_2) \text{ para } \mathcal{C}S = 16,8 \text{ sen } \theta - 0,50 \text{ paratan tan } \theta \geq 0,09$$

Equação 2

onde: K = erodibilidade do solo (Mg.ha.ha-1.MJ-1.mm-1), x_1 = código de permeabilidade do solo, proposta por Denardin (1990), x_2 = teor de matéria orgânica (% carbono orgânico x 1,72), valor expresso em porcentagem, x_3 = teor de óxido de alumínio extraíveis pelo ataque ácido sulfúrico, valor expresso em porcentagem, x_4 = teor de partículas com diâmetro em 2,0 a 0,5 mm, valor expresso em porcentagem.

O Mapa de Solos do Brasil (EMBRAPA, 2011), na escala de 1:5 milhões, foi adaptado e recalculado para o fator K utilizando a equação 2 (Figura 2c).

Fatores topográficos

O MDE utilizado neste trabalho é de origem da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), obtidos do site *United States Geological Survey* (USGS, 2018), com informações originais disponíveis para a América do Sul, referente a banda c e resolução espacial de 1 arc-segundo (resolução espacial de 30 m). Para obter o fator LS, primeiramente foi calculado o L, através da equação proposta por Desmet e Govers (1996) (Equação 3), no qual desenvolveu essa equação a partir da metodologia de Foster e Wischmeier (1974).

$$L_{ij} = \frac{\left[(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1} \right]}{\left[D^{m+2} * X_{ij}^m (22,13)^m \right]}$$

$$L_{ij} = \frac{\left[(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1} \right]}{\left[D^{m+2} * X_{ij}^m (22,13)^m \right]}$$

Equação 3

onde: L_{ij} = comprimento de rampa, A_{ij} = área de contribuição da célula com coordenada (i,j) em m², D = tamanho da célula (m), m = expoente da função da declividade da célula com coordenadas (i,j), X = coeficiente da função do aspecto da direção da quadrícula da célula com coordenadas (i,j).

Para o cálculo da constante "m" empregou a metodologia de Foster *et al.* (1977), através da equação:

$$m = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \qquad m = \frac{\beta}{(1 + \beta)}$$

Equação 4

onde: β = Razão entre erosão por sulco e a erosão entre sulcos.

O cálculo da constante " β " foi utilizada a equação proposta por McCool *et al.* (1989), que computou os valores para as condições em que o solo é moderadamente susceptível tanto para erosão entre sulcos quanto em sulcos, cuja a expressão é:

$$\beta = \frac{\left(\frac{\text{sen}\theta}{0,0896} \right)}{\left[3 * (\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,56 \right]} \qquad \beta = \frac{\left(\frac{\text{sen}\theta}{0,0896} \right)}{\left[3 * (\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,56 \right]}$$

Equação 5

onde: θ = Declividade da encosta, em graus.

Para determinar o fator S foi empregada a metodologia proposta por McCool *et al.* (1997) pelas equações 6 e 7.

$$S = 10,8 \operatorname{sen} \theta + 0,03 \operatorname{paratan} \theta < 0,09$$

Equação 6

$$S = 16,8 \operatorname{sen} \theta - 0,50 \operatorname{paratan} \theta \geq 0,09$$

Equação 7

Utilizando-se as equações 4 e 5 e as outras variáveis da Equação 3 obteve-se o mapa do fator de comprimento de rampa (L), pela metodologia de Desmet e Govers (1996), enquanto o mapa do fator de declividade (S), foi obtido pela equação McCool *et al.* (1997), e o mapa do fator LS, foi o resultado da multiplicação do fator L e S.

Uso e práticas conservacionistas

Para obtenção dos fatores C e P, foi realizado um mapeamento do uso da terra da área em estudo. O mapa de uso da terra foi elaborado a partir de imagens de alta resolução do TM- Landsat 8, do dia 16 de junho 2016, que foram obtidas de forma gratuita no *site* do *United States Geological Survey* (USGS, 2018). Foi realizada uma classificação supervisionada pelo método de Máxima verossimilhança (MAXVER), em que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes e o pixel, utilizando parâmetros estatísticos. As imagens do Landsat foram classificadas em cinco classes de uso da terra: Mata Atlântica, Agricultura, Solo Exposto, Pastagem e Corpos de água.

Após esse procedimento o mapa de uso da terra foi reclassificado de acordo com a metodologia proposta por Stein *et al.* (1987), que atribui categorias aos diversos usos da terra e avalia os dois fatores conjuntamente. Foi considerado o valor de P=1, devido à impossibilidade de verificação das práticas conservacionistas na área em estudo.

Perdas de solos

A EUPS (Equação 8), foi adotada para estimar a perda de solo da microbacia hidrográfica em estudo. EUPS é uma formulação empírica, que foi proposta por Weischmeier e Smith (1978), que tem o objetivo de auxiliar na estimativa de perda anual de solo que é ocasionada por erosão.

$$A = R * K * L * S * C * P$$

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Equação 8

onde: A = Perda de solo (Mg.ha⁻¹.ano⁻¹), R = fator erosividade da chuva (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹);

K = fator erodibilidade do solo (Mq.h.MJ⁻¹.mm⁻¹), L = fator comprimento de rampa (adimensional), S = fator declividade (adimensional), C = fator uso e manejo (adimensional), P = fator prática conservacionista (adimensional).

Para a classificação do grau de erosão hídrica, foi utilizada a classificação sugerida por Riquier (1982), em que os valores foram classificados em quatro classes, variando de nulo a muito forte, sendo que as classes de forte e muito forte são os valores acima dos limites toleráveis, caracterizando áreas susceptíveis à forte erosão ou áreas induzidas por deslizamentos e voçorocas (BERNAL, 2016).

Resultados e discussão

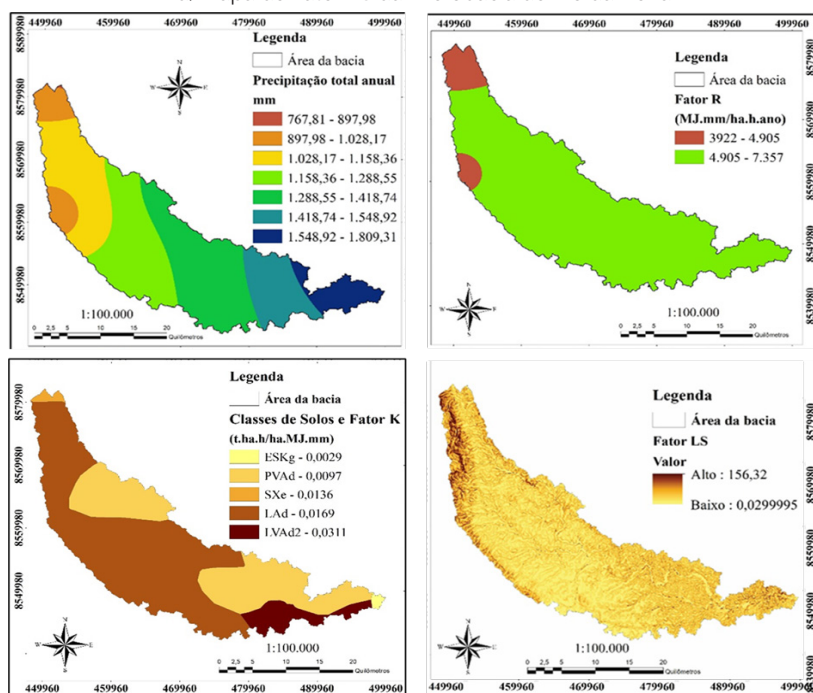
A Tabela 1 e a Figura 2a apresentam a distribuição da precipitação total anual e o índice de erosividade da chuva para a bacia em estudo. O índice de erosividade varia de 3.383,5 a 7.074,5 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, a precipitação da área de estudo é semelhante ao encontrado por Bernal (2016), para região Hidrográfica do Atlântico Leste, na qual a microbacia está inserida.

Tabela 1. Dados pluviométricos utilizados na avaliação do Fator R.

Código	Estação/Município	Média anual	R - Erosividade
1239002	Castro Alves	728,6	3383,5
1239022	Santo Antônio de Jesus	1078,9	4658,5
1239023	Santo Antônio de Jesus	1381,8	5724,6
1239026	Castro Alves (VFFLB)	767,8	3921,6
1339024	São Miguel das Matas (EFN)	986,0	4837,9
1339029	Laje	1333,0	5684,8
1339034	Nazaré	1649,1	7074,5
1339036	Laje	1163,2	5356,2

Fonte: Laiana dos Santos Trindade (2018).

Figura 2. a) Mapa de Precipitação. b) Mapa do Fator R. c) Mapa de Classes de Solos e Fator K. d) Mapa do Fator LS da Microbacia do Rio da Dona.



Fonte: Laiana dos Santos Trindade (2018).

Os maiores índices de erosividade média a forte, predominam ao longo da microbacia enquanto erosividade média estão localizados

no alto curso da microbacia, em dois locais em que há maior e menor índice pluviométrico. Cabral *et al.* (2010), observam que em locais com maiores índices de erosividade, também há maior perda de solos, devido ao escoamento superficial ser maior, e, além disso, locais sem cobertura do solo também vão apresentar maiores índices de escoamento superficial, e com isso uma maior perda de solo.

De acordo com a classificação de Carvalho (2008), apresentada na Tabela 2, foram enquadradas apenas duas classes, com predomínio de erosividade média a forte. Valores de erosividade média a forte ocorrem devido às características da região de Mata Atlântica, em que a pluviosidade é alta ao longo de todo o ano. Portanto a erosividade da chuva é um fator bastante importante para o cálculo final da estimativa de perdas de solos para esta região.

Tabela 2. Classes do fator R conforme Carvalho (2008).

Erosividade (MJ.mm.ha-1.h-1.ano-1)	Classe de Erosividade	Área (ha)	Área (%)
R < 2452	Erosividade fraca	0,00	0,0
2452 < R < 4905	Erosividade média	4.983,57	7,5
4905 < R < 7357	Erosividade média a forte	61.786,98	92,5
7357 < R < 9810	Erosividade forte	0,00	0,0
R > 9810	Erosividade muito forte	0,00	0,0

Fonte: Laiana dos Santos Trindade (2018).

Tabela 3. Índice de erodibilidade do solo para a respectiva área ocupada na microbacia em estudo.

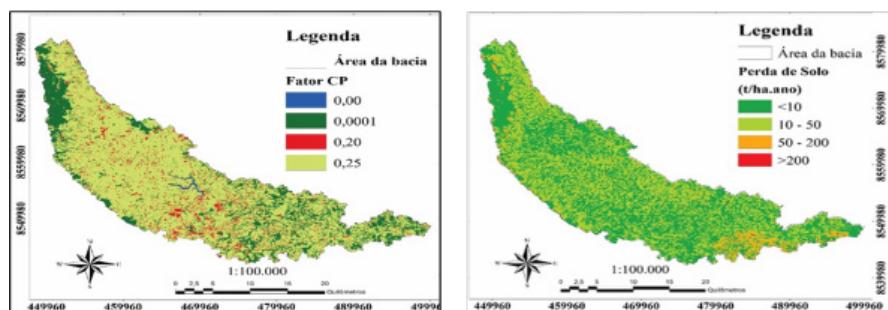
Solo	Descrição do Solo	Área (ha)	Área (%)	Fator K (Mg.ha.h.ha-1.MJ.mm)	Nível
PVAd	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	21.934,0	32,8	0,0097	Baixo
ESKg	Espodossolo Ferrihumilúvico Hidromórfico	340,5	0,5	0,0029	Muito Baixo
LAd	Latossolo Amarelo Distrófico	39.518,2	59,2	0,0169	Médio
LVAd2	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	4.385,0	6,6	0,0311	Alto

SXe Planossolo Háptico Eutrófico 602,7 0,9 0,0136 Baixo

Fonte: Laiana dos Santos Trindade (2018).

A declividade (Tabela 4) é dividida em 5 classes de acordo com a proposta de Ruthes *et al.* (2012). O fator LS (Figura 2d) varia aproximadamente de 0,03 a 156,32 (valor adimensional). Na Tabela 6, o primeiro intervalo (0 – 5) compreende a maior parte da microbacia com 99,77%, que de acordo com Beskow *et al.* (2009), o fator LS até 5 representa uma moderada susceptibilidade à erosão, enquanto os índices acima de 10 são caracterizados como uma elevada susceptibilidade à erosão. Os valores acima de 10 encontram-se no alto curso da microbacia onde a declividade também é maior. Conforme os valores de LS encontrados, devido ao seu relevo, há uma baixa vulnerabilidade à erosão na microbacia do Rio da Dona.

Figura 3. a) Mapa do Fator CP. b) Mapa de Perdas de Solos da Microbacia do Rio da Dona.



Fonte: Laiana dos Santos Trindade (2018).

Tabela 4. Classes do Fator LS proporcional à área total da microbacia em estudo.

Intervalo	Área (ha)	Área (%)
0 – 5	64.674,63	99,767
5 – 10	104,67	0,161
10 – 50	42,57	0,066
50 – 100	3,15	0,005
>100	0,72	0,001

Fonte: Laiana dos Santos Trindade (2018).

A Tabela 5, apresenta o percentual da ocupação da área para os diferentes valores do fator C e P e a Figura 3a mostra sua distribuição dentro da área da microbacia. Os maiores valores correspondem a 0,20 e 0,25, que estão atribuídas as classes de rochas e solos nu ou com vegetação dispersa e as agriculturas e pastagens permanentes e dominantes. Segundo Bernal (2016), quanto maior for o valor de C e P maior será a susceptibilidade do solo a erosão, o que se pode afirmar que a microbacia em estudo tem uma maior susceptibilidade à erosão de acordo com a vegetação predominante.

As perdas de solo estimada para a microbacia em estudo apresentam uma média de 21,19 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. Observa-se que 51,14% da área da microbacia apresenta perdas de solos menor que 10 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, caracterizando uma erosão de nula a pequena, enquanto 44,78% da área da microbacia apresenta uma perda de 10 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, conferindo uma erosão moderada.

O local com as maiores perdas de solo corresponde a 4,08% da área em estudo, e esse índice de perdas alto, pode ser devido às características do solo, tendo em vista que o solo presente na área possui uma alta erodibilidade, conferindo assim uma maior susceptibilidade a erosão (Figura 3b).

Tabela 5. Fator C e P para cada uso da terra.

Uso da Terra	Fator CP	Área (ha)	Área (%)
Corpos d'água natural e artificial	0,00	187,02	0,28
Floresta ombrófila densa	0,001	13.475,52	20,18
Agricultura e pastagem permanente e dominante	0,25	48.217,68	72,19
Rochas e solo nu ou com vegetação dispersa	0,20	4.908,06	7,35

Fonte: Laiana dos Santos Trindade (2018).

Bernal (2016), em estudo de perdas de solo para as Bacias Hidrográficas do Atlântico Leste, foi possível observar que 97% da área total da bacia do Capivari apresenta valores de perdas de solos até 200 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, esse valor é próximo ao encontrado para a

microbacia em estudo, em que 99,96% da área apresentou valor de até 200 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ (Tabela 6).

A microbacia apresenta uma erosão de nula a pequena. Contudo, deve-se levar em consideração o uso do solo e adoção de práticas conservacionistas de acordo com a legislação, no qual essas medidas são necessárias para a manutenção e oferta de água e solo em uma bacia.

As perdas de solos causam danos ao meio ambiente. Devido à remoção dos solos os rios são assoreados causando alterações no seu comportamento hidrológico e degradando seu recurso e ecossistema. Segundo Stein *et al.* (1987), mesmo que uma microbacia apresente baixa susceptibilidade a erosão pode haver um processo erosivo devido cobertura inadequada no terreno, como pastos, culturas anuais e perenes presentes na localidade. Portanto, faz se necessário a adoção de práticas conservacionista na bacia levando em consideração a capacidade de uso do solo em prol da manutenção e preservação dos recursos hídricos.

Tabela 6. Classes de perdas de solos em toneladas proporcionais a área da microbacia em estudo, de acordo com a classificação de Riquier (1982).

Classes (Mg.h ⁻¹ . ano ⁻¹)	Área (ha)	Área (%)	Nível
< 10	34.151,16	51,14	Nula a pequena
10 – 50	29.900,73	44,78	Moderada
50 – 200	2.699,40	4,04	Forte
> 200	28,59	0,04	Muito forte

Fonte: Laiana dos Santos Trindade (2018).

Conclusões

Os maiores valores de perdas de solo da bacia em estudo são devido à alta susceptibilidade do tipo de solo à erosão, somado ao tipo de cobertura vegetal presente (pastagem e agricultura), causando pouca proteção ao solo contra o impacto das gotas de chuva.

Pelo modelo EUPS, constata-se que a microbacia do Rio da Dona apresenta baixo nível de perda de solo, mas ainda assim é necessária

a adoção de práticas conservacionistas previstas na legislação, a fim de reduzir a perda de solo e com isso proporcionar a manutenção e oferta de água da microbacia.

Referências

AGEITEC. **Latossolos amarelos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 21 maio 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Hidroweb. Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em 11 abril 2018.

ALBUQUERQUE, A. W. *et al.* Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.136-141. jan./abr., 2002.

BERNAL, J. M. S. **Contribuição do aporte fluvial de sedimentos para a construção das principais planícies quaternárias do estado da Bahia**. 2016. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

BERTONI J.; LOMBARDI NETO F. **Conservação do Solo**. 6 ed. São Paulo: Ícone, 2008.

BESKOW, S. *et al.* Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, n. 1, p. 49-59, Oct., 2009.

CABRAL, C. E. A. *et al.* Estimativa de perda de solo em sistemas de cultivo em lavouras de algodão. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiania, v. 6, n.11, 2010.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**, 2ª Ed. Revisada e Ampliada. Editora Interciência, 2008.

CARVALHO, D. F. *et al.* Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.13, n.1, p.3-9, jan./ fev., 2009.

CARVALHO, J. C. *et al.* **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. **Brasília**: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A. GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n.5, p.427-433, 1996.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1990.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **O novo mapa de solos do Brasil**: legenda atualizada. Humberto Gonçalves dos Santos *et al.* Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 67p, 2011.

FOSTER, G.R.; MEYER, L.D.; ONSTAD, C. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. **Transactions of the ASAE**, Brasília, v. 20, n.4, 0683-0687, 1977.

FOSTER, G. R.; WISCHMEIER, W. H. Evaluating irregular slopes for soils loss prediction. **Transactions of the ASAE**, Brasília, p. 305-309, 1974.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 04 maio 2018.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v.51, n.2, p.189-196. 1992.

McCOOL, D. K. *et al.* Revised slope length factor for the universal soil loss equation. **Transactions of the ASAE**. v. 32, n.5, p.1571-1576, 1989.

McCOOL, D.K.; FOSTER, G.R. & WEESIES, G.A. Slope length and steepness factor. *In*: **Predicting soil erosion by water - A guide to**

conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington, US Gov. Print Office, 1997.

MUTCHLER, C.K.; MURPHERE, C.E.; MCGREGOR, K.C. Laboratory and field plots for erosion studies. In LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods**, Ankeny: Soil and Water Conservation society, p.9-36. 1988.

OLIVEIRA, F. G.; SERAPHIM, O. J.; BORJA, M. E. L. Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do Lageado, Botucatu - SP. **Energia na Agricultura**, Botucatú, v. 30, n. 3, p. 302 – 309, jul./set., 2015.

RIQUIER, J. Evaluation globale de la dégradation des soils. **Nature et Ressources**, v. 18, n. 2. Unesco. Paris. 1982.

RUTHES, J. M. *et al.* Uso de Sistema de Informação Geográfica na Determinação do Fator Topográfico da Bacia do Rio Catorze, Sudoeste do PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, p. 1099 – 1199. 2012.

SILVA, R. M. *et al.* Avaliação espacial e temporal de perdas de solo usando o Sistema de Informações Geográficas (SIG). **Okara: Geografia em debate**, João Pessoa, v.1, n.2, p. 1-128, 2007.

STEIN, D. P. *et al.* Potencial de Erosão laminar, natural e antrópica na Bacia do Peixe-Parapanema. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4. **Anais...** São Paulo, 1987.

U.S.G.S. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.html. Acesso em: 01 abril 2018.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington, USDA, 1978.

Remanescentes florestais da microbacia Capivari

Felipe da Silva Barreto

Everton Luis Poelking

Gustavo Luis Schacht

Cláudia Bloisi Vaz Sampaio

Mata Atlântica - fragmentação florestal

A Mata Atlântica é uma das florestas mais ricas em diversidade de espécies e ameaçadas do planeta. O bioma abrange uma área de 15% do total do território brasileiro que inclui 17 estados. Abriga aproximadamente 72% da população e sete das nove maiores bacias hidrográficas do país. A Mata Atlântica que é, por sua alta diversidade de espécies e nível de endemismo, um dos complexos vegetacionais mais singulares no mundo (MORI *et al.*, 1981; FONSECA, 1985). Estudos de processos intensos de fragmentação relatado a décadas por VIANA, TABANEZ, 1996; RANTA *et al.*, 1998), e mais recentemente por Tonetti *et al.* (2019), que destaca a fragmentação florestal como redução importante de habitats para flora e fauna o que impacta severamente na ameaça de extinção de espécies.

Muitos dos fragmentos de florestas da Mata Atlântica são áreas de vegetação natural alteradas, de tamanho reduzido e ainda isoladas por ação antrópica pela abertura de áreas para produção agropecuária, estradas, áreas urbanas, entre outras (NEWBOLD *et al.*, 2015, TONETTI *et al.*, 2019). Newbold *et al.* (2015) estimaram que mudanças no uso da terra e pressões antrópicas reduziram fortemente a biodiversidade terrestre local, com reduções médias globais de até 13,6% na riqueza de espécies dentro das áreas amostradas, 10,7% na abundância total e 8,1% na riqueza de espécies.

A Lei nº 11.428 (Lei da Mata Atlântica) de 2006 considera a Mata Atlântica como Patrimônio Nacional, pela Constituição Federal (art.

225) e incontestavelmente a torna um bioma de extrema importância ambiental e social, por ser considerado um dos mais diversos do planeta com suas numerosas espécies vegetais associadas aos mais diversos ecossistemas (BRASIL, 2006). Um bioma que antes deslumbrava riqueza e diversidade, hoje se encontra fragmentado em forma de manchas, na maioria das vezes de tamanhos bastante reduzidos e separados entre si. Mori *et al.* (1981) consideram este ecossistema tropical em estado mais crítico de degradação em todo o mundo. Hoje, restam apenas 12,4% da floresta que existia originalmente e, desses remanescentes, 80% estão em áreas privadas (SOS MA, 2018).

A fragmentação desses remanescentes traz inúmeros resultados negativos ao meio ambiente como a alteração do fluxo gênico, aumento do efeito de borda, elevado grau de endogamia e consequente perda da biodiversidade, aumento dos processos de perda do solo e da água. Os principais fatores que afetam a dinâmica de fragmentos florestais são: tamanho, forma, grau de isolamento, tipo de vizinhança e histórico de perturbações (VIANA e TABANEZ, 1996). A fragmentação caracteriza-se pela ruptura de uma paisagem, que inicialmente apresentava-se contínua (METZGER, 2003). A principal causa desta fragmentação são as atividades antrópicas executadas de forma não sustentável, o que restringe a paisagem da Mata Atlântica em sua maioria a pequenos fragmentos circundados por diferentes formas de uso e ocupação do solo.

Os principais efeitos da fragmentação são o aumento do efeito de borda, assim como a redução e o isolamento dos habitats, dificultando o processo de fluxo gênico entre as espécies. Segundo Rodrigues (1998), as bordas de fragmentos grandes (maiores que 10 ha) têm composições de espécies diversas das bordas de fragmentos menores. Estes menores, possuem toda a sua área afetada em termos microambientais, o que reflete também na riqueza de espécies nas suas bordas (SCHIERHOLZ, 1991). Quanto ao processo de fragmentação,

várias respostas ecológicas ainda podem ser observadas: ocorrência de espécies invasoras (BORGES *et al.*, 2004); modificações na abundância e composição da biodiversidade e, dependendo da intensidade, a extinção de espécies (MURCIA, 1995); mudanças nos processos ecológicos como a polinização, a predação, o comportamento territorial e os hábitos alimentares (RANTA *et al.*, 1998).

Para Harrison *et al.* (1988), existem três principais categorias de mudanças que têm se tornando frequentes nas florestas do mundo: 1) a redução na área total da floresta; 2) a conversão de florestas, naturalmente estruturadas, em plantações de monoculturas e, 3) a fragmentação progressiva de remanescentes de florestas naturais em pequenas manchas, isoladas por plantações ou pelo desenvolvimento agrícola, industrial ou urbano.

Ecologia de paisagem

Metzger (2001) define a Ecologia de Paisagem como "um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação". Com isso, ele propõe duas abordagens distintas neste conceito. Uma delas é a abordagem "geográfica" onde "o mosaico heterogêneo estará sendo visto através dos olhos do homem, de suas necessidades, anseios e planos de ocupação territorial". E a abordagem "ecológica" onde o "mosaico é considerado como um conjunto de habitats que apresentam condições mais ou menos favoráveis para a espécie ou a comunidade estudada". Segundo Forman e Godron (1986), as paisagens são definidas em estruturas fundamentais, compostas por três elementos básicos: matriz, fragmentos ou manchas e corredores. Atualmente a Ecologia de Paisagem baseia-se na inter-relação entre variadas ciências que buscam explicar os aspectos ecológicos como um todo, não somente com as interações ambientais, mas compreendendo melhor a sua dinâmica espaço-temporal.

Métricas de paisagem

McGarigal e Marks (1995) agruparam alguns índices nas seguintes categorias: índices de área; índices de densidade, tamanho e variabilidade métrica dos fragmentos; índices de forma; índices de borda; índices de área central; índices de proximidade; índices de diversidade e índices métricos de contágio e espalhamento. Com isso, a depender do objetivo de estudo, escala espacial e temporal, várias são as possibilidades de aplicabilidade desses índices, que ainda podem ser analisados separadamente ou em conjunto. Os índices de densidade e tamanho são importantes por caracterizarem os fragmentos (número de fragmentos, tamanho médio, densidade, variação etc.) e por permitirem entender como os fragmentos estão dispostos e se comportam na paisagem (VOLOTÃO, 1998).

Nem sempre os fragmentos de maior tamanho são considerados ecologicamente melhores, pois podem se encontrar em estágios iniciais de regeneração ou estarem rodeados por pressão de diferentes formas de uso e ocupação do solo. Além disso, quanto menor o tamanho de um fragmento maior a influência dos fatores externos sobre ele, o que pode ter efeito direto na sobrevivência e disseminação das espécies florestais (RAMBALDI, *et al.*, 2003).

As primeiras abordagens para quantificar a importância das bordas nos fragmentos florestais avaliavam a razão perímetro/área (FORMAM, GODRON, 1986). As métricas de borda apontam para a vulnerabilidade dos fragmentos, pois áreas de menor tamanho e formatos irregulares sofrem maior efeito de borda, levando as espécies a sofrerem com os fatores bióticos e abióticos externos que condicionam negativamente a dinâmica da paisagem. O contraste entre bordas pode influenciar de diversas maneiras os processos ecológicos do fenômeno sob investigação (MACGARIGAL, MARKS, 1995).

Os índices de forma objetivam comparar a razão perímetro/área com a forma padrão, indicando a regularidade da forma (PIROVANI *et al.*, 2014). Os remanescentes que têm uma forma mais próxima de

um círculo tendem a ter a sua área central mais bem preservada e menos vulnerável à influência externa por sofrerem menos ação do efeito de borda. Os avanços tecnológicos na área da informação e processamento de imagens com a aplicação do Sistema de Informações Geográficas (SIG) vêm contribuindo para Ecologia de Paisagem na avaliação da fragmentação florestal com uso de métricas de paisagem, tornando-os mais precisos e detalhados.

A região do Recôncavo da Bahia sofreu intensa alteração da paisagem natural ao longo de mais de três séculos de colonização, o que contribuiu diretamente na construção da dinâmica atual da Bacia do Rio Capivari. Apesar da sua grande importância para os municípios que abrange, não há estudos aprofundados sobre o contexto da vegetação na paisagem, os quais são de extrema importância para planejamento de atividades voltadas à restauração e conservação da vegetação remanescente e dos recursos hídricos.

O estudo foi desenvolvido com o objetivo de identificar, mapear e caracterizar a dinâmica da fragmentação florestal nos remanescentes de Mata Atlântica da Bacia Hidrográfica do Capivari nos anos de 1973 e 2010 com o auxílio das técnicas do Geoprocessamento e o Sistema de Informações Geográficas.

Materiais e métodos

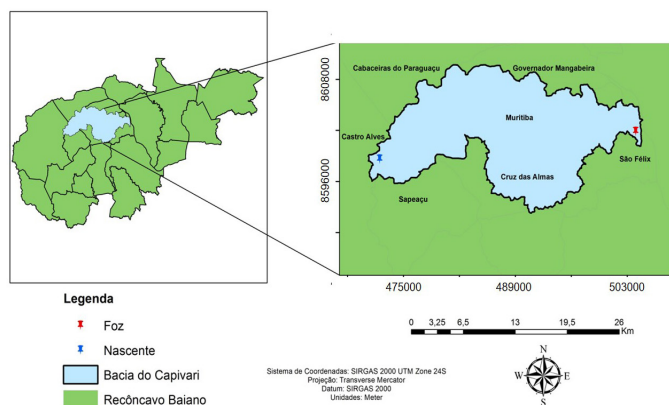
Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Capivari possui uma extensão de 316,8 km². Está situada no Recôncavo da Bahia (Figura 1), a uma altitude média de 233 metros, em que concentra população estimada em 180.741 habitantes (IBGE, 2010).

A maior parte da bacia encontra-se na área de abrangência da Mata Atlântica, especificamente Floresta Ombrófila Densa e Estacional Semidecidual, apresentando alguns remanescentes com espécies secundárias desse bioma (SOS MA, 2018).

O solo predominante é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, solo tipicamente encontrado em áreas de tabuleiro costeiros (MOREAU *et al.*, 2006), em área de relevo plano a suave ondulado; Argissolo predominando nas encostas mais íngremes; Planossolos e os Luvisolos nos terços médios e inferiores das encostas e Gleissolos associados às zonas mais rebaixadas da paisagem (RODRIGUES *et al.*, 2009). O clima da bacia é bastante diversificado e vai do semiárido ao úmido, com predominância do clima subúmido e essa característica influencia diretamente a distribuição da precipitação e da vegetação dentro da área da bacia (SEI, 2012). A temperatura média anual é de 23,8°C, onde período chuvoso é de abril a agosto e a pluviosidade média anual de 927 mm, segundo dados do censo demográfico IBGE (2010).

Figura 1. Mapa de localização da bacia do rio Capivari.



Fonte: Felipe da Silva Barreto (2019).

Processamento dos aerofotogramas

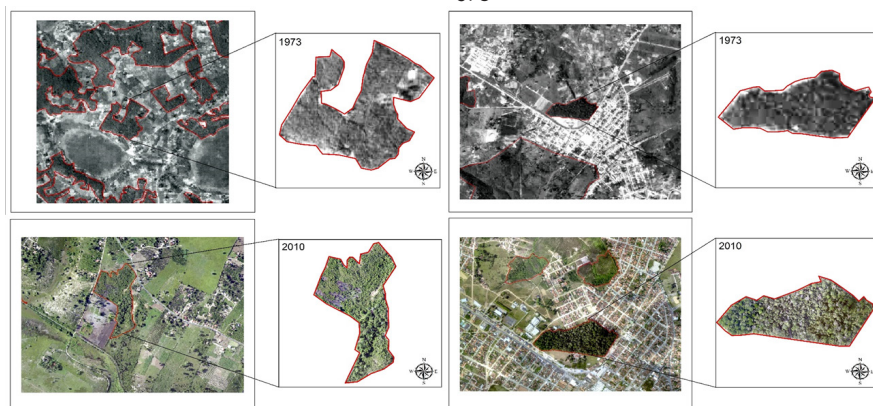
Foram utilizados no mapeamento aerofotogramas digitais (fotografias aéreas obtidas por meio de câmeras fotográficas acopladas em avião e tomadas sequencialmente) na escala 1:3000 do ano de 2010, cedidos pela Companhia de Desenvolvimento Urbano da Bahia (Conder), e aerofotogramas digitalizados da década

de 1973 na escala 1:60000, disponibilizados no sistema eletrônico da Secretaria de Desenvolvimento Econômico da Bahia (SDE), realizada pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. Os aerofotogramas do ano de 1973 foram previamente georreferenciados.

A elaboração da base de dados (mosaicagem e georreferenciamento) e o mapeamento dos fragmentos florestais, foi realizado pelo *software ArcGis 10.2*® por meio da técnica de fotointerpretação dos aerofotogramas (utilização de elementos de reconhecimento, os quais servem de referência no processo de reconhecimento e identificação dos objetos na superfície terrestre) (Figura 2).

A separação das classes obedeceu aos critérios da chave de interpretação do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomass) e foram classificadas quanto a fitofisionomia em: 1- Formação Florestal (C1), formada pela vegetação mais densa, de maior porte, rugosidade alta e formação de dossel contínuo e 2- Formação Savânica (C2), formada pelo estrato herbáceo-arbustivo, menor densidade de árvores com rugosidade média/média baixa e descontinuidade do dossel. Foi considerado como fragmento florestal toda estrutura vegetal florestal presente nas aerofotografias com características de textura rugosa e tamanho, a partir de 5 ha.

Figura 2. Amostragem da fotointerpretação para a classe de formação savânica e florestal nos anos de 1973 e 2010.



Fonte: Felipe da Silva Barreto (2019).

Métrica de paisagem

A estatística empregada se deu a partir de métricas que foram calculadas utilizando-se a extensão *Patch Analyst* (analisador de manchas) 5.2 para o *ArcGis*, desenvolvida pelo *Spatial Ecology Program*, sob licença do Ministério de Recursos Naturais de Ontário © *Queen's Printer for Ontario* (2015). No Quadro 1, estão descritas as métricas utilizadas para a análise quantitativa da paisagem.

A análise dos fragmentos foi feita com base nos dados obtidos após o mapeamento, sendo calculada a área (em hectares), a fim de oferecer ao programa informações necessárias para caracterização dos fragmentos. As métricas foram calculadas utilizando a versão em vetor (*shapefile*) dos fragmentos florestais delimitados. Para classificação dos remanescentes quanto ao tamanho, estes foram divididos em pequenos (5-10 ha), médios (10-100 ha) e grandes (>100 ha). Dessa forma, os cálculos das métricas utilizadas no desenvolvimento do trabalho foram em nível de classe correspondente à C1 e C2.

Quadro 1. Métricas utilizadas para a análise quantitativa da paisagem.

Métricas	Descrição	Siglas	Fórmulas
Métricas de Tamanho			
Área da classe (ha)	Soma das áreas de todos os fragmentos de uma determinada classe;	CA	$CA = \sum_{i=1}^n a_{ij}$
Número total de manchas	Expressa o número total de manchas por tipo de classe;	NUMP	$NumP = \sum n_i$
Tamanho médio das manchas (ha)	Expressa o tamanho médio das manchas por tipo de classe;	MPS	$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i}$
Métricas de Borda			
Total de borda (m)	Soma das bordas de todos os fragmentos de cada classe;	TE	$TE = \sum p_{ij}$
Densidade das bordas (m/ha)	Relação do perímetro de cada classe pela área total da paisagem;	ED	$ED = \frac{TB}{AT}$

Métricas de Forma			
Indicador médio de forma	Média das formas dos fragmentos da paisagem, informa o quanto que o fragmento é próximo de um círculo;	MSI	$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{P_{ij}}{2\sqrt{\pi a_{ij}}} \right)}{n_i}$
Dimensão fractal média da mancha	Expressa a complexidade de forma da mancha. Valores próximos de 1 representam perímetros simples e valores próximos de 2 indicam perímetros complexos;	MPFD	$MPFD = \frac{2 \ln(0,25 p_{ij})}{\ln a_{ij}}$
Área Central (ha)	Expressa o tamanho total das manchas centrais, levando em consideração a distância do efeito de borda;	TCA	$TCA = \sum_{i=1}^n a_{ij}^c$

Abreviaturas: a_{ij} , área da mancha i na classe j (ha); P_{ij} , perímetro da mancha i na classe j (m); n_i , número de manchas da classe i na paisagem; AT - área total da paisagem, na qual estão todas as classes de mancha (ha); a_{ij}^c , área do núcleo da mancha i na classe j com um valor de *buffer* especificado (ha); a_{ij} , número de áreas centrais da mancha i na classe j ; h_{ij} distância da mancha i na classe j à mancha vizinha mais próxima baseada na distância entre bordas (m).

Fonte: Adaptado de McGarigal e Marks, 1995.

Resultados e discussão

Métricas de tamanho

No ano de 1973 encontrou-se um total de 149 fragmentos (NumP), com maior número de remanescentes de formação florestal que de formação savânica (Tabela 1). Para o ano de 2010, dos 106 fragmentos mapeados, houve inversão com maior número de fragmentos formação savânica que formação florestal. Ainda, pode-se observar que este decréscimo aconteceu de forma acentuada nos municípios de Castro Alves, Sapeaçu e Cabaceiras do Paraguaçu que antes detinham uma maior quantidade de remanescentes da classe C1. Os demais municípios mantiveram maior número de remanescentes, mas, em contrapartida, são consideradas formações savânicas (Figura 3).

A área total dos remanescentes (CA) difere consideravelmente na escala temporal. No ano de 1973 tinha aproximadamente 8.286,07 ha, enquanto que no ano de 2010 apenas 2.711,12 ha, um decréscimo de 5.574,95 ha de área (Tabela 2).

Tabela 1. Resultados obtidos na análise quantitativa da paisagem no ano de 1973 e 2010.

Métricas	Valores Formação Florestal		Valores Formação Savânica	
	1973	2010	1973	2010
MSI	1,89	1,69	2,17	2,08
MPFD	1,31	1,31	1,31	1,33
TE (m)	297.824,85	28.031,41	432.441,86	313.119,73
ED (m/ha)	35,94	10,34	52,19	115,49
MPS (ha)	30,59	15,81	88,84	26,82
NumP	85,00	12,00	64,00	94,00
CA (ha)	2.600,30	189,67	5.685,77	2.521,45
TCA (ha)	618,87	33,95	2.232,38	671,70

Fonte: Felipe da Silva Barreto (2019).

Com relação ao tamanho médio dos fragmentos (MPS), o período de 1973 obteve o maior MPS para a classe C2 que a classe C1, e da mesma forma para o ano de 2010. O predomínio de maiores fragmentos da classe C2, em relação aos mais bem conservados (C1) aponta para alto grau de antropização da vegetação remanescente.

Tabela 2. Tamanho, número de fragmentos, porcentagem e área de contribuição na bacia para o ano de 1973 e 2010.

	1973	Tamanho (ha)	Nº de fragmentos	Porcentagem (%)	Área (ha)
Pequenos		5 a 10	36	24,16	253,12
Médios		10 a 100	96	64,43	3.429,81
Grandes		>100	17	11,41	4.603,14
		Total	149	100,00	8.286,07
2010					
Pequenos		5 a 10	47	44,34	330,65
Médios		10 a 100	56	52,83	1.671,07
Grandes		>100	3	2,83	709,40
		Total	106	100,00	2.711,12

Fonte: Felipe da Silva Barreto (2019).

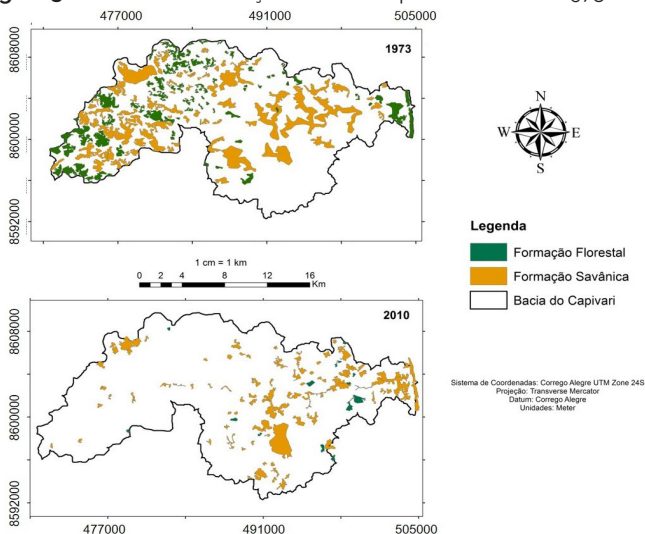
Métricas de borda

A borda pode ser descrita como a área externa limitrofe de um fragmento natural e antropizado. As métricas de TE revelam menores valores para a classe das formações florestais, 297.824,85 m para o ano de 1973 e 28.031,41 m para o ano de 2010. Em contrapartida, as

formações savânicas apresentaram 432.441,86 m para o ano de 1973 e 313.119,73 m para o ano de 2010. Observa-se que as formações savânicas independente da comparação temporal, obtiveram maior tamanho de borda, corroborando com os princípios da sucessão ecológica, onde, fragmentos menos conservados, tendem a ser mais suscetíveis ao efeito de borda. Segundo Tonetti *et al.* (2019), o aumento e isolamento de fragmentos e efeitos de borda que alteram condições de temperatura, umidade, radiação solar, causam alterações nos habitats e impactos diretamente a diversidade ecológica local.

A ED é inversamente proporcional à área ocupada pela classe de TE. Os fragmentos da classe de formação florestal para os anos de 1973 e 2010 apresentam valores de tamanho de borda de 35,94 m/ha e 10,34 m/ha respectivamente. Para as formações savânicas os resultados são de 52,19 m/ha para o ano de 1973 contra 115,49 m/ha no ano de 2010. Isso implica num progressivo aumento do efeito de borda durante 37 anos, comprovando que, com o passar dos anos, o processo de fragmentação florestal aumenta drasticamente para ambas as classes de floresta, com maior intensidade nas formações savânicas.

Figura 3. Classes das formações florestais para os anos de 1973 e 2010.



Fonte: Felipe da Silva Barreto (2019).

Métricas de forma

Os resultados obtidos para o MSI apontam que no ano de 1973 C1 tinham características de forma menos complexas (1,89) que as C2 (2,17) com pouca alteração para ano de 2010 com 1,69 para C1 enquanto C2 com 2,08. Isso indica o quanto a paisagem foi modificada com o passar dos anos em consequência das diferentes formas de ocupação da paisagem natural, tornando-as cada vez mais irregulares. Lang e Blaschke (2009) explicam que quanto mais próximo do valor 1 melhor a forma, pois, estes fragmentos tendem a ser mais adjacentes da forma circular, sendo assim, o efeito de borda exerce menor influência ao ecossistema ao seu redor, e quando forem maiores que esse valor, mais alongados são os fragmentos. Este índice é fundamental para saber como ocorre a dispersão dos animais e plantas na paisagem (AYAD, 2005) e avaliar o grau de preservação e viabilidade para o fluxo gênico de espécies nativas dos fragmentos na área

Para os resultados da MPFD no presente estudo, não houve diferenças significativas entre as duas classes para o ano de 1973, ambas com valor de 1,31 e em 2010 de 1,30 para C1 e 1,33 para C2. Para McGarigal e Marks (1995), a dimensão fractal é menos sensível que o indicador médio de forma pelo fato de fragmentos muito perturbados demonstrarem uma amplitude reduzida dos valores para esses resultados, entre 1 e 2.

Comparando este resultado obtido para a classe de formação florestal no ano de 1973, com o MSI para o ano de 2010, cujo valor médio é de 1,79, pode-se afirmar que temporalmente os fragmentos estão mais próximos do formato regular. Já nos fragmentos da classe de formação savânica para o mesmo período de tempo, a média foi de 2,12, indicando formatos menos regulares. Segundo Forman & Godron (1986), formas circulares em fragmentos florestais tendem a apresentar uma maior diversidade de espécies e busca por recursos energéticos no seu interior. Os índices de forma e borda mantêm uma relação direta, pois com fragmento de forma alongada, mais intenso será o efeito de

borda. Estudos como o de Laurance *et al.* (1998) evidenciaram uma maior intensidade dos efeitos de borda em fragmentos pequenos, com diversos prejuízos ecossistêmicos como aumento da mortalidade de espécies e alterações microclimáticas intensas.

Formato circular é desejável, contudo, fragmentos com formato alongados possuem importância para formação dos corredores ecológicos, pois garantem maior conectividade entre os fragmentos de vegetação natural, permitindo o fluxo genético de matéria e o deslocamento da fauna (SMANIOTTO, 2007). De acordo com Volotão (1998), fragmentos muito irregulares podem chegar a ponto de não possuir área central capaz de permitir a manutenção e o desenvolvimento de uma determinada espécie. O índice de área central (ou área core) calculado corresponde à porção do fragmento que não é afetado pelos efeitos de borda, ou seja, corresponde à área nuclear do fragmento de vegetação arbórea (MCGARIGAL *et al.*, 2002, *apud* SMANIOTTO, 2007). Pirovani *et al.* (2014) concluíram que a melhor distância de borda para estimar a área central dos fragmentos florestais foi de 100 m, onde, valores acima disso, levam a uma redução considerável da área central dos fragmentos, na maioria das vezes estes estão totalmente submetidos ao efeito de borda.

O TCA encontrado para o ano de 1973 foi de 2.851,67 ha, sendo que dos 212 fragmentos, apenas 108 têm área central. A área central média correspondente a 10,67 ha (C1) e 44,65 ha (C2), ou seja, a maior parte de área central encontra-se em fragmentos de maior grau de perturbação no contexto ecológico. Assim sendo, pode-se inferir que aproximadamente 37,96% do total de fragmentos sofrem intensivamente efeito de borda. No ano de 2010, o total de área central foi de 705,65 ha, sendo que, dos 85 fragmentos, 60 são enquadrados no critério de área central. Desses 60 fragmentos, apenas seis pertencem à classe C1 e 54 na classe C2, somando a área central média para a classe C1 encontra-se 5,66 ha enquanto que a classe C2 somam-se 12,44 ha. A área central diminuiu em relação ao

ano de 1973, o que reforça a consequência do avanço da supressão e diminuição da vegetação remanescente.

Houve diminuição drástica no número de fragmentos da classe C1, que são possuidores de área central livre do efeito de borda, diminuição de 52 fragmentos entre os anos de 1973 e 2010. No ano de 2010, 23,53 % estão totalmente afetados pelo efeito de borda. Segundo Pirovani et al. (2014), a redução no número de área central indica alto grau de perturbação da paisagem, uma vez que possuem menor área preservada dentro dos fragmentos, com capacidade de abrigar importantes espécies endêmicas. A Figura 4 demonstra a área central de um fragmento.

Figura 4. Área central de um fragmento, desprezando os 100 metros de borda.



Fonte: Autor (2019).

Volatão (1998) apontou que esta métrica tem sido considerada um ótimo parâmetro de qualidade de habitats interiores, do que

propriamente a área total dos fragmentos. Isso porque a área central é diretamente afetada pela forma dos fragmentos, já a área total não. Esta métrica reforça a ideia que, quanto maior a área central, mais preservado e propício ao desenvolvimento e perpetuação das espécies é aquele fragmento.

Conclusões

O processo de fragmentação aumentou no período entre 1973 e 2010, principalmente pela redução do número e área dos remanescentes em geral, além do maior MPS apresentado para a classe de formação savânica, o que ecologicamente não é ideal.

Houve uma perda considerável no NumP na classe de formação florestal entre os dois períodos, de 85 em 1973 para 12 em 2010. Já para as formações savânicas houve um aumento, de 64 em 1973 para 94 em 2010. Soma-se um saldo negativo com 5.574,95 ha de área florestada desmatada.

Ocorreu uma diminuição no número de fragmentos da classe de formação florestal que tinham área central. Um decréscimo de 52 fragmentos no período estudado.

O efeito de borda aumenta drasticamente para ambas as classes de floresta, com maior intensidade nas formações savânicas, corroborando com o pressuposto de que estas áreas encontram-se na forma de estágio de vegetação secundária, portanto sofrem uma maior pressão dos efeitos de borda.

Referências

AYAD, Y. **Assessment of landscape ecological metrics: shape complexity and fragmentation of the abandoned strip mine patches in toby creek watershed.** Clarion University of Pennsylvania. 10 p. 2005.

BAHIA. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. **Companhia Baiana de Pesquisa Mineral.** 2018.

BAHIA. Secretaria de Desenvolvimento Urbano. **Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia**. 2017.. Disponível em <http://www.sedur.ba.gov.br/>. Acesso em 19 de fev de 2019.

BAHIA. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. SEI. **Estatísticas dos Municípios Baianos**. Salvador, 2012.

BORGES, L. F. R. *et al.* Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, Lavras, v.10, n.1, p.22-38, jan., 2004.

BRASIL. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 dez. 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm. Acesso em: 20 nov. 2019.

FORMAN, R. T. T; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York, John Wilwy e Sons. p. 619, 1986.

FONSECA, G. A. B. The vanishing Brazilian Atlantic forest. **Biological Conservation**, Liverpool, v. 34, p. 17-34, 1985.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA (São Paulo). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica - período 2017-2018**. São Paulo: [s. n.], 2017-2018. 1 atlas. Disponível em: https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Atlas-mata-atlantica_17-18.pdf. Acesso em: 19 fev. 2019.

HARRISON, S., MURPHY, D. D. & EHRLICH, P. R. Distribution of the Bay Chekerpot Butterfly *Euphydryas editha bayensis*: evidence por a metapopulation model. **Am. Nat.** 132:360-382. 1988.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 19 fev. 2019.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p 424.

LAURANCE, W. F. *et al.* Effects of forest fragmentation on recruitment patterns in amazonian tree communities. **Conservation Biology**, v.12, n. 2., p.460-464. Apr.1998.

MCGARIGAL e MARKS. **Fragstats**: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Reference manual. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Oregon State University. Corvallis Oregon, 1995.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**. Campinas, v. 1, n.1-2, p. 2-7, 2001.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: Laury Cullen Júnior; Rudran, R.; Claudio Valladares-Padua. (Org.). **Métodos de estudo em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre**. 1 ed. Curitiba: Ed. UFPR e Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2003, v. 1, p. 423-453.

MORI S. A.; BOOM, B. M.; PRANCE G. T. Distribution patterns and conservation of eastern Brazilian coastal forest tree species. **Brittonia**, New York, v. 33, n. 2, p. 233-245. Apr./Jun., 1981.

MOREAU, A. M. S. S. *et al.* Caracterização de solos de duas topossequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v. 30, n. 6, p.1007-1019, nov./dez., 2006.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, Cali, v.10, n.2, p.58-62, Feb., 1995.

NEWBOLD T, *et al.* Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature**. 2015 Apr 2;520(7545):45-50.

PIOVANI, D. B. *et al.* Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 38, n. 2, p. 271-281, mar./abril, 2014.

RANTA, P. *et al.* The fragmented Atlantic rain Forest of Brazil: size, shape and distribution of Forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, v.7, n.3, p.385-403 1998.

RAMBALDI, D. M. *et al.* **Fragmentação de Ecossistemas**: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Brasília: MMA/SBF, 2003.

RODRIGUES, E. **Edge effects on the regeneration of fragments in south Brazil**. Cambridge, 1998. 172 f. D. Phil. Dissertation - Harvard University.

RODRIGUES, M. G. F. *et al.* Solos e suas relações com as paisagens naturais no município de Cruz das Almas-BA. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 193-205. 2009.

SCHIERHOLZ, T. Dinâmica biológica de fragmentos florestais. **Ciência Hoje**, v. 12, p. 22-29. 1991.

SMANIOTTO, M. **Análise ambiental de Bacias Hidrográficas com base na fragmentação da paisagem**: município de Getúlio Vargas (RS). 116 f. 2007, Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos. São Paulo. 2007.

TONETTI V. R.; MUYLEAERT R. L.; RIBEIRO M. C. Fragmentação de Habitat. In: ASSIS L. S.; CAMPOS M.; GIRÃO V. J. (Orgs.), **Manejo de Fragmentos Florestais Degradados**. Campinas, SP: The Nature Conservance, 2019.

VIANA, V. M.; TABANEZ, A. A. J. Biology and conservation of forest fragments in the Brazilian Atlantic moist forest. In: SCHELHAS, J.; GREENBERG, R. **Forest patches in tropical landscapes**. Washington, D.C.: Island, p. 151- 167,1996.

VOLOTÃO, C.F.S. **Trabalho de análise espacial**: métricas do Fragstats. São José dos Campos: INPE, p. 45. 1998.

O carbono na restauração ecológica

*Jocy Ana Paixão de Sousa
Alessandra Nasser Caiafa*

Introdução

A ação do homem sempre influenciou a natureza, porém foi em meados do século XVIII, a partir da Revolução Industrial, que os impactos negativos provenientes de suas intervenções atingiram uma escala global (BAEDE *et al.*, 2001). As atividades antrópicas principalmente aquelas que envolvem o desmatamento (GUREVITCH; SCHEINER; FOX, 2009), a queima de combustíveis fósseis, para suprir a indústria ou para o uso doméstico, e a queima de biomassa, produzem os gases do efeito estufa (GEE) que apresentam com uma das consequências o comprometimento da camada da atmosfera (BAEDE *et al.*, 2001).

A criação do Protocolo de Kyoto foi impulsionada em virtude do crescimento na degradação dos recursos ambientais que se observou nas últimas décadas, mas principalmente devido ao aumento da emissão de GEE (HOPPE *et al.*, 2011). Esse protocolo foi o primeiro passo importante para a redução de GEE (FIORINI, 2012).

As florestas possuem a capacidade de transformar o carbono em biomassa, principalmente carboidratos estruturais, por meio da fotossíntese (RENNER, 2004; GODOY, 2007). Cerca de 15% do reservatório de carbono é fixado anualmente pela fotossíntese por meio dos vegetais terrestres (WILLIAMS *et al.*, 1997). Assim, iniciativas de restauração ecológica, especialmente em paisagens degradadas, mostram-se promissoras no combate dos efeitos das mudanças climáticas.

É importante destacar que a restauração ecológica é a ciência, a prática e a arte de assistir e manejar a recuperação da

integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais (SER, 2004). Caso a restauração ecológica seja efetiva e sustentável, contribuirá para a proteção da biodiversidade, promoverá a saúde e o bem-estar das populações humanas, elevará os níveis de segurança hídrica e alimentar, ajudará no desenvolvimento econômico, assim como, contribuirá para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (SER, 2019).

A restauração ecológica apresenta uma série de técnicas, metodologias e etapas para alcançar seus objetivos, uma dessas etapas é o monitoramento. Para a avaliação da efetividade de uma área em processo de restauração no que se refere ao retorno das suas funções ecossistêmicas são necessários bons protocolos de monitoramento (CAIAFA *et al.*, 2016). Facilidade de mensuração e modificação ao longo do processo de restauração são bons indicadores ecológicos, que podem ser utilizados no monitoramento (DURIGAN, 2011). Esses indicadores são divididos em estruturais, de diversidade e os que avaliam os processos ecológicos (BELLOTO; GANDOLFI; RODRIGUES, 2009). Dentre os que avaliam os processos naturais, tem-se o estoque de carbono na fitomassa epígea, que compreende toda a massa vegetal acima do solo.

Para se entender o percurso da restauração ecológica, o primeiro monitoramento que dá antes a ação de restauração, na área a ser restaurada e esse "tempo zero", alguns pesquisadores denominam de linha de base. No entanto, cada linha de base varia de região para região. No Recôncavo Sul Baiano, a maioria das áreas passíveis de restauração é de pastagens degradadas. Uma das paisagens ainda florestadas do Recôncavo Sul Baiano é a região da Serra da Jiboia (BLENGINI *et al.*, 2015).

Esse maciço serrano é dividido entre os municípios Varzedo que perfaz 40, 6% da área da Serra da Jiboia, Castro Alves com 24,8%,

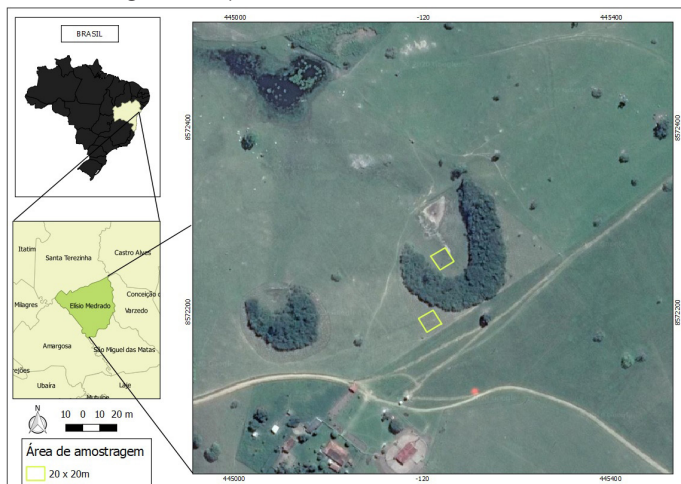
Santa Teresinha (18,4%), Elisio Medrado (15,8%) e São Miguel das Matas, com a menor ocupação, de 0,4% (BLENGINI *et al.*, 2015; POELKING; COSTA; GLOAGUEN, 2015). Porém, as florestas representam apenas 28,28% da Serra e o restante da área é ocupada por pastagens, cerca de 44 % (POELKING; COSTA; GLOAGUEN, 2015), sendo a maioria fortemente degradada. Segundo Paulino e Teixeira (2009), quando a pastagem está degradada, isto implicará na baixa produtividade, perda de matéria orgânica do solo, emissão de CO₂ para atmosfera e conseqüentemente na redução do sequestro de carbono.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar o indicador ecológico estoque de carbono, em uma linha de base de ação de restauração, na Serra da Jiboia, com o intuito de documentar o ganho de carbono após a ação de restauração. Para tal, foi quantificado o estoque médio de carbono na linha de base composta por uma pastagem degradada de *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster. Além disso, comparar o armazenamento de carbono de uma pastagem degradada com o de outros tipos de vegetação, encontrados na literatura.

Material e métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Umbuzeiro, propriedade privada, localizada na Serra da Jiboia, município de Elisio Medrado, Bahia (Figura 1). Essa propriedade tem um reflorestamento de árvores nativas de aproximadamente 0,7ha, que foi implantado há dezesseis anos pelo Grupo Ambientalista da Bahia (GAMBÁ) e nessa mesma área, no perímetro externo do reflorestamento, existe uma pastagem constituída por *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster, (braquiária), a qual foi alvo do presente estudo e que posteriormente receberá uma ação complementar de restauração ecológica.

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: Jocy Ana Paixão de Sousa e Alessandra Nasser Caiafa (2015).

A região da Serra da Jiboia, engloba o maciço serrano de cerca de 8.600 ha e mais uma área ao entorno de 3km de largura, o que totaliza aproximadamente 30.000 ha (POELKING; COSTA; GLOAGUEN, 2015). Em termos de vegetação natural, predomina a Mata Atlântica com suas formações ombrófilas e estacionais semidecíduais, onde ao norte tem-se uma área de contato com a Caatinga, em que se destacam na paisagem as formações florestais e vegetação sobre afloramento de rochas no topo da Serra (CAIAFA, 2015).

Especificamente no município de Elísio Medrado, tem-se os fragmentos de floresta estacional semidecidual. Porém, a grande maioria das florestas foi derrubada e ou fragmentada, dando lugar às pastagens. Segundo Oliveira (2003) é evidente o predomínio de pastagens, em que a maioria se apresenta em um estágio elevado de degradação.

Os solos da região são do tipo cambissolos, latossolos, neossolos, argissolos e com menor ocorrência os organossolos (POELKING; COSTA; GLOAGUEN, 2015). O clima varia entre o tropical úmido (na porção Sudeste e ao Leste) e tropical semiúmido (Norte e a Oeste), e

à medida que se distancia do mar torna-se mais seco. A temperatura média anual é de 22 °C e a precipitação anual é aproximadamente 1200 mm, sendo os meses de abril e junho como os mais chuvosos (TOMASONI; SANTOS, 2003).

Coleta dos dados

As coletas das braquiárias ocorreram em dois locais diferentes do perímetro externo do reflorestamento de árvores nativas, em meados de janeiro de 2015. Para o estabelecimento do espaço amostral foi demarcada uma área de 20 x 20 m com o auxílio de uma trena (Figura 1).

Assim que a área amostral de 20 x 20 m era demarcada, dirigia-se para o centro da mesma e jogava-se um bumerangue aleatoriamente, sendo que no local de queda do objeto alocava-se a parcela de 1 x 1 m (Figura 2), de forma que, o próximo local a ser alocada a parcela era determinado a partir do lançamento do bumerangue da parcela anterior. Foram estabelecidas dez parcelas em cada área de 20 x 20 m, totalizando 20 unidades amostrais. Toda a braquiária encontrada dentro da parcela era retirada, via corte raso, e posteriormente, apenas a fitomassa epígea, utilizada para as análises.

Figura 2. Exemplo da parcela de coleta (1x1 m).



Fonte: Jocy Ana Paixão de Sousa e Alessandra Nasser Caiafa (2015).

Para a retirada da braquiária era importante que a mesma fosse cortada ao nível do solo, deixando a área completamente limpa. Após a coleta do material vegetal, este foi colocado em saco de rafia, identificado com o número de cada parcela e imediatamente levado para determinação da massa no Laboratório de Ecologia Vegetal e Restauração Ecológica (LEVRE), pertencente à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

No LEVRE foi realizada a pesagem total do material vegetal fresco de cada parcela. Três amostras de 100 g de cada parcela foram separadas e colocadas em um saco de papel, totalizando 300 g de braquiária de cada parcela, para o cálculo da matéria seca. As amostras foram devidamente identificadas e em seguida foram colocadas em estufa por cerca de 72 horas, até atingir massa constante. Assim que esta foi alcançada, as amostras foram retiradas da estufa para determinação da matéria seca.

Análise dos dados

Os dados da matéria fresca e da matéria seca das gramíneas foram analisados por meio da estatística descritiva para obtenção da média (BEIGUELMAN, 2002). Para a matéria fresca e para a matéria seca foi calculado o valor total em Kg. Posteriormente, foi calculada a média das médias da biomassa, e por extrapolação, considerando que cada amostra tinha 100 g, foi obtida a biomassa total amostrada.

O teor de carbono fixado foi calculado considerando o valor de biomassa encontrado para área amostral de 20 m² e multiplicado pelo fator de correção C (0,44). Este fator de correção é o mais usualmente relatado na literatura para o gênero *Urochloa* (braquiária) (MONTEIRO *et al.*, 2002; COSTA, 2005).

Os parâmetros massa fresca, biomassa e teor de carbono armazenado, foram extrapolados para hectare para uma melhor adequação e discussão dos resultados.

Resultados e discussão

A matéria fresca total e a biomassa total, apresentados na unidade megagramas, bem como o carbono apresentado em megagramas de carbono, extrapolados para hectare, se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de matéria fresca, biomassa e carbono encontrados para *U. decumbens*.

	Quantidade total (Mg/ha)	Quantidade total (Mg C/ha)
Matéria fresca	15,18	
Biomassa	7,99	
Carbono		3,52

Fonte: Jocy Ana Paixão de Sousa e Alessandra Nasser Caiafa (2015).

O valor de biomassa (7,99 Mg/ha) obtida no presente estudo para *U. decumbens* em comparação a outras espécies de gramíneas é considerado baixo (Tabela 1). Casale (2013), observou um valor de biomassa de 20 Mg/ha para a *Urochloa ruziensis* e em estudo realizado por Zanine *et al.* (2009) foi encontrado um valor de 22,10 Mg/ha para a *Urochloa brizantha*, considerados valores altos. Essa diferença constatada pode estar relacionada ao fato da área de estudo ser uma pastagem degradada, sem receber cuidados e manejos adequados por, no mínimo, 16 anos, bem como por possíveis características de *U. decumbens* que tornam a mesma menos produtiva.

Em estudo realizado por Magalhães *et al.* (2007) observou-se que a adubação nitrogenada afetou a produção de biomassa da *U. brizantha*, que apresentou valores máximos de 5,3456 Mg/ha para folha e 4,857,7 Mg/ha para o colmo. Esses resultados não são compatíveis com os resultados encontrados por Zanine *et al.* (2009), logo, pode-se deduzir que a falta ou excesso de alguns nutrientes influenciam na quantidade da biomassa das gramíneas.

Em estudo realizado por Silva Neto *et al.* (2012) sob solo da pastagem, os autores verificaram que a pastagem de *U. brizantha* cv.

Marandu, no nível baixo e médio de degradação, apresentou maior produção de biomassa quando comparado ao elevado grau de degradação, ou seja, a matéria seca foi influenciada pelos níveis de degradação da pastagem de capim Marandu. Diante disso, é possível observar, que mesmo em metodologias diferentes, mas se tratando de pastagens degradadas encontram-se resultados equivalentes de baixos teores de biomassa.

O valor da biomassa encontrado neste estudo se assemelha ao encontrado por Castro (2014), que foi de 7,26 Mg/ha. Apesar da ausência de manejo, a degradação da pastagem pode ainda ser considerada moderada em comparação com os resultados obtidos por Ribeiro (2007), em que se constatou que a média de biomassa de uma pastagem com sinais evidentes de degradação foi de 0,84 Mg/ha. Queiroz *et al.* (2006) também encontraram valor inferior (1,871 Mg/ha) para uma pastagem degradada em Oratórios, Minas Gerais.

A quantidade de carbono fixado (3,52 MgC/ha) na fazenda Umbuzeiro foi corroborado pelos estudos de Castro (2014) que encontrou um estoque de carbono médio de 3,74 MgC/ha e por Tiepolo *et al.* (2002) que encontraram um teor de carbono médio na superfície da pastagem que variou entre 0,7 a 3,5 MgC/ha. Já em estudo realizado em uma pastagem na cidade de Viçosa, Minas Gerais, com metodologia semelhante a esta, o autor encontrou um valor bem menor, 0,42 MgC/ha (RIBEIRO, 2007).

Mesmo em pesquisas realizadas em outros locais, por exemplo, sob o solo da pastagem, é possível observar que a depender das condições da pastagem, esta pode fixar mais ou menos carbono. Em estudo realizado para determinar a potencialidade de sequestrar carbono em solos arenosos de Cerrado sob pastagem, Szákasc (2003) verificou que quanto mais a pastagem é degradada, menor a quantidade de carbono sequestrado. Os valores obtidos por este autor foi de 32 MgC/ha (pasto mais degradado), 41,6 MgC/ha (pasto significativamente degradado) e 46,71 MgC/ha para pasto moderadamente degradado.

Em outro trabalho realizado por Rosendo e Rosa (2012) sob solo de pastagem, tanto para camada de 0-20cm quanto para de 20-40cm, também encontram que a pastagem degradada comparada a uma bem formada e manejada, fixa menos carbono.

Ao se fazer uma comparação deste estudo com os realizados em áreas florestais em processo de restauração natural ou assistida (plantios, por exemplo), observou padrões de aumento do quantitativo de carbono das potenciais linhas de base em pastagens degradadas para as áreas que portam as espécies florestais em regeneração/restauração.

O estudo realizado por Rocha (2017), em áreas em processo de restauração há cerca de nove anos, pela metodologia de plantio total de árvores, em áreas antes ocupadas por pastagens degradadas, demonstrou que em três áreas do Recôncavo da Bahia o carbono estimado foi 31,02 MgC/ha, 22,04 MgC/ha e 21,29 MgC/ha. Dourado (2015), estimando o carbono armazenado na área em processo de restauração há cerca de 16 anos, na mesma área do presente estudo, encontrou um valor de 47,85MgC/ha. Assim, é possível evidenciar com os estudos na região do presente trabalho, que a conversão das pastagens degradadas em áreas restauradas tem um aumento do quantitativo de carbono estocado variando na ordem de 604% a 1359%, o que contribui sobremaneira na mitigação das mudanças climáticas globais.

Partindo-se para as comparações com as formações naturais pode-se citar os alguns trabalhos para as florestas estacionais semidecíduais, entre Ribeiro *et al.* (2010), que ao estudar uma capoeira, floresta em estágio inicial de regeneração, no município de Viçosa, Minas Gerais, estimaram 19,50 MgC/ha. Amaro *et al.* (2013) encontraram um estoque médio total de 108,98 MgC/ha para um fragmento florestal e Ribeiro *et al.* (2009), encontraram um estoque de carbono igual a 83,34 MgC/ha. Assim, pode-se inferir com esses estudos que as espécies arbóreas possuem a maior capacidade

de sequestrar carbono que as pastagens e que a depender do seu estágio de regeneração podem fixar mais ou menos carbono.

Segundo Watzlawick *et al.* (2002) o estoque de carbono é maior em estágio avançado pelo fato de nesse estágio ter indivíduos com um porte maior, além de apresentar uma composição florística mais rica em espécies, com madeira de maior densidade.

Assim, observa-se que uma maior fixação de carbono se tem da floresta em estágio inicial (capoeira), em direção a uma floresta em estágio final de regeneração, sempre estocando mais carbono que as pastagens degradadas no cenário inicial e, portanto, nota-se um incremento de carbono das pastagens em direção as formações florestais. Assim, as pastagens não são consideradas sumidouros de carbono, mas podem ser consideradas como linha de base em ações de compensação de carbono e que as medidas compensatórias devem ser adicionais às práticas vigentes, para a progressão de carbono na área, por exemplo, reflorestamento com espécies nativas ou atividades de conservação (BRIANEZI *et al.*, 2014).

É importante destacar que a década compreendida em 2021 e 2030 foi declarada pela União das Nações Unidas – ONU, como a década da restauração. Essa declaração feita pela Assembleia Geral da ONU em março de 2019, objetiva intensificar a restauração de ecossistemas degradados e destruídos, pelo seu potencial de combater a crise provocada pelas mudanças climáticas e melhorar a segurança alimentar, o fornecimento de água e a biodiversidade, bem como de importância única para a criação de novos empregos (ONU, 2019). Além deste grande desafio global, o Brasil tem seu próprio desafio firmado quando da instituição da Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa – PROVEG. Para sua implementação foi instituído o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAVEG que tem uma meta de recuperar 12 milhões de hectares de vegetação nativa até 2030, principalmente em áreas de preservação permanente (APP) e reserva legal (RL), mas também em áreas degradadas com baixa produtividade (MMA, 2020).

É sabido que no Brasil tem-se 180 milhões de áreas cobertas com pastagens, sendo que 50% encontram-se em algum estágio de degradação, e desses, a maioria altamente degradada (ZEBU, 2015). Sendo então, áreas de baixa produtividade, indicadas para a aplicação do PLANAVEG. O entendimento do estoque de carbono na linha de base da restauração, como aqui apresentado, traz ao profissional da área de restauração ecológica um entendimento sobre o potencial de ganhos ecológicos, sociais e econômicos de uma ação de restauração que visa converter uma paisagem de baixa produtividade em uma paisagem produtiva em termos ecossistêmicos, gerando benefícios a todos. E permite a percepção da importância do profissional com formação na área, frente aos desafios impostos à restauração dos ecossistemas degradados em nosso País.

Conclusão

Diante do exposto é possível concluir que a depender das condições em que as pastagens degradadas se encontram, estas vão armazenar mais ou menos carbono. Da mesma maneira que a quantidade de carbono armazenado por pastagem degradada é menor em relação ao armazenado por áreas em processo de restauração e nos diferentes estágios sucessionais das formações florestais. Portanto, a restauração de pastagens degradadas se torna um importante instrumento de geração de empregos e auxiliará o Brasil no cumprimento das metas de restauração ecológica acordadas em políticas públicas que visam à reversão do cenário de degradação ambiental em nosso País.

Referências

AMARO, M. A. *et al.* Estoque Volumétrico, de Biomassa e de Carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.37, n.5, p.849-857, set./out., 2013.

BAEDE, A. P. M. *et al.* **Em Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge University Press: Cambridge, 2001,

BEIGUELMAN, B. **Curso Prático de Bioestatística**. 5.ed. Ribeirão Preto: FUNPEC, 2002.

BELLOTO, A.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Principais Iniciativas de Restauração Florestal na Mata Atlântica, apresentadas sob a ótica da Evolução dos Conceitos e dos Métodos Aplicados. In: RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Orgs.). **Pacto pela Restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**: São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009.

BLENGINI, I. A. D; CINTRA, M.A.M. U.; CUNHA, R. P. P.; CAIAFA, A. N. **Proposta de unidade de conservação na Serra da Jiboia**. Salvador: GAMBÁ. 2015.

BRIANEZI, D. *et al.* Balanço de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Campus da Universidade Federal de Viçosa. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 2, p. 182-191, abr./jun., 2014.

CAIAFA, A.N. A vegetação na Serra da Jiboia. In: Blengini, I.A.D *et al.* **Proposta de unidade de conservação na Serra da Jiboia**. Salvador: GAMBÁ. p. 72-83. 2015.

CAIAFA, A. N. *et al.* A restauração ecológica no Recôncavo Sul Baiano: cenário atual e necessidades futuras. In: DUARTE, E.F. **Recursos e estratégias para a restauração florestal**: ações para o Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas: EDUFRB. p. 105-135. 2016.

CASALE, H. Cafeicultura com mato no pé: considerações sobre o valor e a importância da matéria orgânica para a saúde do cafeeiro, a qualidade do grão e a produtividade. **AGRO DBO**, n. 42, p.32-35, 2013.

CASTRO, M. M. **Estoque médio de carbono em pasto de sistemas agroflorestais**, Viçosa, MG. 2014. 36f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG., 2014.

COSTA, O.V. **Estoque de Carbono e Indicadores de Qualidade do Solo de Tabuleiro Sob Pastagem no Sul da Bahia**. 2005. 64f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG, 2005.

DOURADO, E.S. **Estimativa de carbono armazenado em um reflorestamento do bioma Mata Atlântica**. 2015. 29f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015.

DURIGAN, G. O uso de indicadores para monitoramento de áreas em recuperação. **Cadernos da Mata Ciliar**, n.4, p.11-39, 2011.

FIORINI, A. C. O. **A Importância da Madeira Morta para Estimar Estoques de Carbono em Florestas Degradadas: Implicações para Ações de Redução de Emissão Por Desmatamento e Degradação Florestal**. 2012. 137f. Dissertação (Mestrado Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

GODOY, J.F.L. **Ecofisiologia do estabelecimento de leguminosas arbóreas da Mata Atlântica, pertencentes a diferentes grupos funcionais, sob atmosfera enriquecida com CO₂: uma abordagem sucessional**. 2007. 114f. Tese (Doutorado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente), Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo, 2007.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G.A. **Ecologia vegetal**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009,

HOPPE, L. *et al.* Desenvolvimento sustentável e o Protocolo de Quioto: uma abordagem histórica do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 32, n. 1, jun., 2011.

MAGALHÃES, A. F. *et al.* Influência do nitrogênio e do fósforo na produção do capim-braquiária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 36, n. 5, p. 1240-1246, set./out., 2007.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/florestas/politica-nacional-de-recuperaçao-da-vegetacao-nativa.html>. Acesso em: 27 ago. 2020.

MONTEIRO, H. C. F. *et al.* Dinâmica de decomposição e mineralização de nitrogênio, em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.31, n.3, p.1092-1102, jun., 2002.

OLIVEIRA, N. **Caracterização físico-ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho Trapiá/Jacutinga, Recôncavo Sul, BA.** 2003. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2003.

ONU - UNITED NATION. **Decade on Ecosystem Restoration.** Disponível em: www.decadeonrestoration.org. Acesso em: 28 ago. 2020.

PAULINO, V. T.; TEIXEIRA, E.M.L. **Sustentabilidade de pastagens:** manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa. CPG–Produção Animal Sustentável, Ecologia de Pastagens, IZ, APTA/SAA, 2009.

POELKING, E.L.; COSTA, O.V.; GLOAGUEN, T.V. **Caracterização do meio físico:** geologia, geomorfologia hidrografia e pedologia. In: Blengini, I.A.D *et al.* Proposta de unidade de conservação na Serra da Jiboia. Salvador: GAMBÁ. p. 37-69. 2015.

QUEIROZ, D. S. *et al.* **Quantificação da biomassa e do carbono em pastagens naturais na Zona da Mata-MG.** In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S. Sequestro de carbono: Quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Viçosa: Epamig, p. 180-189, 2006.

RENNER, R. M. **Sequestro de Carbono e Viabilização de Novos Reflorestamentos no Brasil.** 2004. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

RIBEIRO, S. C. **Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando a geração de créditos de carbono em pastagem, capoeira e floresta primária.** 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, 2007.

RIBEIRO, S. C. *et al.* Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da Zona da Mata Mineira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 3, p. 495-504, maio/jun., 2010.

RIBEIRO, S.C. *et al.* Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa- MG., v. 33, n. 5, p. 917-926, set./out., 2009.

ROCHA, J.I. da S. **Estimativa de carbono armazenado em áreas de reabilitação ecológica da empresa Danco comercio e indústria de fumos LTDA.** 2017. 46p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Comparação do Estoque de C Estimado em Pastagens e Vegetação Nativa de Cerrado. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia v. 24, n. 2, p. 359-375, maio/ago., 2012.

SER – SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica.** Tucson: Society for Ecological Restoration International. 2004.

SER - SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. **International principles and standards for the practice of ecological restoration.** Second Edition. Tucson: Society for Ecological Restoration. 2019.

SILVA NETO, S. P. S. *et al.* Dependência espacial em levantamentos do estoque de carbono em áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 4, p. 547-556, 2012.

SZÁKASC, G.G. J. **Sequestro de carbono nos solos – avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens, Anhembi, Piracicaba/SP.** 126f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

TIEPOLO, G.; CALMON, M.; FERETTI, A. R. **Measuring and Monitoring Carbon stocks at the Guaraquecaba climate action project, Parana,**

Brazil. *In: Proceedings of the International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring.* p. 11-15. 2002.

TOMASONI, M.A.; SANTOS, S.D. Lágrimas da Serra: Os Impactos das Atividades Agropecuárias Sobre o Geossistema da APA Municipal da Serra da Jiboia, Município de Elísio Medrado, Ba. *In: Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, 10, Rio de Janeiro, Anais...Rio de Janeiro: Ed.UFRJ, 2003.*

WATZLAWICK, L. F. *et al.* **Fixação de Carbono em Floresta Ombrófila Mista em Diferentes Estágios de regeneração.** *In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. As Florestas e o Carbono. Curitiba: UFPR, 2002.*

WILLIAMS, M. *et al.* Predicting Gross Primary Productivity in Terrestrial Ecosystems. **Ecological Applications**, Washington, v. 7, n. 3, p. 882-894, 1997.

ZANINE, A. M. *et al.* Comportamento ingestivo de vacas Girolandas em pastejo de *Brachiaria brizantha* e Coast-cross. **Revista Brasileira de Saúde em Produção Animal**, Salvador, v.10, n.1, p.85-95, jan./mar., 2009.

ZEBU - Centro de Referência da Pecuária Brasileira. **Manejo e Recuperação de Pastagens.** Disponível em <http://www.crpbz.org.br/Home/Conteudo/13879-Manejo-e-recuperacao-de-pastagens>. Acesso em: 14 maio. 2015.

Sobre os autores

Admilson de Santana Sacramento

Mestre em Recursos Genéticos Vegetais pelo Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais (2014). Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) (2011). Área de atuação - Engenharia Florestal. Professor Estadual do Ensino Médio, Cruz das Almas, Bahia.

E-mail: admilson-87@hotmail.com

Alessandra Nasser Caiafa

Doutora em Biologia Vegetal pela Universidade Estadual de Campinas (2008). Mestre em Botânica pela Universidade Federal de Viçosa (2002). Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2000). Área de atuação: Ecologia Vegetal. Professora Associada do CCAAB/UFRB.

E-mail: ancaifa@ufrb.edu.br

Bruno Meira Gomes

Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2016). Área de atuação: Recursos Florestais e Engenharia Florestal.

E-mail: meira_bruno@hotmail.com

Claudia Bloisi Vaz Sampaio

Doutora em Água e Solo pela Faculdade de Engenharia Agrícola/ UNICAMP (2006). Mestre em Ciências Agrárias pela Universidade Federal da Bahia (1995). Graduada em Agronomia pela Universidade Federal da Bahia (1987). Área de atuação: Geoprocessamento, Degradação Ambiental, Bacia Hidrográfica, Impacto Ambiental e Aptidão de Terra. Professora Associada do CCAAB/UFRB.

E-mail: bloisi@ufrb.edu.br

Deoclides Ricardo de Souza

Doutor em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2003). Mestre em Ciências Florestais pela Universidade de São Paulo (1995). Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal

de Viçosa (1988). Área de atuação: Manejo Florestal. Professor Titular do CCAAB/UFRB.

E-mail: drsouza@ufrb.edu.br

Elton da Silva Leite

Doutor em Mecanização Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) (2012). Mestre em Ciência Florestal pela UFV (2010). Graduado em Engenharia Florestal pela UFV (2007). Área de atuação: Mecanização e Conservação de Solos. Professor Associado do CCAAB/UFRB.

E-mail: elton@ufrb.edu.br

Everton Luis Poelking

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa (2011). Mestre em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria (2007). Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria (2005). Área de atuação: Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Professor Adjunto da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

E-mail: everton@ufrb.edu.br

Felipe da Silva Barreto

Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2012). Área de atuação: Recursos Florestais e Engenharia Florestal.

E-mail: felipedasilvab@outlook.com

Francisco de Assis Costa

Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (2017). Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2015). Área de atuação: Economia e Colheita Florestal.

E-mail: assiscferreira@gmail.com

Gustavo Luis Schacht

Doutor em Geografia Física pela Universidade de São Paulo (2017). Mestre em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (2012). Graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (2009). Área de atuação: Geografia Física, Biogeografia e Meio Ambiente. Professor Adjunto da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

E-mail: schacht@ufrb.edu.br

Isabela Santos Oliveira

Mestre em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2019). Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2017). Área de atuação: Recursos Florestais e Engenharia Florestal.

E-mail: engenheira_isabella@hotmail.com

Ísis Oliveira Santos Silva

Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2012). Área de atuação: Recursos Florestais e Engenharia Florestal.

E-mail: isisoliveiraengflorestal@gmail.com

Jailton de Jesus Silva

Doutorando em Botânica pela Universidade Estadual de Feira de Santana. Mestre em Recursos Genéticos Vegetais (2018). Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2015). Área de atuação: Ecologia da conservação, Fisiologia Vegetal, Germinação e Crescimento Vegetal.

E-mail: jj.jailton@outlook.com

Jefferson Soares Santos

Graduando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2018). Área de atuação: Recursos Florestais e Engenharia Florestal.

E-mail: jeffsoares.florestal@gmail.com

João Pereira dos Santos

Graduado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2018). Área de atuação: Agronomia: tecnologia de sementes.

E-mail: joaopereira_gs25@hotmail.com

Jocy Ana Paixão de Sousa

Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2018). Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2015). Área de atuação: Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.

E-mail: jocy_belem@hotmail.com

Júlio Eduardo Arce

Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (Brasil, 2000). Mestre em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (1997). Graduado em Engenharia Florestal - Universidad Nacional de La Plata (1993). Área de atuação: Manejo, Ordenamento, Planejamento e Administração Florestal. Professor Titular da Universidade Federal do Paraná.

E-mail: jarce@ufpr.br

Laiana dos Santos Trindade

Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2018). Área de atuação: Recursos Florestais e Engenharia Florestal.

E-mail: lay.trindade@live.com

Liniker Fernandes da Silva

Doutor em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV) (2016). Mestre em Ciência Florestal pela UFV (2014). Graduado em Engenharia Florestal pela UFV (2010). Área de atuação: Economia e Planejamento Florestal. Professor Adjunto do CCAAB/UFRB.

E-mail: liniker@ufrb.edu.br

Lucas Gabriel Souza Santos

Mestrando em Recursos genéticos Vegetais pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2019). Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2019). Área de atuação: Recursos Florestais e Engenharia Florestal.

E-mail: lgssantos2@gmail.com

Luis Carlos de Freitas

Doutor em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2008). Mestre em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2004). Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (1996). Área de atuação: Colheita e Transporte Florestal. Professor Titular da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Email: luisfreitas@uesb.edu.br

Marcela Guedes Dourado

Mestranda em Agroecossistemas na Universidade Tecnológica

Federal do Paraná (2019). Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2019). Área de atuação: Recursos Florestais e Engenharia Florestal.

E-mail: marcelaguedesd@gmail.com

Mariana Duarte Silva Fonseca

Doutora em Ciências Florestais pela Universidade Federal do Espírito Santo (2019). Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Federal do Espírito Santo (2015). Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2013). Área de atuação: Fisiologia Florestal.

E-mail: duarte.123@hotmail.com

Marx Sandino Santos Monteiro

Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2016). Área de atuação: Recursos Florestais e Engenharia Florestal.

E-mail: marxsandino@gmail.com

Raissa Homem Gonçalves

Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2012). Área de atuação: Recursos Florestais e Engenharia Florestal.

E-mail: raissa-hg@hotmail.com

Simone Alves Silva

Doutora na área de Genética e Biotecnologia, do Programa de Ciência e Tecnologia de Sementes pela UFPEL, RS (2002). Mestrado em Fitomelhoramento pela UFPEL (1999). Graduada em Agronomia pela UFBA (1996). Área de atuação: Melhoramento Vegetal e Biotecnologia. Professora Titular do CCAAB/UFRB. Coordenadora da Pós-graduação em RGV (UFRB-Embrapa) e do NBIO/UFRB.

E-mail: sas@ufrb.edu.br

Taline Borges Ribeiro

Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2012). Área de atuação: Recursos Florestais e Engenharia Florestal.

E-mail: tally_borges@hotmail.com

Teresa Aparecida Soares de Freitas

Doutora em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2013). Mestre em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2007). Graduada em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (2001). Área de atuação: Silvicultura: tecnologias de sementes e mudas florestais. Professora Associada do CCAAB/UFRB.
E-mail: teresa@ufrb.edu.br

No livro "Inovação e Sustentabilidade em Recursos Florestais" são abordados temas nos diversos campos de atuação do Engenheiro florestal, com ênfase à silvicultura, manejo, planejamento de operações, recuperação de áreas degradadas, uso e ocupação dos solos, em diferentes sistemas produtivos e ecossistema. Os capítulos contemplam trabalhos de conclusão de curso desenvolvidos por discentes do Curso de Graduação em Engenharia Florestal da UFRB abordando técnicas avançadas e atuais, como exemplo o uso de VANT's, Geoestatística, Programação Matemática e Sistema de Informação Geográfica. Assim, esta obra reúne conhecimento técnico/científico adquirido pelos graduandos em Engenharia Florestal.

ISBN: 978-65-88622-17-9

