



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

ALESSIO MOREIRA DOS SANTOS

**DINÂMICA DE POPULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA
PALMEIRA BABAÇU (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) NO PROJETO
DE ASSENTAMENTO BENFICA, ITUPIRANGA, PARÁ**

**BELÉM
2017**

ALESSIO MOREIRA DOS SANTOS

**DINÂMICA DE POPULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA
PALMEIRA BABAÇU (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) NO PROJETO
DE ASSENTAMENTO BENFICA, ITUPIRANGA, PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural
da Amazônia, como parte das exigências do
Curso de Doutorado em Ciências Florestais:
área de concentração Ciências Florestais, para
obtenção do título de Doutor.

Orientadora: Dra. Izildinha de Souza Miranda

Co-orientadora: Dra. Danielle Mitja

**BELÉM
2017**

Santos, Alessio Moreira dos

Dinâmica de população e distribuição espacial da palmeira babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) no Projeto de Assentamento Benfica, Itupiranga, Pará / Alessio Moreira dos Santos. – Belém, 2017.

95 f.

Tese (Doutorado em Ciências Florestais/Agroecossistemas da Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2017.

Orientador: Izildinha de Souza Miranda.

1. Babaçu – distribuição espacial 2. Palmeiras - estrutura populacional 3. Sensoriamento remoto - Amazônia brasileira 4. Modelagem matemática I. Miranda, Izildinha de Souza, (orient.) II. Título.

CDD – 631.583416

ALESSIO MOREIRA DOS SANTOS

**DINÂMICA DE POPULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA
PALMEIRA BABAÇU (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) NO PROJETO
DE ASSENTAMENTO BENFICA, ITUPIRANGA, PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Florestais: área de concentração Ciências Florestais, para obtenção do título de Doutor.

Aprovado em 26/04/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dra. Izildinha de Souza Miranda – Orientadora
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Dr. Eugênio Celso Emérito Araújo – 1º Examinador
EMBRAPA MEIO-NORTE

Prof. Dr. Gustavo Schwartz – 2º Examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

Dr. Roberto Porro – 3º Examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

Prof^a Dra. Ima Célia Guimarães Vieira – 4º Examinador
MUSEU PARAENSE EMILIO GOELDI

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Eunice Moreira dos Santos (*in memoriam*) e aos meus filhos, Mélanie Macedo Moreira (*in memoriam*) e Henri Macedo Moreira.

AGRADECIMENTOS

À família pela ajuda e por acreditarem em mim.

À Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará pelo apoio para que eu pudesse cursar a pós-graduação.

À minha co-orientadora e pesquisadora do IRD (Institut de Recherche pour le Développement - Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento), Dr^a Danielle Mitja, pela confiança, experiências no campo e contribuição valorosa na construção da tese.

À minha orientadora, prof^a Izildinha Miranda, pela paciência, apoio e dedicação durante a realização deste trabalho.

Aos colegas do grupo de pesquisa Biodiversidade da Amazônia-BIOAMA pelas sugestões e críticas sempre pertinentes.

Ao órgão IRD cujo apoio permitiu a realização deste trabalho, financiado no âmbito dos projetos CNES-TOSCA/babaçu e RELAIS.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos de doutorado sanduíche pelo período de 12 meses.

Aos pesquisadores e funcionários da unidade Espace-Dev/IRD pela recepção durante o período de doutorado sanduíche em Montpellier-França. Em especial ao Dr. Eric Delaître e ao Dr. Laurent Demagistri, pela ajuda no trabalho de campo e no entendimento do sensoriamento remoto.

Aos profissionais do INRA (Institut National de Recherche en Agronomie - Instituto Nacional de Pesquisa em Agronomia), Dr. Patrice Loisel e Dr. Nikolay Sirakov, pela contribuição ao trabalho com a modelagem matemática.

À comunidade acadêmica do curso de Ciências Florestais pelos ensinamentos e convivência.

Por fim, aos agricultores do assentamento Benfica em Itupiranga-PA, pela receptividade em seus estabelecimentos durante o trabalho de campo; e especialmente ao Sr. Deurival da Costa Carvalho pela companhia e ensinamentos nos quatro anos de coleta no campo.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	9
REFERÊNCIAS	13
2. ESTIMATING BABASSU PALM DENSITY USING AUTOMATIC PALM TREE DETECTION WITH VERY HIGH SPATIAL RESOLUTION SATELLITE IMAGES	17
ABSTRACT	17
RESUMO	18
2.1. Introduction	19
2.2. Material and Methods	21
2.2.1. Characterization of the study area	21
2.2.2. Field data	23
2.2.3. Remote sensing image	24
2.2.4. LCC palm tree detection algorithm development and evaluation	25
2.2.5. Density map and calculation of the babassu resource estimate	27
2.2.6. Statistical analyses	28
2.3. Results	28
2.3.1. Structural characteristics of the LCC palm trees	28
2.3.2. The structural characteristics of the individuals detected/undetected by the algorithm	30
2.3.3. Algorithm quality and LCC palm tree density	32
2.3.4. Babassu resource density productivity estimate	34
2.4. Discussion	34
2.4.1. The contribution of the field methods to validate the remote-sensing data	34
2.4.2. Algorithm performance for the automatic detection of LCC palm trees	36
2.4.3. The potential use of this technique for babassu productivity monitoring, planning, and management	37
2.5. Conclusions	38
REFERENCES	39
3. ESTRUTURA POPULACIONAL DA PALMEIRA BABAÇU EM DIFERENTES HABITATS NO SUDESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA	44
RESUMO	44
ABSTRACT	45
3.1. Introdução	46
3.2. Material e Métodos	47
3.2.1. Área de estudo	47
3.2.2. Levantamento de campo	48
3.2.3. Análise dos dados	50
3.3. Resultados	51
3.3.1. Caracterização morfológica dos estágios nos diferentes habitats	51

3.3.2. Estrutura populacional ao longo de três anos	52
3.4. Discussão	56
3.4.1. Caracterização morfológica.....	56
3.4.2. Estrutura populacional ao longo dos anos	56
3.5. Conclusão	59
REFERÊNCIAS	60
4. DINÂMICA DE POPULAÇÃO E CENÁRIOS DE EXPLORAÇÃO DA PALMEIRA BABAÇU EM ÁREAS DE PASTAGENS	64
RESUMO	64
ABSTRACT	65
4.1. Introdução	66
4.2. Material e Métodos	68
4.2.1. Área de estudo	68
4.2.2. Espécie estudada e estágios ontogenéticos.....	70
4.2.3. Levantamento de campo.....	70
4.2.4. Tipologia dos grupos de transectos	72
4.2.5. Descrição do modelo bayesiano	72
4.2.6. Simulação de cenários	73
4.3. Resultados	74
4.3.1. Produção de Frutos	74
4.3.2. Densidade relativa de babaçu nas pastagens	74
4.3.3. Tipologia das estruturas populacionais	75
4.3.4. Simulações da coleta de frutos	76
4.4. Discussão	81
4.4.1. Produção de frutos e estrutura populacional do babaçu nos transectos.....	81
4.4.2. Limitações do modelo de dinâmica populacional	83
4.4.3. Dinâmica populacional nos cenários de coleta.....	84
4.4.4. Implicações para o manejo e aproveitamento do recurso.....	86
4.5. Conclusões	87
REFERÊNCIAS	88
5. CONCLUSÕES GERAIS	94

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi fornecer informações que auxiliem as políticas públicas no estabelecimento de uma gestão sustentável do babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng) a partir de estudos sobre a dinâmica de população e a distribuição espacial da palmeira babaçu no Projeto de Assentamento Benfica, localizado no município de Itupiranga, Estado do Pará. Os objetivos específicos foram: analisar a estrutura de população do babaçu em diferentes habitats; analisar a dinâmica do babaçu em função do nível de exploração; e analisar a detecção automática de palmeiras em imagens de altíssima resolução espacial (GeoEye 0,50 m). Foram estudados 6747 indivíduos de babaçu de seis estágios de vida (da plântula ao adulto) em áreas de florestas (n=4), pastagens de diferentes idades (n=17) e babaçuais (n=4). As características morfológicas obtidas anualmente (2013-2016) foram: número de folhas, tamanho do pecíolo, altura total, altura do estipe, diâmetro a 30 cm do solo, diâmetro à altura do peito (DAP) e circunferência da coroa. Os estudos indicaram que a estrutura populacional do babaçu é diferente entre os habitats, principalmente entre os ambientes secundários (pastagem e babaçual) e florestas primárias. Para simulação da dinâmica da espécie em função de diferentes níveis de exploração (0%, 10%, 25%, 50%, 75% e 100% de coleta dos frutos) foi utilizado um modelo hierárquico bayesiano. Os resultados das simulações revelaram que as taxas de coleta de 50% ou 75% são consistentes com uma população viável por 15 anos. Para a detecção automática foi utilizado o algoritmo “Compt-palm” em uma imagem GeoEye (0,50 m) de 2013 e validamos as informações espaciais com metodologias de campo (levantamento estrutural e georeferenciamento). O algoritmo de detecção reconheceu indivíduos de dois estágios de vida (estágios 5 e 6) e o resultado da detecção (75,45% de qualidade) de palmeiras em áreas naturais não plantadas foi considerado satisfatório. Essas informações poderão auxiliar as políticas públicas no estabelecimento de uma gestão sustentável da espécie e vem atender à demanda social sobre a disponibilidade do recurso e as previsões de evolução da população do babaçu em função do nível de exploração.

Palavras-Chave: Palmeiras; Sensoriamento remoto; Estrutura populacional; Modelagem matemática, Amazônia brasileira

ABSTRACT

The objective of this study was to provide information to support public policies to establish sustainable management of babassu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng) from results on population dynamics and spatial distribution of the species in the Benfica Settlement Project, state of Pará, Brazil. The specific objectives were: to analyze the population structure of babassu in different habitats; to analyze the dynamics of babassu according to the level of exploitation; and to analyze the automatic detection of palms in very high spatial resolution satellite images (GeoEye, 0.50 m). A total of 6,747 individuals from six life stages (seedling to adult) in forest areas (n = 4), pastures of different ages (n = 17) and babaçuais (babassu lands, n = 4) were studied. The yearly structural data obtained (2013-2016) were: petiole length, number of leaves, total height, stipe height, crown circumference, and diameter at 30 cm aboveground and at breast height. Studies have indicated that the population structure of babassu is different among habitats, mainly between the secondary environments (pasture and babaçual) and primary forests. In order to simulate the dynamics of the species as a function of different levels of exploitation (0%, 10%, 25%, 50%, 75% and 100% of fruit collection) a Bayesian hierarchical model was used. The simulation results revealed that the collection rates of 50% or 75% are consistent with a viable population for 15 years. For automatic detection, the "Compt-palm" algorithm was used in a GeoEye image (0.50 m) from 2013 validated through field methods (i.e. structural census and georeferencing). The detection algorithm recognized individuals of two stages of life (stages 5 and 6) and the results of detection (75.45% of quality) of palms in natural areas not planted were considered promising. This information can help public policies in the establishment of a species sustainable management meeting social demands on the availability of such resource. It also foresees the tendencies of the babassu populations according to the level of exploitation.

Keywords: Palm trees; Remote sensing; Population structure; Mathematical modeling; Brazilian Amazonia

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A heterogeneidade edafoclimática da região amazônica explica parcialmente a distribuição das palmeiras (Arecaceae) (Montúfar e Pintaud, 2006). Geralmente as palmeiras são encontradas em todos os estratos florestais, sítios topográficos e tipos de solos (Kahn e Castro, 1985; Arroyo-Rodríguez et al., 2007), mas a ocorrência é maior em solos hidromórficos, menos desenvolvidos e menos estruturados (Kahn e Castro, 1985; Kahn, 1987; Emilio et al., 2013). O fator climático, através da umidade, temperatura e sazonalidade da precipitação, tem grande importância na distribuição de espécies de palmeiras em grande escala (Salm et al., 2007; Eiserhardt et al., 2011; Kristiansen et al., 2011; Vedel-Sorensen et al., 2013); contudo, o solo, a topografia e a hidrologia são importantes em escalas locais (Salm et al., 2007; Eiserhardt et al., 2011); e a dispersão, que influencia os processos demográficos e genéticos (Andreazzi et al., 2009), é importante em todas as escalas (Eiserhardt et al., 2011). Além desses fatores, os distúrbios naturais e antrópicos também podem influenciar a distribuição de espécies (Alexandre-Júnior e Soares-Júnior, 2009) e de indivíduos de uma população (Cain et al., 2011).

A palmeira babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) é uma planta nativa da floresta primária do bioma Amazônico e da floresta de galeria do bioma Cerrado (May et al., 1985; Peters et al., 1989; Anderson et al., 1991), quando adulta possui de 10-30 metros de altura e diâmetro de 30-60 cm (Lorenzi et al., 2010). Estima-se que o babaçu ocupe até 18 milhões de hectares do território brasileiro distribuído nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins, Pará, Goiás, Mato Grosso, Amazonas, Rondônia, Ceará, Bahia e Minas Gerais (MDA, 2009), e que beneficia cerca de 400 mil trabalhadores extrativistas (Almeida, 2005) devido a seus mais de 60 tipos de usos, da raiz até às folhas (May et al., 1985; Araujo e Lopes, 2012).

De todas as partes da palmeira o fruto do babaçu é o mais utilizado, devido ao maior retorno econômico (Campos et al., 2015). Da semente é extraído o óleo, matéria-prima utilizada na fabricação de produtos de limpeza (Ex. sabão, sabonete) e cosméticos; o azeite e o leite são para o uso doméstico e seu resíduo é usado na alimentação animal. O mesocarpo do fruto é transformado em farinha comestível. O epicarpo e o endocarpo fornecem um carvão de alta qualidade ou servem para fabricação de objetos de artesanato. Suas folhas servem à confecção de utilitários (cercas, coberturas de casa, artesanato), têm usos agrícolas (adubo) e medicinais (antiséptico). Seu caule (palmeira ainda nova) fornece um palmito de qualidade, enquanto o estipe do adulto serve de material de construção (pontes, fundações de casa) (May et al., 1985; Porro et al., 2011; Santos e Mitja, 2011; González-Pérez et al., 2012;

Araujo e Lopes, 2012; Parente e Cavalcanti, 2013). Outro uso, em fase de teste, é a utilização do óleo de babaçu como biodiesel (Da Rós et al., 2014).

Estudos ecológicos de palmeiras de uso múltiplo como o babaçu é muito pertinente num cenário em que se busca a recuperação de ecossistemas alterados e redução do desmatamento. Em alternativa à extração madeireira, a exploração de produtos florestais não madeireiros (PFNMs), desde que bem planejada (com redes comerciais externas), poderia ser economicamente competitiva e sustentável ecologicamente, diminuindo a pressão sobre as florestas (Ros-Tonen e Wiersum, 2003; Schroth et al., 2004; Wadt et al., 2005). No entanto, a colheita excessiva de PFMNs também pode modificar a estrutura de uma população e afetar a sua viabilidade ao longo do tempo (Sampaio et al., 2008; Herrero-Jáuregui et al., 2012). Por exemplo, uma coleta excessiva de frutos pode alterar as taxas de recrutamento do babaçu (Campos et al., 2015). Por outro lado, o comportamento invasivo e a capacidade de colonizar áreas perturbadas, pode favorecer a expansão do babaçu e transformar antigas áreas agrícolas em florestas monodominantes de babaçu (Almeida et al., 2016), o que há muito tempo vem sendo motivo de preocupação para agricultores e fazendeiros (May, 1990).

Nesse sentido, é necessário um maior suporte científico com trabalhos experimentais que auxiliem as práticas extrativistas e agrícolas, no sentido de fornecer informações essenciais sobre o ciclo de vida da espécie (sobrevivência, crescimento e taxas de reprodução), tanto para determinar o uso e a intensidade de exploração mais sustentável, quanto para o controle da densidade de indivíduos nas áreas cultivadas.

No estudo de populações vegetais deve ser observado não somente o número de indivíduos, mas às classes de desenvolvimento a que estes indivíduos pertencem, assim como a frequência de cada classe na população (Begon et al., 2007; Gurevitch et al., 2009). As classes de desenvolvimento podem ser definidas considerando a idade (Ex. 5 a 10 anos de vida) e o tamanho (Ex. Classes de 0-2 cm) (Gurevitch et al., 2009), mas a classificação baseada em estágios de vida ou estágios ontogenéticos (Ex. semente, plântula, juvenil, adulto), em oposição à idade, é considerada mais apropriada (Gatsuk et al., 1980; Smirnova et al., 2002; Begon et al., 2007; Gurevitch et al., 2009). Primeiro, porque os indivíduos da mesma espécie chegam a um certo estágio de vida em diferentes momentos (Smirnova et al., 2002); segundo porque a mortalidade, crescimento e natalidade de indivíduos estão mais relacionadas ao estágio de vida do que com a idade cronológica (Gurevitch et al., 2009; Portela e Santos, 2011); e terceiro porque embora seja importante para a planta, a determinação da idade é praticamente impossível (Smirnova et al., 2002; Gurevitch et al., 2009) devido à constante renovação de suas partes perenes (Gatsuk et al., 1980; Smirnova et

al., 2002). Assim, nos censos demográficos realizados no âmbito dos estudos de estrutura e dinâmica de populações, os indivíduos são, preferencialmente, separados de acordo com seus estágios ontogenéticos (do nascimento à morte); essa classificação facilita a compreensão da estrutura e possibilita inferir sobre a sobrevivência e reprodução dos indivíduos em simulações da dinâmica da espécie (Silva et al., 2009).

A observação da estrutura de população é uma etapa precedente à dinâmica da espécie. O conceito de estrutura populacional se refere à densidade e à disposição de indivíduos no habitat adequado e às proporções de indivíduos em cada classe (Ricklefs, 2003). Os fatores bióticos e abióticos do meio agem em conjunto para determinar a distribuição e a abundância de uma população (Cain et al., 2011). As populações apresentam um comportamento dinâmico continuamente mudando no tempo devido ao nascimento e morte dos indivíduos (Ricklefs, 2003).

Diversos trabalhos utilizaram a modelização matricial para estudo da dinâmica de população de diferentes espécies de palmeiras (Rodríguez-Buritica et al., 2005; Arango et al., 2010; Navarro et al., 2011). As predições se baseiam no pressuposto de que uma população irá atingir um ponto de equilíbrio quando a sua taxa de crescimento (λ) for constante, e este será o indicador nas simulações dos diferentes níveis de exploração (Rodríguez-Buriticá et al., 2005). Assim é possível observar as taxas de mudança da população e minimizar eventuais impactos negativos em população de palmeiras com exploração de folha, fruto e estipe, sem comprometer a produção (Pinard e Putz, 1992). Mas sob um clima tropical o comportamento de uma espécie vegetal pode ser muito variável. Esta variabilidade está ligada aos múltiplos fatores exógenos (insolação, pluviometria). Neste contexto, uma modelização probabilística com o modelo bayesiano permitiria levar em consideração esta variabilidade (Clark, 2005; Mitja et al., no prelo).

Adicionalmente, a obtenção da densidade da palmeira babaçu através de técnicas de sensoriamento remoto, vem juntamente com o estudo da dinâmica de população contribuir para a exploração sustentável do babaçu pelas populações rurais. Com a disponibilidade das ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), o sensoriamento remoto é cada vez mais usado, principalmente para planejamento espacial de áreas protegidas e desenvolvimento de planos de manejo de espécies ameaçadas (Paese et al., 2012). As técnicas de sensoriamento remoto já vêm auxiliando no monitoramento e manejo de plantios comerciais de dendê (Shafri et al., 2011; Srestasathiern e Rakwatin, 2014) e Eucalipto (Whiteside et al., 2011; Zhou et al., 2013), mas ainda não foram utilizadas em palmeiras nativas, não cultivadas e dispersas aleatoriamente em áreas abertas, como o babaçu.

Nesse contexto, este trabalho se propõe a avaliar a dinâmica de população e a distribuição espacial do babaçu no Projeto de Assentamento Benfica, localizado no município de Itupiranga, estado do Pará, com a finalidade de fornecer informações que auxiliem a elaboração e implantação de políticas públicas no estabelecimento de uma gestão sustentável do babaçu.

O trabalho foi desenvolvido e financiado no âmbito do projeto RELAIS (CNPq/IRD/UFRJ), que visava construir um quadro científico internacional para o estudo da saúde ambiental na Amazônia; projeto Open Science (Agropolis Fondation) que busca fornecer ferramentas e métodos para a decisão e apoio relacionados à gestão sustentável do babaçu nas pastagens no Brasil e projeto CNES TOSCA/Babaçu que testou a contribuição de imagens de altíssima resolução espacial (Plêiades e GeoEye) para detecção do babaçu, além de utilizar as imagens do sensor Landsat para o estudo da história do uso da terra. Especificamente este trabalho busca responder às seguintes questões:

1. A detecção automática de palmeiras em imagem de altíssima resolução espacial pode fornecer a densidade do babaçu em grande escala?
2. Como se comporta a estrutura populacional do babaçu ao longo do tempo?
3. Quais intensidades de coleta podem manter uma população viável por 15 anos?

Essas questões serviram de base para se estabelecer os seguintes objetivos específicos:

- A) Analisar a detecção automática de palmeiras em imagens de altíssima resolução espacial (Geoeye, 0,50 m) após validação dos dados de sensoriamento remoto, por foto-interpretação e metodologias de campo (apresentado no item 2);
- B) Analisar a estrutura de população do babaçu em áreas de pastagens, florestas primárias e babaçuais durante três anos (apresentado no item 3);
- C) Analisar a dinâmica do babaçu em pastagens durante 15 anos, em função do nível de exploração (apresentado no item 4).

REFERÊNCIAS

- Alexandre-Junior, W.R, Soares-Júnior, F.J., 2009. Estrutura populacional de *Roupala montana* Aubl. em um trecho de cerrado *Sensu stricto* no sul de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisas Botânica** 60:301-314.
- Almeida, A.W.B., Neto, J.S., Martins, C.C., 2005. Guerra ecológica nos babaçuais (o processo de devastação dos palmeiras, a elevação do preço de commodities e o aquecimento do mercado de terras na Amazônia). MIQCB/Balaios typographia, São Luís-MA. 186 p.
- Almeida, G.M., Ramos, M.A., Araújo, E.L., Baldauf, C., Albuquerque, U.P., 2016. Human perceptions of landscape change: The case of a monodominant forest of *Attalea speciosa* Mart ex. Spreng (Northeast Brazil). **Ambio** 45(4):458-67.
- Anderson, A.B., May, P.H., Balick, M.J., 1991. **The Subsidy from Nature: Palm Forests, Peasantry, and Development on an Amazon Frontier**. Columbia University Press, New York.
- Andreazzi, C.S., Pires, A.S., Fernandez, F.A.S., 2009. Mamíferos e palmeiras Neotropicais: interações em paisagens fragmentadas. **Oecologia Brasiliensis** 13(4):554-574.
- Arango, D.A., Duque, Á.J., Muñoz, E., 2010. Dinámica poblacional de la palma *Euterpe oleracea* (Arecaceae) en bosques inundables del Chocó, Pacífico colombiano. **Revista de Biología Tropical** 58:465-481.
- Araujo, F.R., Lopes, M.A., 2012. Diversity of use and local knowledge of palms (Arecaceae) in eastern Amazonia. **Biodiversity and Conservation** 21:487–501.
- Arroyo-Rodriguez, V., Aguirre, A., Benitez-Malvido, J., Mandujano, S., 2007. Impact of rain forest fragmentation on the population size of a structurally important palm species: *Astrocaryum mexicanum* at Los Tuxtlas, Mexico. **Biological Conservation** 138:198–206.
- Begon, M., Harper, J.L., Townsend, C.R., 2007. **Ecologia: de Indivíduos a Ecossistemas** - 4ª edição. Editora Artmed. 752 p.
- Cain, M.L., Bowman, W.D., Hacker, S.D., 2011. **Ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 664 p.
- Clark, J.S., 2005. Why environmental scientists are becoming Bayesians. **Ecology Letters** 8:2–14.
- Da Rós, P.C.M., Silva, W.C., Grabauskas, D., Perez, V.H., Castro, H.F., 2014. Biodiesel from babassu oil: Characterization of the product obtained by enzymatic route accelerated by microwave irradiation. **Industrial Crops and Products** 52:313-320.

- Eiserhardt, W.L., Svenning, J.C., Kissling, W.D., Balslev, H., 2011. Geographical ecology of the palms (Arecaceae): determinants of diversity and distributions across spatial scales. **Annals of Botany** 108:1391-1416.
- Emilio, T., Quesada, C.A., Costa, F.R.C., Magnusson, W.E., Schiatti, J., Feldpausch, T. R., Brienen, R.J.W., Baker, T.R., Chave, J., Álvarez E. et al., 2013. Soil physical conditions limit palm and tree basal area in Amazonian forests. **Plant Ecology & Diversity** 7:1-15.
- Gatsuk, L.E., Smirnova, O.V., Vorontzova, L.I., Zaugolnova, L.B., Zhukova, L.A., 1980. Age states of plants of various growth forms: a review. **Journal of Ecology** 68:675-696.
- Gonzalez-Perez, S.E., Coelho-Ferreira, M., Robert, P., Garces, C.L.L., 2012. Conhecimento e usos do babaçu (*Attalea speciosa* Mart. e *Attalea eichleri* (Drude) A. J. Hend.) entre os Mebêngôkre-Kayapó da Terra Indígena Las Casas, estado do Pará, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 26(2):295-308.
- Gurevitch, J., Scheiner, S.M., Fox, G.A., 2009. **Ecologia vegetal**. 2. ed. Porto Alegre: ed. Artmed. 592p.
- Herrero-Jáuregui, C., Sist, P., Casado, M.A., 2012. Population structure of two low density neotropical tree species under different management systems. **Forest Ecology and Management** 280:31-39.
- Kahn, F., 1987. The distribution of palms as a function of local topography in Amazonian terra-firme forests. **Experientia** 43:251-259.
- Kahn, F., Castro, A., 1985. The palm community in a forest of central Amazonia, Brazil. **Biotropica** 20:266-269.
- Kristiansen, T., Svenning, J.C., Pedersen, D., Eiserhardt, W.L., Grández, C., 2011. Local and regional palm (Arecaceae) species richness patterns and their cross-scale determinants in the western Amazon. **Journal of Ecology** 99 (4):1001-1015.
- Lorenzi, H., Noblick, L.R., Kahn, F., Ferreira, E. 2010. **Flora brasileira - Arecaceae** (Palmeiras). Nova Odessa: Plantarum, 384 p.
- May, P.H., 1990. **Palmeiras em Chamas: Transformação Agrária e Justiça Social na Zona do Babaçu**. EMAPA/FINEP, São Luis, Brazil.
- May, P.H., Anderson, A.B., Balick, M.J., Frazão, J.M.F., 1985. Subsistence benefits from the babassu palm (*Orbignya martiana*). **Economic Botany** 39:113-129.
- MDA-Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2009. Promoção Nacional da Cadeia de Valor do Coco Babaçu. Brasília-DF.

- Montúfar, R., Pintaud, J.-C., 2006. Variation in species composition, abundance and microhabitat preferences among western Amazonian terra firme palm communities. **Botanical Journal of the Linnean Society** 151:127-140.
- Mitja, D., Sirakov, N., Santos, A.M., González-Pérez, S., Macedo, D.J., Delaître, E., Demagistri, L., Loisel, P., Miranda, I.S., Rey-Valette, H., Rocha, M.R.T., Fontez, B., Libourel, T. To be published in 2017. Viability of the Babassu Palm Eco-Socio-System in Brazil: the Challenges of Co-Viability. In: **Coviability of social and ecological systems: reconnect man of the biosphere in an area of global change**, Springer Verlag.
- Navarro, J.A., Galeano, G., Bernal, R., 2011. Impact of leaf harvest on populations of *Lepidocaryum tenue*, an Amazonian understory palm used for thatching. **Tropical Conservation Science** 4:25-38.
- Paese, A., Uezu, A., Lorini, M. L., Cunha, A., 2012. **Conservação da biodiversidade com SIG**. São Paulo, Oficina de Textos, 239 p.
- Parente, M.P.M., Cavalcanti, L.H., 2013. Myxomycetes on Palm Trees: Species on *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng. **Advances in Microbiology** 3:19-23.
- Peters, C.M., Balick, M.J., Kahn, F., Anderson, A.B., 1989. Oligarchic forests of economic plants in Amazonia: utilization and conservation of an important tropical resource. **Conservation Biology** 3:341–349.
- Pinard, M.A., Putz, F.E., 1992. Population matrix models and palm resource management. **Bulletin de institut français de études andines** 21(2):637-649.
- Porro, N., Veiga, I., Mota, D., 2011. Traditional communities in the Brazilian Amazon and the emergence of new political identities: the struggle of the quebradeiras de coco babaçu - babassu breaker women. **Journal of Cultural Geography** 28:123-146.
- Portela, R.C.Q., Santos, F.A.M., 2011. Caracterização dos Estádios Ontogenéticos de Três Espécies de Palmeiras: Uma Proposta de Padronização para Estudos de Dinâmica Populacional. **Revista Brasileira de Botânica** 34:523-535.
- Ricklefs, R.E., 2003. **A Economia da Natureza**. 5ª ed. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 503p.
- Rodríguez-Buriticá, S., Orjuela, M.A., Galeano, G., 2005. Demography and life history of *Geonoma orbignyana*: An understory palm used as foliage in Colombia. **Forest Ecology and Management** 211:329-340.
- Ros-Tonen, M.A.F., Wiersum, K.F., 2003. The Importance of Non-timber Forest Products for Forest-based Rural Livelihoods: an evolving research agenda. In: **International Conference on livelihoods and biodiversity**, Bonn. - CIFOR, Indonesia, p.1-20.

- Salm, R.; Salles, N.V. de; Alonso, W.J., Schuck-Paim, C., 2007. Cross-scale determinants of palm species distribution. **Acta Amazonica** 37:17-25.
- Sampaio, M.B, Schmidt, I.B., Figueiredo I.B., 2008. Harvesting effects and population ecology of the buriti palm (*Mauritia flexuosa* L. f., Arecaceae) in the Jalapão Region, Central Brazil. **Economic Botany** 62:171–181.
- Santos, A.M., Mitja, D., 2011. Wooded cattle pasture in the benfica seedling project in Itupiranga, Pará, Brazil. **Revista Árvore** 35:919-930.
- Schroth, G., Mota, M.S.S., Lopes, R., Freitas, A.F., 2004. Extractive use, management and in situ domestication of a weedy palm, *Astrocaryum tucuma*, in the Central Amazon. **Forest Ecology and Management** 202:161-179.
- Shafri, H.Z.M., Hamdan, N., Saripan, M.I., 2011. Semi-automatic detection and counting of oil palm trees from high spatial resolution airborne imagery. **International Journal of Remote Sensing** 32(8):2095-2115.
- Silva, M.G.C.P.C., Martini, A.M.Z., Araújo, Q.R., 2009. Estrutura populacional de *Euterpe edulis* Mart. no Sul da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira Botânica** 32:393-403.
- Smirnova, O.V., Palenova, M.M., Komarov, A.S., 2002. Ontogeny of different life forms of plants and specific features of age and spatial structure of their populations. **Russian Journal of Developmental Biology** 33:1-10.
- Srestasathien, P., Rakwatin, P., 2014. Oil Palm Tree Detection with High Resolution Multi-Spectral Satellite Imagery. **Remote Sensing** 6(10):9749-9774.
- Vedel-Sørensen, M., Tovarante, J., Bøcher, P.K., Balslev, H., Barfod, A.S., 2013. Spatial distribution and environmental preferences of 10 economically important forest palms in western South America. **Forest Ecology and Management** 307:284-292.
- Wadt, L.H.O., Kainer, K.A., Gomes-Silva, D.A.P., 2005. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management** 211:371-384.
- Whiteside, T., Boggs, G., Maier, S., 2011. Extraction of tree crowns from high resolution imagery over Eucalypt dominant tropical savanna. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 77(8):813-824.
- Zhou, J., Proisy, C., Descombes, X., Le Maire, G., Nouvellon, Y., José-Luiz, S., Viennois, G., Zerubia, J., Couteron, P., 2013. Mapping local density of young Eucalyptus plantations by individual tree detection in high spatial resolution satellite images. **Forest Ecology and Management** 301:129-141.

2. ESTIMATING BABASSU PALM DENSITY USING AUTOMATIC PALM TREE DETECTION WITH VERY HIGH SPATIAL RESOLUTION SATELLITE IMAGES¹

ABSTRACT

High spatial resolution images as well as image processing and object detection algorithms are recent technologies that can support studies of biodiversity and commercial plantations of tree species. This paper seeks to contribute knowledge regarding the use of these technologies by studying randomly dispersed native palm tree. Here, we analyze the automatic detection of large circular crown (LCC) palm tree using a high spatial resolution panchromatic GeoEye image (0.50 m) taken on the area of a community of small agricultural farms in the Brazilian Amazon. We also propose auxiliary methods to estimate density of the LCC palm tree *Attalea speciosa* (babassu) based on the detection results. We used the “Compt-palm” algorithm based on the detection of palm tree shadows in open areas via mathematical morphology techniques. The spatial information was validated using field methods (i.e. structural census and georeferencing). The algorithm recognized individuals in life stages 5 and 6, and the extraction percentage, branching factor and quality percentage factors were used to evaluate its performance. A principal components analysis showed that the structure of the studied species differs from other species. Approximately 96% of the babassu individuals in stage 6 were detected. These individuals had significantly smaller stipes than the undetected ones. In turn, 60% of the stage 5 babassu individuals were detected, showing significantly a different total height and a different number of leaves from the undetected ones. Our calculations regarding resource availability indicate that 6,870 ha contained 25,015 adult babassu palm tree, with an annual potential productivity of 27.4 t of almond oil. The detection of LCC palm tree and the implementation of auxiliary field methods to estimate babassu density is an important first step to monitor this industry resource that is extremely important to the Brazilian economy and thousands of families over a large scale.

Keywords: Shadow detection; Mathematical morphology; Density estimate; Remote sensing; Brazilian Amazon

¹ Este capítulo foi publicado no periódico *Journal of Environmental Management*: Santos AM, Mitja D, Delaître E, Demagistri L, Miranda IS, Libourel T, Petit M (2017) Estimating babassu palm density using automatic palm tree detection with very high spatial resolution satellite images. *Journal of Environmental Management* 193:40-51.

ESTIMATIVA DA DENSIDADE DO BABAÇU A PARTIR DA DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE PALMEIRAS EM IMAGEM DE SATÉLITE DE ALTÍSSIMA RESOLUÇÃO ESPACIAL

RESUMO

A utilização de imagens de altíssima resolução espacial e o desenvolvimento de algoritmos de processamento de imagens e detecção de objetos são tecnologias recentes voltadas ao estudo da biodiversidade e plantios comerciais de espécies florestais. Este artigo pretende contribuir para o uso dessa tecnologia também no estudo de palmeiras nativas dispersas aleatoriamente. Aqui analisamos a detecção automática de palmeiras de Larga Coroa Circular (LCC) em uma imagem GeoEye pancromática de altíssima resolução espacial (0.50 m) de uma comunidade de pequenos agricultores na Amazônia brasileira, e propomos metodologias auxiliares para estimativa da densidade da espécie de palmeira LCC *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng. (babaçu) a partir dos resultados da detecção. Utilizamos o algoritmo “Compt-palm” baseado no reconhecimento de sombras das palmeiras em áreas abertas pela técnica de morfologia matemática, e validamos as informações espaciais com metodologias de campo (levantamento estrutural e georeferenciamento). O algoritmo reconheceu indivíduos de dois estágios de vida (estágio 5 e 6) e seu desempenho foi avaliado pelos fatores *extraction percentage*, *branching factor* e *quality percentage*. O resultado da detecção (75.45% de qualidade) de palmeiras em áreas naturais não plantadas foi considerado promissor. A Análise de Componentes Principais demonstrou que a estrutura das espécies estudadas são diferentes (teste de Monte-Carlo, $p=0.001$). 96% dos indivíduos de babaçu do estágio 6 foram reconhecidos, estes tiveram o estípe significamente menor (Wilcoxon test, $p<0.05$) que os não reconhecidos. Enquanto que 60% dos babaçu do estágio 5 foram reconhecidos, estes possuem uma altura total e um número de folhas significativamente diferentes (Wilcoxon test, $p<0.05$) daqueles não reconhecidos. Nossos cálculos de estimativa do recurso indicaram que em 6870 ha existiam 25015 indivíduos adultos de babaçu, com produtividade potencial anual de 27.4 t de óleo de amêndoas. A detecção das palmeiras LCC e a implantação de metodologias de campo auxiliares para estimativa da densidade do babaçu é um primeiro e importante passo na tentativa de monitoramento em grande escala desse importante recurso para indústria, economia brasileira e milhares de famílias extrativistas.

Palavras-Chave: Detecção de sombras; Morfologia matemática; Estimativa de densidade; Sensoriamento remoto; Amazônia brasileira

2.1. Introduction

The babassu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) is a palm tree species native of dense and humid forests and is distributed across approximately 200,000 km² of forests and savannas in Brazil, with optimal development in secondary environments (Anderson and Anderson, 1985; May et al., 1985; Barot et al., 2005; Santos and Mitja, 2011; Coelho et al., 2012). Recent research emphasized the importance of this palm tree to industry, given its potential for biodiesel production (Da Rós et al., 2014) and bioenergy (Protásio et al., 2014); to ethnobotany, given its use diversity (Araujo and Lopes, 2012; Martins et al., 2014); to anthropology, given its economic and social importance for small ranchers (Porro and Porro, 2014); and to medicine because babassu palm trees can become infested with triatomines, which transmit Chagas disease (Dias et al., 2014). Recently, babassu oleaginous kernels were considered as the third most important non-wood product of plant extractivism in Brazil (89,739 t/\$56.7 million in 2013; IBGE, 2013). Nevertheless, a gap exists between the knowledge of this species and use of technologies that might aid in its management and sustainable exploitation.

In forest plantations, information on tree or palm tree density is obtained using remote-sensing techniques that aid in productivity monitoring, planning and management of African oil palm tree (Shafri et al., 2011; Srestasathiern and Rakwatin, 2014) and eucalypt (Whiteside et al., 2011; Zhou et al., 2013) plantations. The spatial information provided regarding the number of trees or palm trees enables (among other things) the identification of excessive mortality areas (Zhou et al., 2013) and the prediction of production dates (Malek et al., 2014), which are essential for resource management and conservation (Engler et al., 2013).

As an alternative to time-demanding tasks of individually counting trees or palm trees in the field, automatic-detection methods were developed using high spatial resolution images. The primary objective of this detection is to determine the location of the tree or palm tree crowns in an image (Srestasathiern and Rakwatin, 2014). Studies apply different techniques to delimit tree and palm tree crowns based on the value of each pixel in the image (Erikson and Olofsson, 2005). Some of the techniques used include the marked-point process (MPP) via Worldview 1 and Worldview 2 multispectral images (Zhou et al., 2013), the maximum local detection method using Kodak DCS 460 CIR and UltracamD digital camera images (Pouliot et al., 2002; Hirschmugl et al., 2007), and a technique based on the structure of the elements using an airborne AISA hyperspectral image (Shafri et al., 2011). These

techniques are generally used for homogeneous forest plantations disposed along a line; not having other species within the plantation avoids confusion when analyzing the images.

The mapping of tree crowns in non-planted areas (i.e., those dispersed in cultivated areas or in homogeneous or heterogeneous natural forests) can be based on the detection of crowns via object-oriented classification using IKONOS and GeoEye images (Aouragh et al., 2013), the wavelet-transform technique (Zhang et al., 2006; Ghiyamat and Shafri, 2010), or via supervised classification techniques such as spectral angle mapper, a linear discriminant analysis, and the maximum likelihood method (Clark et al., 2005), both techniques use an airborne HYDICE hyperspectral image.

Few studies have used image-based palm tree detection directed toward regular African oil palm tree plantations. Currently, babassu plantations are not found in Brazil, which might explain why this species has not yet been evaluated using automatic detection via images from recent satellites such as GeoEye, Ikonos, Worldview or Quickbird (which offer a spatial resolution of less than 1 m). The development of images with a resolution of less than 1 m enabled the more precise detection of small objects such as tree crowns in agricultural areas and their different shapes (Aouragh et al., 2013) using canopy delineation algorithms (Culvenor, 2002).

Although the classic algorithms developed for crown delineation fundamentally assume that the center of a crown appears radiometrically brighter than its edge (Culvenor, 2002), the algorithm developed by Demagistri et al. (2014), adapted for open environments, extracts the image pixels that correspond to shadows using the mathematical morphology technique (Serra, 1982; Haralick et al., 1987). This algorithm permits the detection of palm trees in pastures and agricultural plantations with low-to-average palm tree density. This image analysis technique is important (Soille and Pesaresi, 2002; Giada et al., 2003) for the detection of individual trees (Jiang and Lin, 2013) and other objectives. This technique is known as “morphology” because it analyses the content and shape of the object and called “mathematical” because it is based on set theory, integral geometry, and algebraic structure (Giada et al., 2003). Therefore, this algorithm has been used to detect the babassu palm tree in open agricultural environments.

Studies on tree and palm tree-crown detection do not usually employ field methods to validate the spatial information (Clark et al., 2005; Zhang et al., 2006; Hirschmugl et al., 2007; Ghiyamat and Shafri, 2010; Shafri et al., 2011; Aouragh et al., 2013; Malek et al., 2014; Srestasathiern and Rakwatin, 2014). When used, these methods are typically restricted to measure crown diameter and individual density (Pouliot et al., 2002, Zhou et al., 2013),

although other structural characteristics of the individuals might affect their detection using the algorithm. Therefore, understanding these characteristics is an important step to improve the reliability of spatial information.

A large diversity of palm trees exists in the Amazon region, including 195 species and 35 genera. The most important genera include *Attalea* and *Astrocaryum*, each with 28 species (Pintaud et al., 2008). In addition to *Attalea speciosa* (babassu), other large circular crown (LCC) species such as *Attalea maripa* (inajá), *Astrocaryum aculeatum* (tucumã), *Oenocarpus bacaba* (bacaba) and *Mauricia flexuosa* (buriti) are distributed in an isolated and random manner (D. Mitja, Personal communication). Because no methods are described in the literature that enable differentiation among LCC palm tree types using a high-resolution image, estimating the density of a species of interest (e.g., the babassu) using automatic detection is a real challenge.

In the present study, we analyzed the automatic detection of LCC palm trees using a high spatial resolution panchromatic image (GeoEye1 sensor, 0.50-m resolution, July/2013) taken on a community of small farms in the Brazilian Amazon after validating the remote-sensing data using photo-interpretation and field methods. Based on the automatic detection results, we implemented auxiliary field methods to estimate babassu density.

2.2. Material and Methods

2.2.1. Characterization of the study area

This study was conducted in small farmlands in Benfica (S 05°16'20", W 49°50'25"), (Itupiranga, State of Pará (PA), southeast of the Brazilian Amazon) (Fig. 1). This site has 9,501 ha, and its occupation started in 1986 successively by ranchers and settlers. Its land regularization was consolidated by the National Institute of Colonization and Agrarian Reform (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária; INCRA) in 1996 (Arnauld de Sartre, 2004). The latest estimate indicated 183 agricultural land holdings and approximately 1,000 people in the community (Ritter et al., 2009).

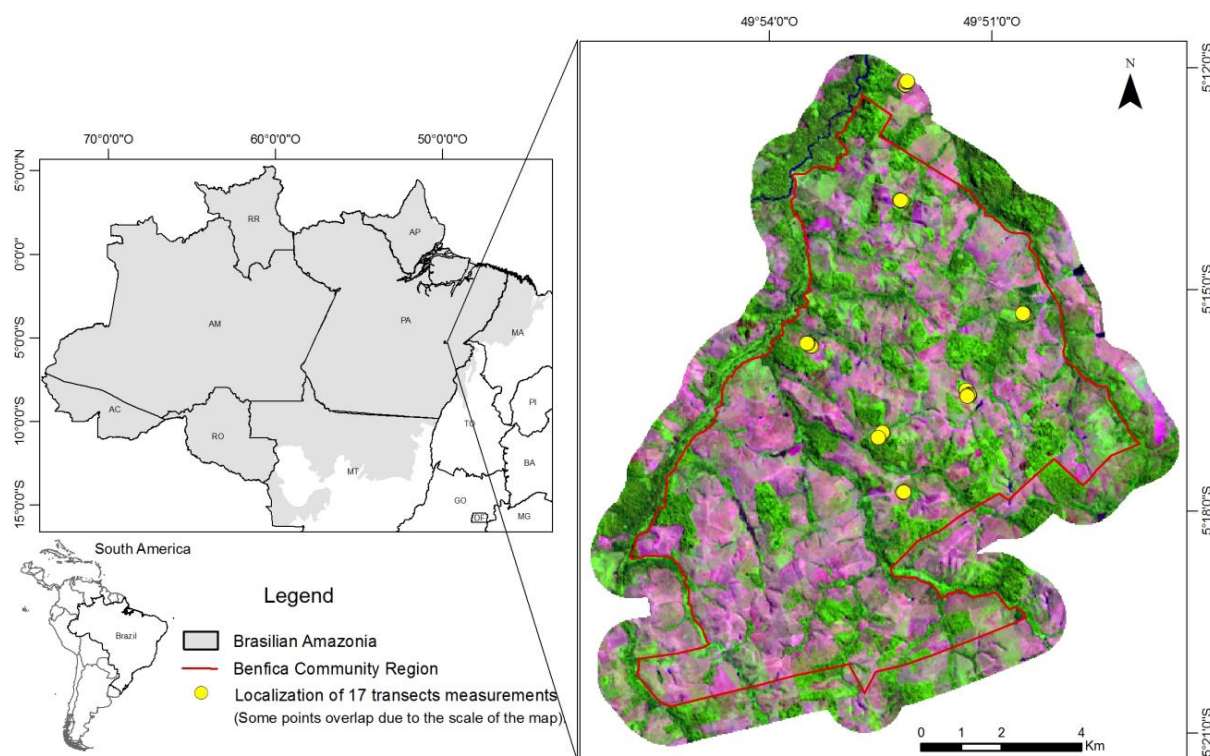


Fig. 1. The study area (Benfica, PA), located southeast of the Brazilian Amazon, shown by a Landsat 8-OLI 2013 image (RGB: B6, B5, B4). *Two transects were near but outside the limit of Benfica community.

The vegetation in this area is upland tropical forest, characterized by the presence of lianas and palm trees (Mitja and Miranda, 2010). The dense forest has a canopy between 25 and 30 m in height, although some trees (e.g., *Bertholletia excelsa* H.B.K) reach a height of over 50 m (Bertrand, 2009). Landsat 8-OLI images taken in 2013 (Fig. 1) showed that primary and old secondary forests (in dark green colors) covered 34% of the area in Benfica, whereas pastures with little cover (in purple and pink colors) represented 31%; pastures in good states and young fallow (in light green colors) accounted for 31% of the area (E. Delaître, Personal communication).

When forests are converted into pastures, some palm trees and timber species are maintained (Mitja et al., 2008; Santos and Mitja, 2011), thereby contributing to the composition of the local landscape that includes pastures containing woody species (15%) and pastures with babassu (12%; Sampaio, 2008). The high reproductive plasticity of babassu favors its development in agricultural areas (Barot et al., 2005) because the use of fire for agricultural management contributes to the germination and regeneration of babassu individuals (Mitja and Ferraz, 2001). Thus, the different densities of the babassu in the study

area are partially a result of its resilience to natural and anthropogenic disturbances, insofar as (similar to some other species) it has particular morphological characteristics and reproductive strategies that influence its phenology and gene flow (Montúfar et al., 2011).

The climate is tropical humid with average temperature of 26°C. The average annual rainfall is 1,700 mm, distributed irregularly throughout the year. The region's two seasons are defined by the movements of the intertropical convergence zone: the rainy season, which typically lasts approximately 8 months (October to May); and the dry season, which typically lasts 4 months (June to September; Bertrand, 2009).

A variety of soils exists along the toposequences: (i) oxisol, with a thick B horizon rich in ferruginous nodules; (ii) cambisol, with an incipient B horizon and a C horizon located close to the surface; and (iii) gleysol, with an A horizon rich in organic matter, A and B horizons with little clay, and hydromorphy along the entire profile (Ritter et al., 2009). As is the norm for most arable lands in the Amazon, the soil fertility of the study area is low (Ritter et al., 2009).

2.2.2. Field data

The information obtained in the field enabled the definition of the proportion of babassu in the set of LCC palm trees. There are five LCC palm tree species in Benfica. Three of them are more frequent, babassu, inajá and tucumã, and two are rare species, bacaba and buriti (Santos and Mitja, 2011; Danielle Mitja, Personal communication). In a 487 ha pasture area of the study site (=62-plots), we observed that 93.6% of the LCC palm trees found were babassu. This result was used to estimate the babassu density based on the automatic LCC palm tree detection results.

A total of 17 transects were sampled in pastures of different ages (1, 3, 5, 7 and 9 years), with a total sampling area of 1.3 ha (Fig. 1). In these transects, we noted that 46.51% of the detected palm trees belonged to stage 5 (juvenile with an aerial stipe, regardless of sheath coverage, and without the signs of male or female reproductive organs), whereas 53.49% belonged to stage 6 (adults with an aerial stipe and signs of male and/or female reproductive organs).

A total of 150 babassu palms across three development stages were inventoried in the pasture areas. Out of these babassu, 105 were in stage 6, 30 were in stage 5, and 15 were in stage 4 (juvenile with a terminal bud at the soil surface level, with well-visible leaf sheaths).

The structural information for LCC obtained in the field included circumference at breast height, circumference at the base of the stipe, number of leaves, total height, stipe height, and crown circumference (Fig. 2). This structural information was also obtained for two other LCC palm trees species, inajá (31 individuals) and tucumã (30 individuals).

All these palm trees were georeferenced using the global positioning system (GPS; model: GARMIN 62stc) to be located in the GeoEye 2013 image and identify the individuals that had been detected using the detection algorithm.

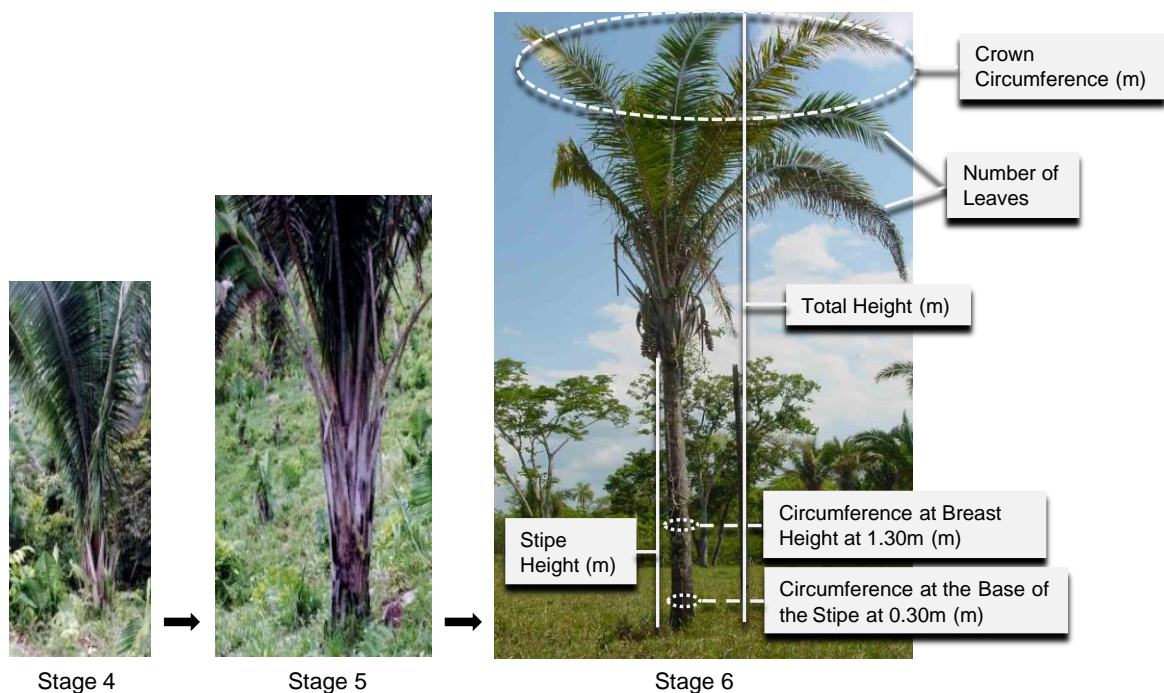


Fig. 2. Life-cycle stages of the babassu palm trees studied in Benfica and the structural information obtained

2.2.3. Remote sensing image

The present study used a GeoEye-1 satellite image in panchromatic mode intrinsic spatial resolution of 0.41 m resampled to 0.50 m, acquired on July 12, 2013 and orthorectified. The image has 15 x 15 km of dimension, and the following angles: 56.09° of sensor azimuth, 79.03° of sensor elevation, 42.575° of sun azimuth, and 56.09° of sun elevation. The image encompasses the entire surface of Benfica (9,501 ha). To comply with the requirements of the LCC palm tree detection algorithm, a radiometric correction was applied to the 2013 image so as to get the same dynamic range as the 2009 one (spatial resolution of 0.50 m), which was used to obtain the palm tree detection algorithm.

2.2.4. LCC palm tree detection algorithm development and evaluation

An “Compt-palm” algorithm adapted to open environments was developed to detect the following LCC palm trees: babassu, inajá, tucumã, bacaba and buriti (Demagistri et al., 2014). A panchromatic GeoEye 2009 image of Benfica was used in the algorithm-development process. At first, shadows palm trees are extracted using mathematical morphology techniques; then each shadow object (which corresponds to a potential palm tree) undergoes a supervised classification by calculating a decision coefficient used to assign that object a particular class label between “palm tree shadow” and “other shadow”.

The shadow extraction protocol proceeds as follows:

- i) Smoothing of the panchromatic image: this first filter removes the noise from the image;
- ii) Local adaptive filtering based on the mean and standard deviation of a moving window: zones with a strong local contrast (i.e. the shadows) are extracted;
- iii) Morphological closing: the first step in cleaning the shadow extraction results;
- iv) Connected components extraction: labeling of independent shadow objects;
- v) Object size thresholding: the second step in cleaning the shadow extraction results.

Afterwards, shadow objects are classified using a supervised classification based on a distance criterion and a decision rule process. These steps are detailed below:

- i) Classifier training with two sets of shadow images: 75 cropped images of “palm tree shadows” and 75 cropped images of “other shadows”; 25 normalized shape characteristics and invariants are computed on the whole set of the cropped images (see below for some details).
- ii) Calculation of classifier entry parameters for each potential palm tree shadow and selection of the five closest shadow objects (Euclidian distance computation) within the training set.
- iii) Score calculation, according to the class of the closest shadow objects, enabling appropriate classification of each shadow.

To characterize the palm tree shadows, we worked with the shape characteristics and invariant described in Torres-Méndez et al. (2000). For each shadow image, we first compute its moment of inertia (1 parameter). Then, using 12 concentric circles centered on the shadow centroid we count for each circle the number of intensity changes that occur (shadow/no-shadow) and the normalized difference of the two largest arcs that are not part of the shadows (12x2 parameters).

The result is a list of points in image or cartographic coordinates that can be compared with data obtained using image photo-interpretation. The steps by which the LCC palm tree detection algorithm proceeds are shown in Fig. 3.

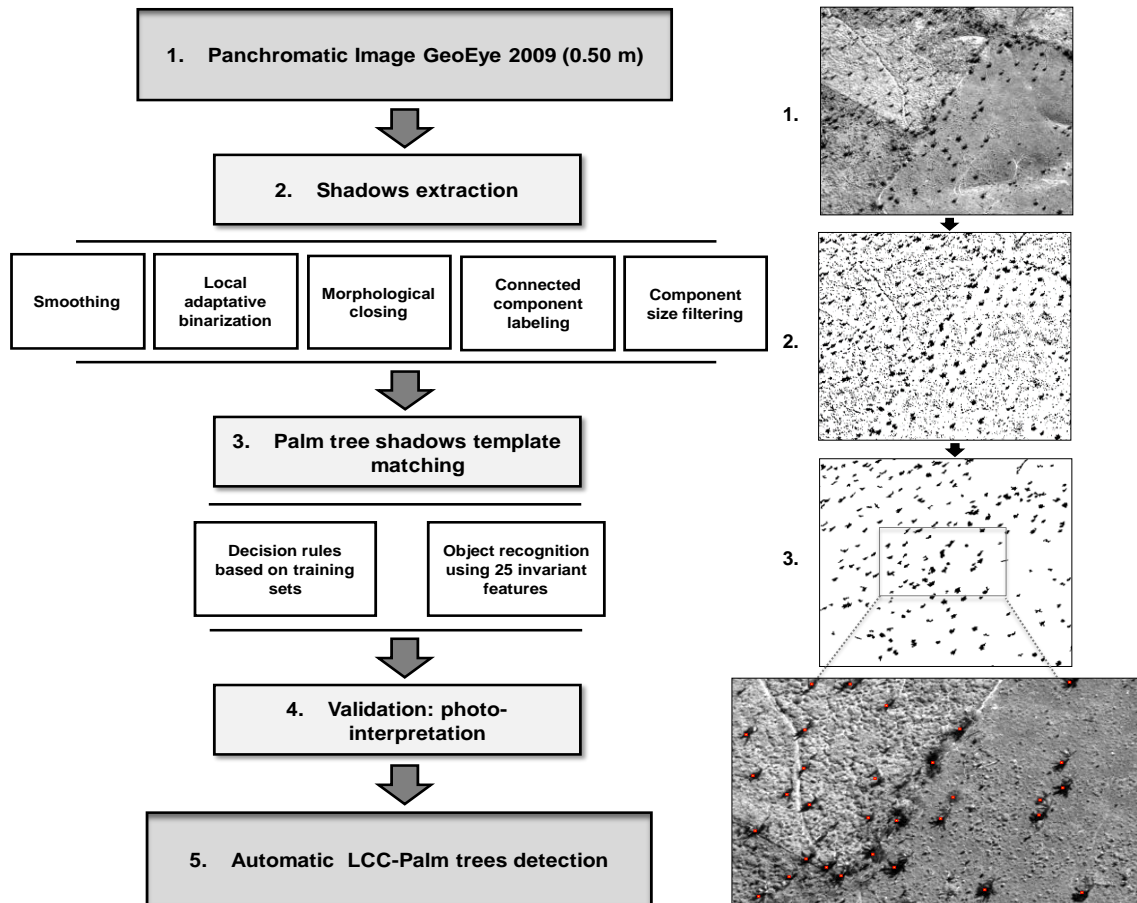


Fig. 3. Representation of the steps of the LCC palm trees automatic detection algorithm (adapted from Demagistri et al., 2014)

The algorithm was validated using image photo interpretation via a sample of 334 points observed over 16 cells of 1-ha, distributed in pastures of low and average babassu density in the study area.

To evaluate the precision and quality of the algorithm used, were considered the factors adopted by Shufelt (1999) and Luo et al. (2014); these factors can be based on image pixel classifications or on object shape and consider the numbers of true positives (TP), false positives (FP), and false negatives (FN). The first factor is the extraction percentage, given by the expression $100 \cdot TP / (TP + FN)$, which can be understood as a measure of shadow extraction performance. The second factor is the branching factor, given by FP / TP , which measures delineation performance. The third factor is the quality percentage, given by

$100 \cdot TP / (TP + FP + FN)$, a general measure of method performance. According to Shufelt (1999), the use of these three measures completely evaluates model performance.

2.2.5. Density map and calculation of the babassu resource estimate

The palm tree location map produced by applying the algorithm to open environments on the GeoEye-1 2013 image was processed using ArcGis 10.2.2 with the Point Density tool to obtain the palm tree density map. The parameters used were the size of the raster cells (30-m) and the size and shape of the point search neighborhood (a 15 m radius circle, Fig. 4). The number of individuals per ha was used to calculate palm density.

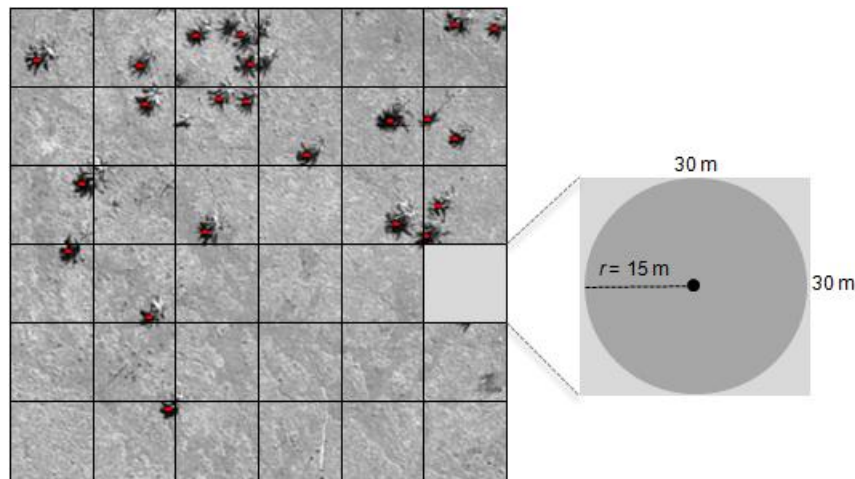


Fig. 4. Representation of the parameters used to elaborate the density map

The number of LCC palms actually present (B) was defined as:

$B = A - (A \times FP) / 100 + (A \times FN) / 100$; where: A = number of points indicated by the algorithm as corresponding to LCC palm trees; FP = False Positive; FN = False Negative. Then, based on information from Santos and Mitja (2011) was calculated the number of babassu as 93.6% of the total number of palm trees.

Therefore, we can calculate the number of babassu palm trees (C) from the total LCC palm trees (B).

$$C = (B \times 93.6) / 100$$

To obtain the proportion of stage 5 and 6 individuals in the pastures we use a total density of palm trees in 17 transects, with 46.51% of stage 5 and 53.49% of stage 6. Therefore, we calculated the total numbers of babassu palm trees (detected and undetected) in stage 5 (V) and stage 6 (W) present in open areas in Benfica.

Adult palm trees (stage 6):

$$\left\{ \begin{array}{l} C=V+W \\ \text{With } V=(46.51\% \text{ of } C), \text{ and} \\ W=(53.49\% \text{ of } C) \end{array} \right.$$

Finally, despite the high variation in the amount of oil extracted according to the used method, we estimated the annual potential productivity of babassu oil of Benfica, using (i) the estimated density of adults at Benfica and (ii) literature data on fruit production (24 kg of fruits / palm / year on average - Anderson, 1983), seed production (1 kg of seeds from 13 kg of fruits – Gonsalves, 1955), and oil production (1 kg of crude oil from 1.68 kg of kernels - Frazão, 2001).

2.2.6. Statistical analyses

A principal components analysis (PCA) was used to verify differences in the structural characteristics of LCC palm trees species. The significance of the PCA was determined using the Monte Carlo permutation test at $p < 0.05$.

The structural characteristics of babassu palm trees at stages 5 and 6 were compared using the non-parametric Wilcoxon test, as were the structural characteristics of the individuals at each stage based on whether they were detected or not, using the algorithm. All statistical analyses were performed using the software R 3.1.2 (R Core Team, 2014) with the packages ADE-4 (Dray and Dufour, 2007; Dray et al., 2007).

2.3. Results

2.3.1. Structural characteristics of the LCC palm trees

The use of the shadow-detection algorithm detected the babassu palm trees and also other palm trees, especially those dominant in Benfica, such as inajá and tucumã.

In contrast, the PCA of the structures of the babassu, inajá and tucumã palm trees (all belonging to stage 6, i.e., adults) showed that the LCC palm trees differed structurally. The first two PCA axes explained 75.77% of the variance in the scatterplot. Axis 1 explained 39.71% of the variance, and the structural variables that contributed the most to this axis were

circumference at breast height, circumference at the base of the stipe, number of leaves. The second axis explained 36.06% of the variance, and its most important variables were total height, stipe height (Fig. 5).

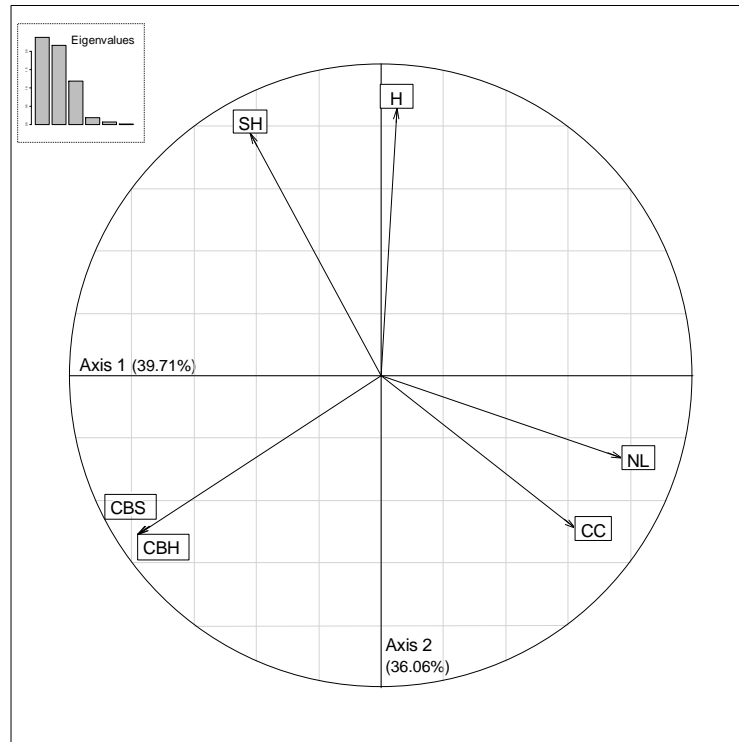


Fig. 5. The PCA using the structural variables of three palm tree species in Benfica. Circumference at breast height (CBH), circumference at the base of the stipe (CBS), number of leaves (NL), total height (H), stipe height (SH), and crown circumference (CC).

In the PCA formed by the first and second axes, the structural variables were grouped according to palm tree type: babassu, inajá, and tucumã. According to a Monte Carlo test with 999 permutations, 44% of the data variance was explained by palm tree species, and this value was significant ($p=0.001$; Fig. 6).

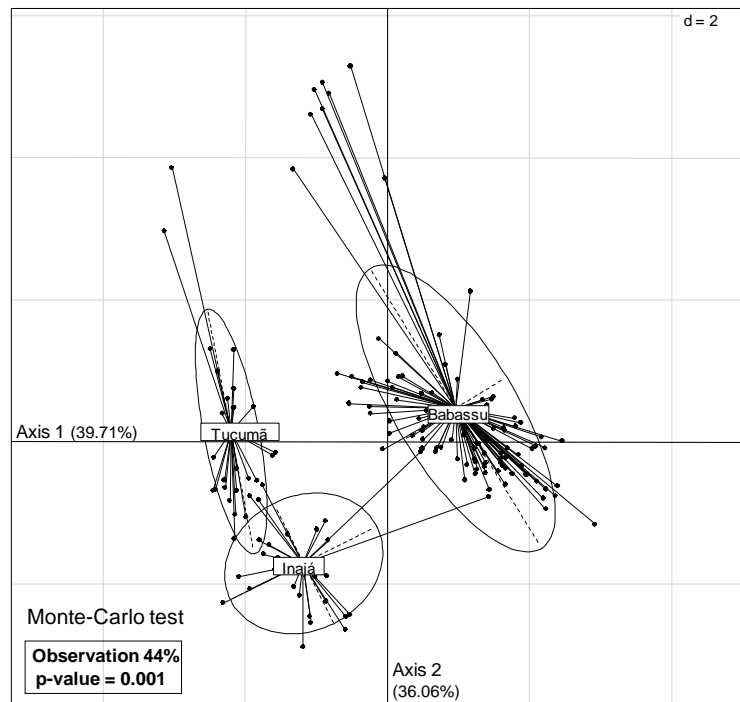


Fig. 6. The first and second axes of the PCA regarding the structural variables of the species *Attalea speciosa* (Babassu), *Attalea maripa* (Inajá) and *Astrocaryum aculeatum* (Tucumã) in Benfica.

2.3.2. The structural characteristics of the individuals detected/undetected by the algorithm

The algorithm did not detect any of the stage 4 babassu palm trees identified in the field.

When comparing the morphological characteristics of the stage 5 and 6 palm trees using a boxplot (Fig. 7), we observed that the stage 6 palm trees had higher values and significantly differed from those in stage 5 (Wilcoxon test, $p < 0.0001$) for all the structural characteristics analyzed.

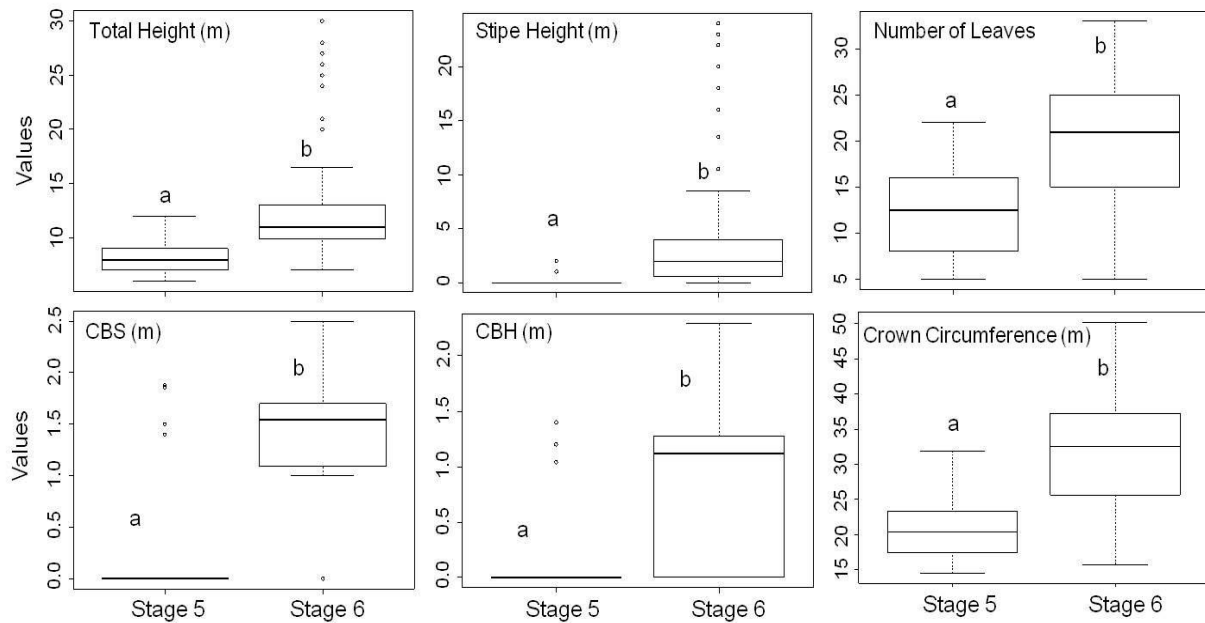


Fig. 7. A comparison of the morphological characteristics of stage 5 (n=30) and stage 6 (n=105) *Attalea speciosa* palm trees. Each box of the plot extends from the data of quartiles 1 and 3; the horizontal lines within each box represent the median; and the circles at the extremities represent the values close to the box. The different letters indicate that the means are significantly different (Wilcoxon test, $p < 0.0001$). CBH, circumference at breast height; CBS, circumference at the base of the Stipe.

Approximately 96% of the stage 6 palm trees identified in the field were detected using the algorithm based on their shadows; only 4% remained undetected. The comparison between the mean structural characteristics of the detected and undetected individuals revealed a significant difference (Wilcoxon test, $p < 0.05$) only for the mean stipe height, which was greater for detected palm trees than undetected palm trees (Table 1).

Approximately 60% of the stage 5 babassu palm trees identified in the field were detected using the algorithm, and 40% were not detected (Table 1). The total height and the number of leaves values of the detected and undetected individuals significantly differed (Wilcoxon test, $p < 0.05$), with detected individuals having larger morphological characteristic values than their undetected counterparts.

Table 1. The morphological characteristics of stage 5 and 6 babassu palm trees, regardless of detection using the algorithm in open areas. The means were compared using the non-parametric Wilcoxon test. Ns: not significant; *: $p < 0.05$

Stage 5 (n=30)	% Individuals	Total Height (m)	Stipe Height (m)	Number of Leaves	Circumference at the Base of the Stipe (m)	Circumference at Breast Height (m)	Crown Circumference (m)
Undetected	40	7.33	0.00	9.33	0.00	0.00	20.37
Detected	60	8.25	0.38	14.61	1.66	1.21	21.32
		*	Ns	*	Ns	Ns	Ns

Stage 6 (n=105)	% Individuals	Total Height (m)	Stipe Height (m)	Number of Leaves	Circumference at the Base of the Stipe (m)	Circumference at Breast Height (m)	Crown Circumference (m)
Undetected	4	11.25	0.50	15.75	1.68	1.54	28.63
Detected	96	12.38	3.94	19.76	1.60	1.26	31.87
		Ns	*	Ns	Ns	Ns	Ns

2.3.3. Algorithm quality and LCC palm tree density

When evaluating the performance of the algorithm used to automatically detect the LCC palm trees, we considered 334 points, in which 252 (75.45%) had been correctly identified by the algorithm (true positives), 55 (16.47%) points indicated by the algorithm that did not correspond to palm trees (false positives), and 27 (8.08%) points corresponding to palm trees that were not identified by the algorithm (false negatives). This analysis resulted in 90.32% of Extraction, 0.218 of Branching factor, and 75.45% of Quality.

A palm tree density map (Fig. 8) was created after applying the open area algorithm to the GeoEye1 2013 image. A total of 54,540 palm trees were detected in open vegetation in Benfica communities (6,870 ha). In the study area, 65% of the cells had a null density, less than 35% of the cells had a low LCC palm tree density (1 to 3 palm trees in a circle with a 15 m-radius, corresponding to 14 to 42 palm trees per ha), and less than 2% of the cells had an average LCC palm tree density (4 to 9 palm trees in a circle with a 15 m-radius, corresponding to 56 to 127 palm trees per ha) (Fig. 9). The average-density areas were localized and dispersed, whereas the low-density and null-density areas occupied a large surface characterized by continuous areas.

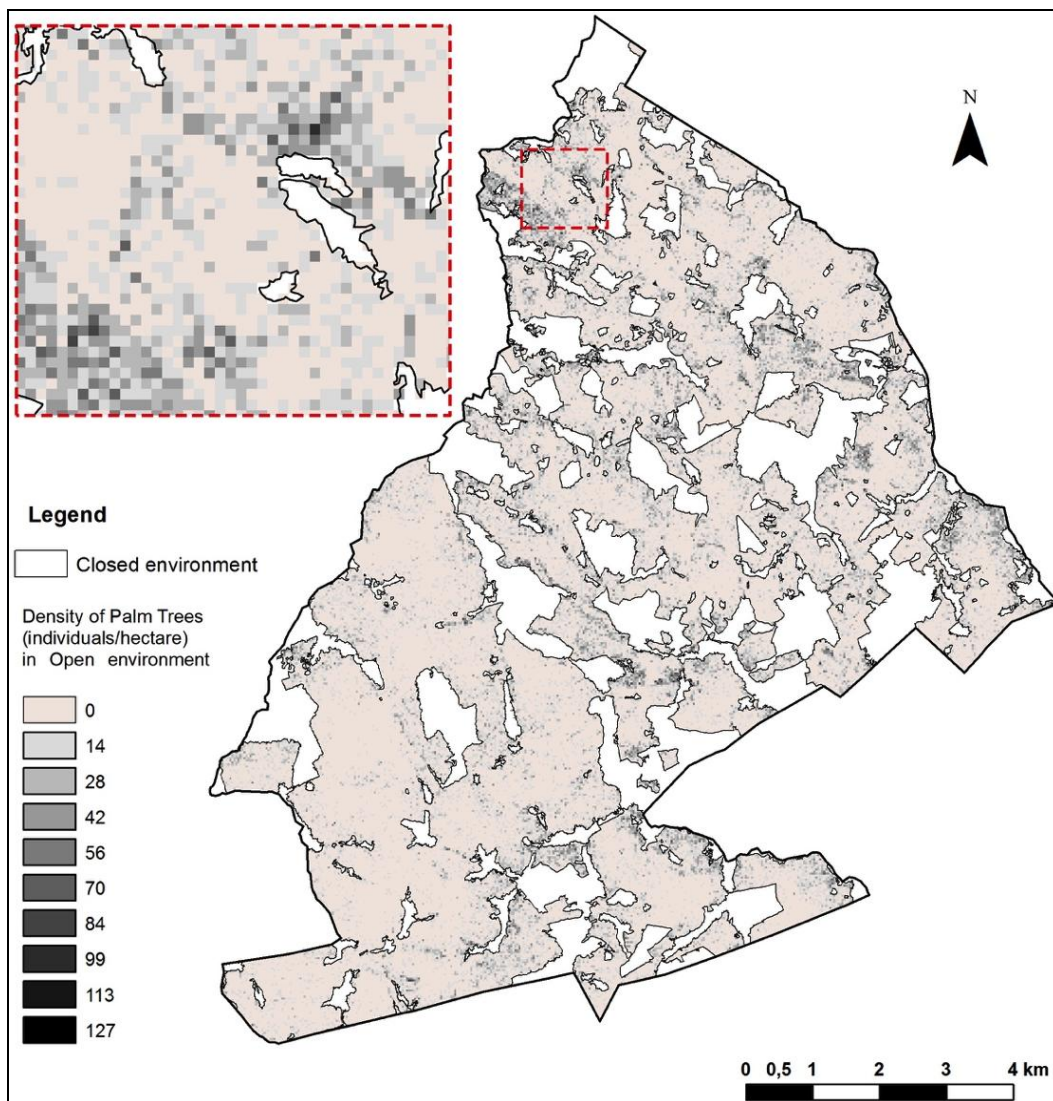


Fig. 8. The LCC palm tree density map in Benfica based on the application of automatic detection using the open areas algorithm with regard to the GeoEye1 2013 image

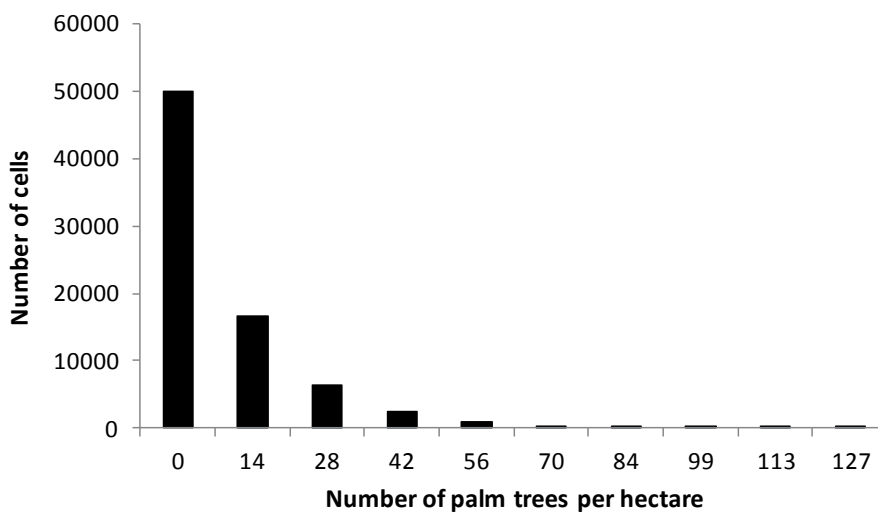


Fig. 9. A histogram of the number of cells as a function of palm tree density per ha in the density map obtained from the GeoEye1 2013 image

2.3.4. Babassu resource density productivity estimate

The 54,540 LCC palm tree points detected using the GeoEye1 2013 image of Benfica were corrected with regard to the algorithm's errors, resulting in 49,964 LCC palm trees actually present. By applying the 93.6% rate, we obtained 46,766 babassu palm tree based on the total number of LCC palm trees. Based on the field data of the proportion of stage 5 (46.51%) and 6 (53.49%) palm trees in the study areas, we calculated 25,015 babassu individuals in stage 6 (adults). Finally, we estimated that the adults in the open areas of Benfica have an annual potential productivity of 27.4 t of babassu oil.

2.4. Discussion

2.4.1. The contribution of the field methods to validate the remote-sensing data

The local densities obtained via automatic detection are accurate; however, this information becomes much more efficient when combined with the data obtained via field measurements (Zhou et al., 2013). In the present study, the measurements of the morphological characteristics of palm trees and their cartographic coordinates were essential to validate the remote-sensing data obtained using automatic detection.

As expected, it was not possible to differentiate between the LCC palm tree species in images with a resolution of 0.50 m. However, these species have different structures. As Kahn (1986) reported, the genera *Astrocaryum* and *Attalea* have a variety of forms: the species *Astrocaryum aculeatum* has well-developed stipes (15 to 20 cm in diameter and 15 to 25 m in height), and its leaflets are always placed on different planes (Kahn, 1986). Conversely, *Attalea speciosa* has leaflets along the same plane (Kahn, 1986). *Attalea speciosa* can reach a height of 10 to 30 m and have a stipe diameter of 30 to 60 cm (May et al., 1985; Lorenzi et al., 2010), whereas *Attalea maripa* can reach a height of 7 to 24 m, have a stipe diameter of 20 to 40 cm, and leaves that are disposed in five directions (Lorenzi et al., 2010).

All of these forest palm trees grow in pastures and secondary vegetation (May et al., 1985; Anderson and Anderson, 1985; Kahn, 1986) where they usually reach sexual maturity earlier and grow to a smaller height than their counterparts in forests (Kahn, 1986). As palm trees increase in height, their crowns become relatively narrower (Rich et al., 1986).

The PCA of the structure of the LCC palm trees (*Attalea speciosa*, *Attalea maripa* and *Astrocaryum aculeatum*) present in the study area reinforces the differences in the architecture

among the species and suggests that stipe circumference (axis 1) and height (axis 2) are the most important variables. Wang and Augspurger (2006) investigated the influence of palm tree crown architecture on seedling recruitment on Barro Colorado Island in Panama and La Selva forest in Costa Rica; based on a PCA, they concluded that the four palm tree species studied at each site had different growth forms and crown architectures, with the number of leaves and leaf area having the greatest influence on one axis and crown area influencing the other two axes.

All of the structural variables analyzed in the present study influenced the shape of the shadow of each species because different architectures can have more or less impact on the way light propagates through vegetation (Wang and Augspurger, 2006). Because we used a shadow-detection algorithm that also considers the shape of the shadow, differentiating among LCC palm tree species might be possible if an image with a better spatial resolution (i.e., less than 0.50 m) is used, given that these species have different structures. Moreover, it might be possible to create a density map specific for the babassu palm tree (*Attalea speciosa*) by extracting only the shadows that correspond to this species.

The validation of the information concerning stage 4, 5, and 6 of babassu palm tree, with the aid of field methods (i.e., structural census and georeferencing) regardless of the detection algorithm, enabled us to report which structural characteristics have a stronger influence on their detection using a high spatial resolution image.

Almost all (96%) of the stage 6 babassu palm tree were detected using the high spatial resolution satellite images, and only 4% did not have visible shadows and were not automatically detected. The numbers of leaves and the crown widths of these individuals did not significantly differ from those detected; however, their stipes were significantly smaller.

In turn, the stage 5 babassu palm tree were partially detected (60%). The 40% that were not detected were shorter and had fewer leaves than those detected. However, it is difficult to individually characterize the undetectable palm trees that belong to this stage based on their morphological characteristics, as was done for stage 6. Some individuals with similar morphological characteristics might not be detected because unmeasured factors might also influence shadow formation. These factors might include i) the orientation of the palm trees in relation to the sun when the image was captured by the sensor, ii) the leaf area (i.e., leaf width by blade length) of each individual (Wang and Augspurger, 2006), and iii) the average distance between leaflets (Wang and Augspurger, 2006).

The algorithm most likely failed to detect stage 4 babassu palm trees because of the spatial resolution of the image used (0.50 m), given that the shadow of these individuals is nearly imperceptible or nonexistent under this resolution.

The babassu palm trees were divided into developmental stages to monitor the plant growth over time across different environments (i.e., forests, pastures, and secondary forests). Although this organization is biologically artificial, a continuum in babassu growth exists from the seedling to adult stages. The significant difference in the structure of individuals between stages 5 and 6 indicates that the separation of individuals into these life stages was well established. Although certain stage 5 individuals were similar to those in stage 6, stage 6 palm tree usually have higher morphological characteristic values that explain their predominance among the detected plants. Because this species is native, non-cultivated, and non-domesticated where no selection is yet practiced, significant between-plant variability exists in the babassu population (D. Mitja, Personal communication).

2.4.2. Algorithm performance for the automatic detection of LCC palm trees

The result of the detection via the algorithm (75.45% quality) was promising given that it was applied to natural, non-planted areas. In commercial plantations of the African oil palm tree, organized along lines and without other species besides the cultivated one, the detection precision reaches 90% (Srestasathiern and Rakwatin, 2014); when high spatial resolution satellite images are used, this rate is approximately 95% (Shafri et al., 2011). Even in homogeneous commercial plantations, however, issues might exist with the methods used because of the presence of objects other than the cultivated species, which are often detected as false positives (Srestasathiern and Rakwatin, 2014). Future studies should use texture information to suppress the presence of objects other than the species of interest (Srestasathiern and Rakwatin, 2014).

In the present study, 75.45% of the LCC palm trees were successfully detected. However, this rate might be improved by decreasing the number of false positives (as reported above) and that of false negatives (for groups composed of 2 or 3 palm trees, only 1 palm tree is detected). In the case of a false negatives, the palm tree crowns might overlap, resulting in a single shape that differs from that of an isolated palm tree. Zhou et al. (2013) also faced the challenge of crown overlap; these authors were unable to detect the canopies of closely spaced trees on a Eucalyptus plantation. Moreover, Shafri et al. (2011) noted that the crown-detection method applied worked well only for isolated African oil palm trees. All

these studies used a spatial resolution of 0.50 m or greater. Better resolutions (0.10 – 0.30 m) for example using drones, and the improvement of the algorithm should decrease this error.

Using the LCC palm tree density map, we observed that this algorithm might be used to estimate the occurrence of palm trees present in the open area of interest using a high spatial resolution image (0.50 m). One of the major advantages of mapping species of interest via high-resolution images compared with forest censuses is that this information can be obtained for large areas (Zhou et al., 2013), as it is the case in the present study, especially because multispectral and hyperspectral images are becoming more accessible.

2.4.3. The potential use of this technique for babassu productivity monitoring, planning, and management

Automatic mapping in commercial plantations seeks to identify high-mortality points (Zhou et al., 2013) and the plants affected by disease (Shafri et al., 2011; Johansen et al., 2014) to define management practices. In turn, the density map of the LCC palm trees over large areas proposed here, provides a wide view of resource distribution along the entire basin and enables the identification of areas with greater densities, access and productive potential, favoring the planning of resource exploitation and management based on the interests of land owners or producer associations. In addition, given the risk of overexploitation and species extinction, environmental agencies might use this tool to aid in the inspection of areas where babassu felling is prohibited by law (Porro et al., 2011) or to monitor the variation in resource density over time, as suggested by Aouragh et al. (2013) and Zhou et al. (2013) with regard to tree species.

Remote sensing, very high spatial resolution images, image processing, and object detection algorithms have become some of the major technologies in geospatial research, exploitation and monitoring of biodiversity (Bai et al., 2005; Clark et al., 2005; Schmidlein et al., 2012; Engler et al., 2013; Garrity et al., 2013; Lin, 2013; Laurin et al., 2014), and of commercial plantations of forest species (Zhou et al., 2013; Srestasathiern and Rakwatin, 2014). The present paper seeks to contribute to the use of this technology by studying the native palm trees naturally and randomly dispersed and mixed with numerous other species.

Because babassu is a native species that is adapted to secondary environments (May et al., 1985; Anderson and Anderson, 1985), the expansion of the areas occupied by this species is directly related to the advancement of the agricultural frontier in the Amazon through deforestation (Teixeira, 2003). For many decades, this species has been the primary source of

income for ranchers in North and Northeast Brazil (Teixeira, 2003; Porro et al., 2011; Porro and Porro, 2014). However, the major hindrances within the production chain of babassu oil in Brazil are the lack of a regular supply system for quality raw materials and the scarcity of strategic partnerships with small ranchers (Teixeira, 2003). The methods proposed in this study regarding the density and production capacity estimates based on the results of automatic detection will provide more precise results that might be used to simulate numerous exploitation scenarios based on different systems of fruit harvest, adult density management and species regeneration time. These systems might provide ranchers with better plans of action for the constant and sustainable use of the production potential of this palm tree.

2.5. Conclusions

The result of the automatic detection using the algorithm on a very high spatial resolution image (75.45% quality) was promising, given that it was applied to natural, non-planted areas.

The validation of the information concerning stage 4, 5, and 6 *Attalea speciosa* (babassu) palm trees using field methods (i.e., structural census and georeferencing), regardless of algorithm detection, provided information regarding which structural characteristics have a greater influence on their detection in a very high spatial resolution image. This step is important in the study of automatic detection using remote sensing images of palm trees.

By itself, the use of the algorithm on very high spatial resolution images does not yet deliver researchers a density map exclusively for babassu for ranchers, associations or public policies. However, the detection of LCC palm trees and the implementation of auxiliary field methods to estimate the density of the species of interest is an important first step toward the large-scale monitoring of this important resource, not only by the Brazilian industry and economy but also by the thousands of families who depend on babassu extraction for subsistence.

REFERENCES

- Anderson, A.B., 1983. The biology of *Orbignya martiana* (Palmae), a tropical dry forest dominant in Brazil. Thesis (PhD), University of Florida. 196 p.
- Anderson, A.B., Anderson, S., 1985. A 'tree of life' grows in Brazil. *Nat. Hist.* 94 (12), 40-47.
- Aouragh, M., Lacaze, B., Hotyat, M., Ragala, R., Aboudi, A.E., 2013. Cartographie et suivi de la densité des arbres de l'Arganeraie (Sud-ouest du Maroc) à partir d'images de télédétection à haute résolution spatiale. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection* 203, 3-9.
- Araujo, F.R., Lopes, M.A., 2012. Diversity of use and local knowledge of palm trees (Arecaceae) in eastern Amazonia. *Biodivers Conserv* 21, 487–501. DOI: 10.1007/s10531-011-0195-9.
- Arnauld de Sartre, X., 2004. A Ruralisation of an Amazonian Frontier? In: SLAS Annual conference. Society for Latin American Studies, 19 p.
- Bai, Y., Walsworth, N., Roddan, B., Hill, D.A., Broersma, K., Thompson, D., 2005. Quantifying tree cover in the forest–grassland ecotone of British Columbia using crown delineation and pattern detection. *Forest Ecol Manag* 212, 92-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.005>.
- Barot, S., Mitja, D., Miranda, I., Meija, G.D., Grimaldi, M., 2005. Reproductive plasticity in an Amazonian palm. *Evol Ecol Res* 7, 1051–1065.
- Bertrand, G., 2009. Characterization of adaptive responses to water stress in the Southeast Amazon in three forage species grown in monoculture and in association: *Brachiaria brizantha*, *Leucaena leucocephala* et *Arachis pintoi*. Thesis (PhD), University of Paris-Est. 181 p.
- Clark, M.L., Roberts, D.A., Clark, D.B., 2005. Hyperspectral discrimination of tropical rain forest tree species at leaf to crown scales. *Remote Sens Environ* 96, 375-398.
- Coelho, R.F.R., Miranda, I.S., Mitja, D., 2012. Description of successional process at Benfica Settlement Project, Southeastern of State of Pará, Eastern Amazon. *Bol Mus Para Emílio Goeldi, Cienc Nat* 7(3), 251-282.
- Culvenor, D.S., 2002. TIDA: An Algorithm for the Delineation of Tree Crowns in High Spatial Resolution Remotely Sensed Imagery. *Computer & Geosciences* 28, 33-44. [http://dx.doi.org/10.1016/S0098-3004\(00\)00110-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0098-3004(00)00110-2).
- Da Rós, P.C.M., Silva, W.C., Grabauskas, D., Perez, V.H., Castro, H.F., 2014. Biodiesel from babassu oil: Characterization of the product obtained by enzymatic route accelerated by

- microwave irradiation. *Ind Crop Prod* 52, 313-320.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.013>.
- Demagistri, L., Mitja, D., Delaitre, E., Shahbazkia, H., Petit, M., 2014. Palm trees detection with very high resolution images, comparison between Geoeye and Pléiades sensors. <http://www.pleiades2014.com/presentations-2014> (accessed 14.01.17).
- Dias, F. B., Quartier, M., Diotaiuti, L., Mejía, G., Harry, M., Lima, A. C., Davidson, R., Mertens, F., Lucotte, M., Romaña, C.A., 2014. Ecology of *Rhodnius robustus* Larrousse, 1927 (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae) in *Attalea* palm trees of the Tapajós River Region (Pará State, Brazilian Amazon). *Parasit Vectors*. 7, 154.
- Dray, S., Dufour, A.B., 2007. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software* 22(4), 1-20.
- Dray, S., Dufour, A.B., Chessel, D., 2007. The ade4 package-II: Two-table and K-table methods. *R News* 7(2), 47-52.
- Engler, R., Waser, L.T., Zimmermann, E., Schaub, M., Berdos, S., Ginzler, C., Psomas, A., 2013. Combining ensemble modeling and remote sensing for mapping individual tree species at high spatial resolution. *Forest Ecol Manag* 310, 64-73.
- Erikson, M., Olofsson, K., 2005. Comparison of three individual tree crown detection methods. *Mach Vision Appl* 16(4), 258-265.
- Frazão, J.M.F., 2001. Alternativas econômicas para agricultura familiar assentadas em áreas de ecossistemas de babaçuais. Relatório Técnico, Governo do Estado do Maranhão, São Luis. 120pp.
- Garrity, S.R., Allen, C.D., Brumby, S.P., Gangodagamage, C., McDowell, N.G., Cai, D.M., 2013. Quantifying tree mortality in a mixed species woodland using multitemporal high spatial resolution satellite imagery. *Remote Sens Environ* 129, 54-65.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.029>.
- Ghiyammat, A., Shafri, H.Z.M., 2010. A review on hyperspectral remote sensing for homogeneous and heterogeneous forest biodiversity assessment. *Int J Remote Sens* 31(7), 1837-1856.
- Giada, S., Groeve, T.D., Ehrlich, D., Soille, P., 2003. Information extraction from very high resolution satellite imagery over Lukole refugee camp, Tanzania. *Int. J. Remote Sens* 24 (22), 4251–4266.
- Gonsalves, A.D., 1955. O Babaçu, considerações científicas, técnicas e econômicas. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, Série Estudos e Ensaios n° 8, 321p.

- Haralick, R.M., Stenberg S.R., Zhuang X., 1987. Image analysis using mathematical morphology. *IEEE T Pattern Anal* PAMI-9(4), 532-550. DOI: 10.1109/TPAMI.1987.4767941.
- Hirschmugl, M., Ofner, M., Raggam, J., Schardt, M., 2007. Single tree detection in very high resolution remote sensing data. *Remote Sens Environ* 110, 533–544.
- IBGE, 2013. Produção da Extração vegetal e da silvicultura. IBGE, Rio de Janeiro, v. 28, 69p.
- Jiang, M., Lin, Y., 2013. Individual deciduous tree recognition in leaf-off aerial ultrahigh spatial resolution remotely sensed imagery. *IEEE Geosci Remote Sens Lett*. 10, 38–42.
- Johansen, K., Sohlbach, M., Sullivan, B., Stringer, S., Peasley, D., Phinn, S., 2014. Mapping Banana Plants from High Spatial Resolution Orthophotos to Facilitate Plant Health Assessment. *Remote Sensing* 6, 8261–8286. doi:10.3390/rs6098261.
- Kahn, F., 1986. Adaptation en forêt tropicale humide: le cas des palmiers amazoniens. in: Hallé, F. (ed.), *L'arbre: compte-rendu du colloque international*. Naturalia Monspelienisia, Montpellier, p. 171-189.
- Laurin, G.V., Chan, J.C.W., Chen, Q., Lindsell, J.A., Coomes, D.A., Guerriero, L., Frate, F. D., Miglietta, F., Valentini, R., 2014. Biodiversity Mapping in a Tropical West African Forest with Airborne Hyperspectral Data. *PLoS ONE* 9(6), e97910. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0097910>.
- Lin, M.J.Y., 2013. Individual Deciduous Tree Recognition in Leaf-Off Aerial Ultrahigh Spatial Resolution Remotely Sensed Imagery. *IEEE Geosci Remote Sens Lett* 10(1), 38-42.
- Lorenzi, H., Noblick, L.R., Kahn, F., Ferreira, E., 2010. *Flora brasileira – Arecaceae (Palmeiras)*. Plantarum, São Paulo, 384 p.
- Luo, L., Wang, X., Guo, H., Liu, C., Liu, J., Li, L., Du, X., Qian, G., 2014. Automated Extraction of the Archaeological Tops of Qanat Shafts from VHR Imagery in Google Earth. *Remote Sensing* 6(12), 11956-11976.
- Malek, S., Bazi, Y., Alajlan, N., Alhichri, H., Melgani, F., 2014. Efficient Framework for Palm Tree Detection in UAV Images. *IEEE J-STARS* 7(12), 4692-4703.
- Martins, R.C., Filgueiras, T.S., Albuquerque, U.P., 2014. Use and Diversity of Palm (Arecaceae) Resources in Central Western Brazil. *The Scientific World Journal ID* 942043, 14 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/942043>.
- May, P.H., Anderson, A.B., Balick, M.J., Frazão, J.M.F., 1985. Subsistence benefits from the babassu palm (*Orbignya martiana*). *Econ Bot* 39,113-129.

- Mitja, D., Miranda, I.S., Velasquez, E., Lavelle, P., 2008. Plant species richness and floristic composition change along a rice-pasture sequence in subsistence farms of Brazilian Amazon, influence on the fallows biodiversity (Benfica, State of Pará). *Agr Ecosyst Environ* 124(2), 72-84.
- Mitja, D., Ferraz, I., 2001. Establishment of babassu in pastures in Pará, Brazil. *Palms* 45(3), 138-147.
- Mitja, D., Miranda, I.S. 2010. Weed community dynamics in two pastures grown after clearing Brazilian Amazonian rainforest. *Weed Res* 50, 163–173.
- Montúfar, R., Anthelme, F., Pintaud, J.C., Balslev, H., 2011. Disturbance and Resilience in Tropical American Palm Populations and Communities. *The Botanical Review* 77(4), 426-461.
- Pintaud, J.-C., Galeano, G., Balslev, H., Bernal, R., Borschenius, F., Ferreira, E., Granville, J. J., Mejía, K., Millán, B., Moraes, M., Noblick, L., Stauffer, F.W., Kahn, F., 2008. Las palmeras de América del Sur: diversidad, distribución e historia evolutiva. *Revista Peruana de Biología* 15(Supl. 1), 7–29.
- Porro, N., Veiga, I., Mota, D., 2011. Traditional communities in the Brazilian Amazon and the emergence of new political identities: the struggle of the quebradeiras de coco babaçu - babassu breaker women. *Journal of Cultural Geography* 28 (1), 123-146.
- Porro, R., Porro, N.S.M., 2014. Social roots of resource use routes in rural Maranhão, Brazil. *Journal of Rural Studies* 36, 64-76.
- Pouliot, D.A., King, D.J., Bell, F.W., Pitt, D.G., 2002. Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration. *Remote Sens Environ* 82, 322-334.
- Protásio, T.P., Trugilho, P.F., César, A.A.S., Napoli, A., Melo, I.C.N.A., Silva, M.G., 2014. Babassu nut residues: potential for bioenergy use in the North and Northeast of Brazil. *SpringerPlus* 3 (1), 1. Doi:10.1186/2193-1801-3-124
- R Core Team, 2014. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/> (accessed 14.01.17).
- Rich, P.M., Helenurm, K., Kearns, D., Morse, S.R., Palmer, M.W., Short, L., 1986. Society Height and Stem Diameter Relationships for Dicotyledonous Trees and Arborescent Palm trees of Costa Rican Tropical Wet Forest. *B Torrey Bot Club* 113 (3), 241-246.
- Ritter, L., Martins, P., Cooper, M., Grimaldi, C., 2009. Variação e possibilidades de uso do solo sobre rochas cristalinas na Amazônia oriental. *Novos Cadernos NAEA* 12(1), 225-246.

- Sampaio, S.M.N., 2008. Dinâmica da paisagem e complexidade espacial de um Projeto de Assentamento da Amazônia Oriental. 2008. Thesis (PhD), Universidade Federal Rural da Amazônia. 175 p.
- Santos, A.M., Mitja, D., 2011. Wooded cattle pasture in the benfica seedling project in Itupiranga, Pará, Brazil. *Rev Arvore* 35(4), 919-930.
- Schmidtlein, S., Feilhauer, H., Bruelheide, H., 2012. Mapping plant strategy types using remote sensing. *J Veg Sci* 23, 395–405.
- Serra, J., 1982. Image analysis and mathematical morphology. Academic Press, New-York.
- Shafri, H.Z.M., Hamdan, N., Saripan, M.I., 2011. Semi-automatic detection and counting of oil palm trees from high spatial resolution airborne imagery. *Int J Remote Sens* 32(8), 2095-2115. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161003662928>.
- Shufelt, J.A., 1999. Performance evaluation and analysis of monocular building extraction from Aerial imagery. *IEEE T Pattern Anal* 21, 311–326. DOI: 10.1109/34.761262
- Soille, P., Pesaresi, M., 2002. Advances in mathematical morphology applied to geoscience and remote sensing. *IEEE T Geosci Remote* 40, 2042–2055.
- Srestasathiern, P., Rakwatin, P., 2014. Oil Palm Tree Detection with High Resolution Multi-Spectral Satellite Imagery. *Remote Sensing* 6(10), 9749-9774.
- Teixeira, M.A., 2003. Uma Agenda para o Babaçu. *Revista Econômica do Nordeste* 34(4), 562-575.
- Torres-Méndez, L.A., Ruiz-Suárez, J.C., Sucar, L.E., Gómez, G., 2000. Translation Rotation and Scale-Invariant Object Recognition. *IEEE T Systems Man and Cybernetics*, 30:125-130. DOI: 10.1109/5326.827484.
- Wang, Y.H., Augspurger, C., 2006. Comparison of seedling recruitment under arborescent palm trees in two Neotropical forests. *Oecologia* 147(3), 533-45.
- Whiteside, T., Boggs, G., Maier, S., 2011. Extraction of tree crowns from high resolution imagery over Eucalypt dominant tropical savanna. *Photog Eng Rem S* 77 (8), 813-824.
- Zhang, J., Rivard, B., Sánchez-Azofeifa, A., Castro-Esau, K., 2006. Intra- and inter-class spectral variability of tropical tree species at La Selva, Costa Rica: Implications for species identification using HYDICE imagery. *Remote Sens Environ* 30 105(2), 129-141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.06.010>.
- Zhou, J., Proisy, C., Descombes, X., Le Maire, G., Nouvellon, Y., José-Luiz, S., Viennois, G., Zerubia, J., Couteron, P., 2013. Mapping local density of young Eucalyptus plantations by individual tree detection in high spatial resolution satellite images. *Forest Ecol Manag* 301, 129-141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.007>.

3. ESTRUTURA POPULACIONAL DA PALMEIRA BABAÇU EM DIFERENTES HABITATS NO SUDESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA²

RESUMO

A palmeira babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.), nativa da floresta primária e de uso múltiplo, possui ótimo desenvolvimento em ambientes secundários. O conhecimento da estrutura de população do babaçu constitui uma das principais etapas para a garantia do manejo sustentável da espécie. O objetivo deste trabalho foi analisar as mudanças da estrutura populacional do babaçu ao longo de três observações realizadas nos anos de 2013, 2014 e 2015, em 25 parcelas de três diferentes habitats (pastagens de diferentes idades: n=17, florestas primárias: n=4 e babaçuais: n=4) no Projeto de assentamento Benfica, Itupiranga-Pará. Foram marcados com etiquetas numeradas 4977 indivíduos de seis estágios de vida e registradas informações morfológicas: tamanho do pecíolo, número de folhas, altura total, altura do estipe, diâmetro a 30 cm do solo, diâmetro à altura do peito e circunferência da coroa. Os estudos indicaram que as características morfológicas do babaçu dos estágios de 1 a 4 é diferente entre os habitats, principalmente entre os ambientes secundários (pastagem e babaçal) e florestas primárias. A dinâmica da densidade de indivíduos ao longo do tempo foi diferente nos três habitats estudados, sendo mais estável nas florestas. No total (seis estágios), as maiores densidades foram encontradas nas florestas, seguida pelas pastagens mais velhas e babaçal mais denso, e por último as pastagens mais novas e babaçal menos denso. Nossos resultados sugerem uma ligação entre o envelhecimento das pastagens e o aumento da densidade da palmeira babaçu, principalmente devido ao recrutamento anual de plântulas e a resiliência da espécie.

Palavras-Chave: *Attalea speciosa*, Estágios de vida, Floresta, Pastagens, Babaçuais

² Este capítulo segue as normas e foi submetido ao periódico *Acta Amazônica*

BABASSU PALM POPULATION STRUCTURE IN DIFFERENT HABITATS IN THE SOUTHEASTERN BRAZILIAN AMAZON

ABSTRACT

The babassu palm (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) presents excellent development in secondary environments. The species is native from primary forests. Knowledge regarding population structure of the babassu palm is one of the main prerequisites for a sustainable management of the multiple use species. The objective of this study was to analyze changes in population structure of babassu palm over three observations carried out in 2013, 2014 and 2015, in 25 plots of three different habitats (pastures: n=17, primary forests: n=4 and babaçuais [babassu lands]: n=4). The plots were located in the Benfica community, Pará state, Brazil. All, 4,977 individuals sampled in six life stages were tagged with numbered plates, and the following morphological information was recorded: a) petiole length, b) number of leaves, c) total height, d) stipe height, e) crown circumference, f) diameter at 30 cm aboveground and g) breast height (1.3 m aboveground). The morphological characteristics of babassu in stages 1 to 4 differed among habitats, especially between secondary environments (pasture and babaçual) and primary forests. The dynamics regarding density of individuals over time differed among the three studied habitats and was relatively stable in the primary forests. Considering all six stages together, the highest densities were found in primary forests, followed by older pastures and comparatively dense babaçual and finally by younger pastures and less dense babaçual. Our results suggest a positive relation between pasture aging and increase in babassu densities, mainly due to the annual recruitment of seedlings and the species resilience.

Keywords: *Attalea speciosa*, Life stages, Forest, Pastures, Babaçuais

3.1. Introdução

O processo de desflorestamento tem afetado negativamente as espécies florestais, inclusive as palmeiras neotropicais, devido principalmente às alterações microclimáticas (Anthelme et al. 2011). Embora sejam plantas da floresta primária, as palmeiras do gênero *Attalea*, como a *Attalea speciosa* (babaçu) e a *Attalea maripa* (inajá) podem se tornar agressivas e invadir áreas abertas (Kahn et al. 2003; Santos e Mitja 2011; Coelho et al. 2012), já que o desflorestamento promove o crescimento das palmeiras remanescentes e os incêndios não costumam causar mortalidade nos indivíduos jovens (Mitja e Ferraz 2001; Souza e Martins 2002; Kahn et al. 2003). No entanto, as perturbações frequentes no habitat podem ameaçar até mesmo essas espécies pré-adaptadas aos distúrbios (Souza e Martins 2004).

A estrutura populacional de uma espécie vegetal é influenciada por fatores abióticos (p.ex. clima, química do solo, hidrologia e topografia) e bióticos (interações entre os indivíduos) que atuam sobre seus ancestrais; além dos fatores atuais, como a disponibilidade de alimentos, a taxa de predação e outros fatores ecológicos (Begon et al. 2007). A análise da estrutura de populações permite compreender o comportamento e as estratégias de exploração do ambiente pelas espécies (Faleiro e Schiavini 2009), etapa indispensável para avaliar a dinâmica das populações ao longo do tempo.

Os fatores que afetam o crescimento populacional são divididos entre dependentes da densidade, como a mortalidade por competição entre plântulas em densidade alta, e independentes da densidade, quando as taxas de natalidade e mortalidade não dependem do tamanho da população (Begon et al. 2007). Os fatores dependentes da densidade resultam principalmente da competição intraespecífica, mas também podem resultar da competição interespecífica, predação, parasitismo e herbivoria (Begon et al. 2007).

Considerando o caráter cada vez mais intensivo das perturbações antrópicas e suas repercussões sobre o ciclo de vida das plantas, o conhecimento da estrutura de população de espécies de uso múltiplo, como a palmeira *Attalea speciosa*, constitui uma das principais etapas para a garantia do manejo sustentável dessa espécie (Marcos e Matos 2003; Monteiro e Fish 2005). O estudo da estrutura populacional do babaçu pode dar subsídio a duas ações opostas: a primeira é a conservação da espécie, considerada extremamente importante no aspecto econômico e cultural para as comunidades extrativistas do norte e nordeste do Brasil (Campos et al. 2015; Almeida et al. 2016); a segunda é a dificuldade de controlar a invasão e manejar a grande densidade de indivíduos (Kahn et al. 2003), vista como um grande problema por alguns proprietários de áreas rurais nessas regiões.

Diante desse dilema, se torna ainda mais importante o avanço no conhecimento ecológico, de forma a permitir entender a mudança no tamanho populacional, a capacidade de regeneração e o comportamento dinâmico do babaçu ao longo do tempo; temas estes ainda pouco investigados. Um melhor conhecimento ecológico do ciclo de vida do babaçu poderia subsidiar o desenvolvimento de técnicas e planos de manejo para essa espécie.

Diversos estudos já descreveram a estrutura populacional de palmeiras de diferentes espécies (Marcos e Matos 2003; Monteiro e Fish 2005; Arroyo-Rodríguez et al. 2007; Sampaio et al. 2008; Silva et al. 2009; Guilherme e Oliveira 2011; González et al. 2012; Giroldo et al. 2012; Negrelle 2013; Costantin et al. 2013; Oliveira et al. 2014), inclusive da palmeira babaçu, considerando até mesmo os diferentes habitats ocupados (Anderson 1983; Barot et al. 2005). No entanto a dinâmica populacional do babaçu ainda não foi estudada.

O objetivo deste trabalho foi analisar as mudanças da estrutura populacional do babaçu ao longo de três anos (2013, 2014 e 2015) em três diferentes habitats (pastagens, florestas primárias e babaçuais) no Projeto de assentamento Benfica, Itupiranga-Pará. A hipótese é que esse curto intervalo de tempo será suficiente para perceber as mudanças na estrutura populacional do babaçu nas pastagens, mas não em babaçuais e florestas.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido em área de pequenos agricultores no Projeto de Assentamento Benfica, localizado no município de Itupiranga, microrregião de Marabá, estado do Pará, sudeste da Amazônia brasileira (05°16'20" S e 49°50'25" W). A localidade possui 9501 hectares; foi ocupada a partir de 1986, sucessivamente por fazendeiros e colonos, e regularizada pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) em 1996. Em 2005 a estimativa indicava a existência de 183 estabelecimentos agrícolas e cerca de mil habitantes na comunidade (Ritter *et al.* 2009).

Segundo os dados meteorológicos anuais do INMET (2017), houve uma importante variação climática nos últimos 15 anos, inclusive no período de realização deste estudo (2013-2015, Figura 1). Como na maioria das terras cultiváveis na Amazônia, a área de estudo apresenta uma baixa fertilidade dos solos e a transformação da floresta em pastagens provocou uma rápida mudança nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Dosso *et al.* 2005; Ritter *et al.* 2009).

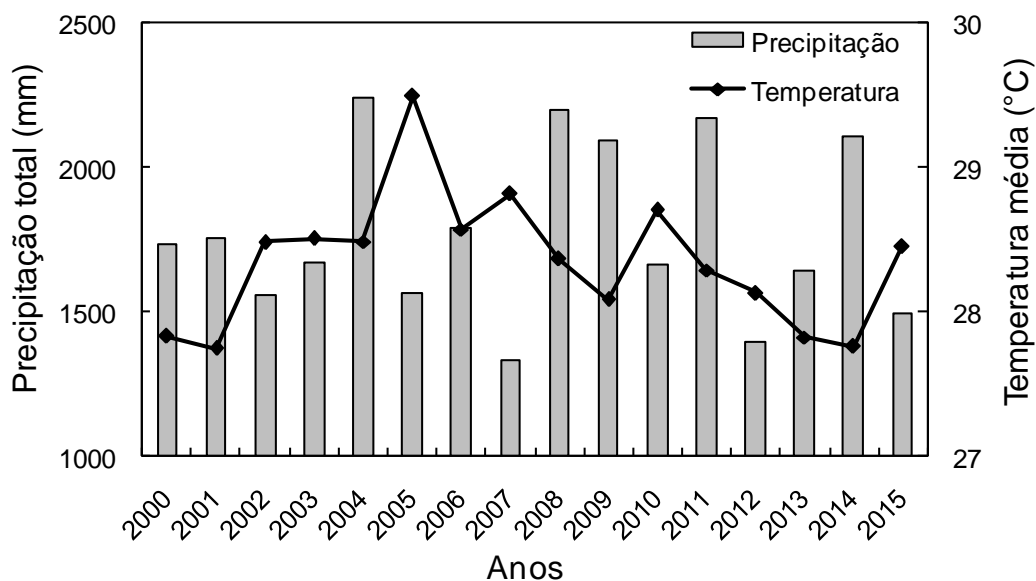









Figura 1. Dados meteorológicos anuais do assentamento Benfica no período de 2000-2015, obtidos pela estação do INMET em Marabá-Pará.

3.2.2. Levantamento de campo

Foram estudados 4977 indivíduos de babaçu em 2013; 5627 em 2014 (com recrutamento de 650 indivíduos) e 6333 em 2015 (recrutamento de 706); esses indivíduos pertenciam a seis diferentes estágios ontogenéticos (Tabela 1). Foram considerados como recrutas àqueles indivíduos novos que surgiram a cada ano de estudo. Os indivíduos não encontrados após dois levantamentos (2014 e 2015) foram considerados mortos.

Todos os indivíduos foram marcados com etiquetas numeradas no ano de 2013, 2986 indivíduos em pastagens de diferentes idades, 1002 em áreas de florestas primárias e 989 em babaçuais, distribuídos em 11 parcelas e 25 transectos amostrais (Tabela 2). As florestas amostradas são primárias do tipo tropical de terra firme, com baixa abundância de babaçu. As áreas de pastagens foram formadas após a derrubada da floresta (primária ou secundária) e culturas anuais; na maioria das pastagens a forrageira era *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, associada ou não com a gramínea *Panicum maximum* cv. Mombaça. Enquanto que os babaçuais são florestas secundárias, com monodominância da palmeira babaçu, formadas a partir do abandono de áreas de pastagens.

Tabela 1. Estágios ontogenéticos dos indivíduos de babaçu estudados.

Estágios	Características morfológicas	
1: Plântula	Plântula com o limbo de todas as folhas ainda não dividido.	
2: Jovem1	Jovem com pelo menos 1 folha com limbo dividido ou em processo de divisão e nenhum pecíolo superior a 50 cm de comprimento (medição acima da superfície do solo).	
3: Jovem 2	Jovem com gema terminal acima do nível da superfície do solo (com bainhas das folhas bem visíveis) e com circunferência do estipe coberto pelas bainhas < 1,5m (medição a 30 cm da superfície do solo).	
4: Jovem 3	Adulto com sinais ou presença de órgãos reprodutores masculinos e/ou femininos.	
5: Jovem 4	Adulto com sinais ou presença de órgãos reprodutores masculinos e/ou femininos.	
6: Adulto	Adulto com sinais ou presença de órgãos reprodutores masculinos e/ou femininos.	

A estrutura populacional foi analisada por meio da abundância dos indivíduos em cada estágio, além das características morfológicas dos indivíduos: tamanho do pecíolo (somente para estágios de 1 a 4), número de folhas, altura total (para todos os estágios), altura do estipe, diâmetro a 30 cm do solo, diâmetro à altura do peito (DAP) e circunferência da coroa (apenas para os estágios 5 e 6).

Tabela 2. Histórico de uso do solo das parcelas estudadas no assentamento Benfica, Pará. **TPDe**: Tempo decorrido após o 1º desmatamento (anos); **Quei**: N° total de queimadas; **nLimp**: N° de limpezas/ano; **N**: número de transectos.

Parcela	Trajectoria	TPDe	Quei	nLimp	N
Pas-04	Floresta primária → Cultivo (Arroz) → Pastagem	9	2	1	3
Pas-06a	Floresta primária → Cultivo (Arroz) → Pastagem	7	1	1	2
Pas-06b	Floresta primária → Cultivo (Arroz) → Pastagem	7	3	2 a 3	2
Pas-08	Floresta primária → Cultivo (Arroz) → Pastagem	5	2	1	3
Pas-10a	Floresta secundária → Cultivo (Milho) → Pastagem	3	1	1	2
Pas-10b	Floresta primária → Cultivo (Arroz) → Pastagem	3	2	1	2
Pas-12	Floresta primária → Cultivo (Arroz) → Pastagem	1	1	0	3
Bab1	Floresta primária → Cultivos → Pastagem → Babaçual	>30	0	1	2
Bab2	Floresta primária → Cultivos → Pastagem → Babaçual	>30	0	1	2
Flo1	Floresta primária	-	-	-	2
Flo2	Floresta primária	-	-	-	2
				TOTAL	25

3.2.3. Análise dos dados

A normalidade de todos os dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk; como os dados não apresentaram normalidade foram utilizados testes não paramétricos. Todas as medidas morfológicas dos seis estágios de vida, considerando os três levantamentos (em 2013, 2014 e 2015), foram comparadas entre os três habitats através do teste de Kruskal-Wallis para caracterização geral do perfil de cada estágio; também foram comparadas as densidades de indivíduos por estágio de vida durante os três anos em todas as áreas, para essa comparação foi utilizado o teste de Friedman. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa agricolae (De Mendiburu 2009) implementado na plataforma R version 3.1.2 (R Core Team 2014).

A similaridade estrutural entre as parcelas dos diferentes habitats foi verificada através de análises de agrupamento hierárquico a partir dos dados de densidade de cada estágio em cada parcela; para essa análise foi utilizada a distância euclidiana com as médias aritméticas não-ponderadas (UPGMA) para ligação dos grupos.

2.3. Resultados

2.3.1. Caracterização morfológica dos estágios nos diferentes habitats

As características morfológicas de cada estágio diferiram entre os habitats (floresta, pastagens e babaçual). O estágio 1 (plântulas) apresentou diferença significativa nas características morfológicas entre todos os habitats e em todos os parâmetros, exceto na altura total entre pastagem e babaçual (Tabela 3). As características do estágio 2 também diferiram entre os três habitats, com exceção do número de folhas entre floresta e pastagem. Já em relação ao estágio 3, houve diferença entre a floresta e os outros habitats (pastagem e babaçual) em todas as medidas estudadas. Também no estágio 4 todas as medidas apresentaram diferenças significativas entre todos os habitats, exceto o comprimento do pecíolo, que foi similar entre pastagem e babaçual.

O estágio 5 foi caracterizado por haver diferença significativa entre floresta e os outros dois habitats (pastagem e babaçual) apenas na circunferência da coroa. E, finalmente para os adultos (estágio 6) houve diferença significativa entre floresta e os outros dois habitats em todas as variáveis medidas, com exceção da circunferência da coroa que não foi significativamente diferente entre os três habitats (Tabela 3).

Tabela 3. Média (\pm Desvio Padrão) das medidas morfológicas de seis estágios de vida de *Attalea speciosa* (babaçu) em diferentes habitats no sudeste do Pará, obtidas nos três anos (2013, 2014 e 2015). Letras comuns indicam não haver diferença entre as médias encontradas nos habitats ($p < 0,05$; teste de Kruskal-Wallis).

Estágios de vida	Altura total (cm)			Nº de folhas			Comprimento do pecíolo (cm)		
	Babaçual	Floresta	Pastagem	Babaçual	Floresta	Pastagem	Babaçual	Floresta	Pastagem
Estágio 1	28,7 \pm 14,3 ^b n=1070	35,8 \pm 14,1 ^a n=2210	29,4 \pm 15,1 ^b n=2698	2,6 \pm 1,1 ^a n=1070	2,5 \pm 1 ^b n=2210	2,4 \pm 1,1 ^c n=2698	4,3 \pm 3 ^b n=1070	6,5 \pm 3,8 ^a n=2210	4 \pm 3,3 ^c n=2698
Estágio 2	80,4 \pm 47,7 ^c n=1202	89,2 \pm 44,1 ^b n=400	102,9 \pm 54,9 ^a n=4736	3,2 \pm 1 ^b n=1202	3,4 \pm 1,1 ^a n=400	3,3 \pm 1 ^a n=4736	15,6 \pm 11,2 ^c n=1202	18,6 \pm 10,8 ^b n=400	21,3 \pm 12,7 ^a n=4736
Estágio 3	235,4 \pm 87 ^b n=425	367,2 \pm 154,6 ^a n=192	245,1 \pm 100,5 ^b n=1793	3,8 \pm 0,9 ^b n=425	4,8 \pm 1,3 ^a n=192	3,8 \pm 1,1 ^b n=1793	68 \pm 28,9 ^b n=425	139,6 \pm 72 ^a n=192	73 \pm 35,3 ^b n=1793
Estágio 4	348,3 \pm 99,5 ^c n=51	883,3 \pm 169,6 ^a n=9	562,3 \pm 178 ^b n=72	4,4 \pm 1,3 ^c n=51	7,7 \pm 1,2 ^a n=9	6,1 \pm 2 ^b n=72	56,7 \pm 41,2 ^b n=51	344,4 \pm 51,3 ^a n=9	74,6 \pm 73,6 ^b n=72

Estágios de vida	Altura total (m)			Altura do estipe (m)*			Nº de folhas		
	Babaçual	Floresta	Pastagem	Babaçual	Floresta	Pastagem	Babaçual	Floresta	Pastagem
Estágio 5	9 \pm 2,4 ^a n=60	10,1 \pm 1,7 ^a n=32	8,9 \pm 2 ^b n=145	-	1,2 \pm 0,8 ^a n=3	1 \pm 0,3 ^a n=22	11,2 \pm 4,3 ^a n=60	10 \pm 1,9 ^a n=32	10,7 \pm 4,6 ^a n=145
Estágio 6	11,5 \pm 1,1 ^b n=52	19 \pm 6,3 ^a n=88	12,7 \pm 3,9 ^b n=330	1,7 \pm 1,1 ^c n=33	11,8 \pm 7,1 ^a n=85	4,1 \pm 5,5 ^b n=225	16,4 \pm 3,4 ^a n=52	12,6 \pm 3,8 ^b n=88	18,2 \pm 6,2 ^a n=330

Estágios de vida	Diâmetro na base (cm)*			DAP (cm)*			Circunferência da coroa (m)		
	Babaçual	Floresta	Pastagem	Babaçual	Floresta	Pastagem	Babaçual	Floresta	Pastagem
Estágio 5	-	49,2 \pm 8,3 ^a n=3	50,8 \pm 10,1 ^a n=22	-	42,1 \pm 2,4 ^a n=3	47,2 \pm 12,9 ^a n=22	24,9 \pm 9,4 ^b n=60	32 \pm 5,3 ^a n=32	21,5 \pm 5,7 ^c n=145
Estágio 6	53 \pm 9,6 ^a n=33	44 \pm 7,4 ^b n=85	53,3 \pm 10,1 ^a n=225	49,3 \pm 11,3 ^a n=33	35,9 \pm 5 ^b n=85	45,6 \pm 11,1 ^a n=222	33 \pm 5,4 ^a n=52	32,7 \pm 5,3 ^a n=88	32,9 \pm 7,1 ^a n=330

*Somente os indivíduos com estipe livre (não envolvidos por bainhas) foram usados para calcular a média destas características morfológicas, que foram comparadas entre os habitats pelo teste de Wilcoxon, $p < 0,05$ (Estág.5).

3.3.2. Estrutura populacional ao longo de três anos

Os indivíduos do estágio 1 representaram de 38–39% do total de indivíduos estudados nos três anos e nos três tipos de habitat, o estágio 2 (38–45%), estágio 3 (11–19%), estágio 4 (0,7–1,1%), estágio 5 (1,3–1,8%) e estágio 6 (3–3,1%). Em 2014 ocorreu o recrutamento de 650 indivíduos e a mortalidade representou 3,8%; enquanto que em 2015 houve o recrutamento de 706 indivíduos e a mortalidade foi de 3,2%.

A dinâmica da densidade de indivíduos de cada estágio de vida ao longo do tempo foi diferente nos três habitats estudados. Nos babaçuais, a densidade mudou ao longo do tempo em todos os estágios de vida, apenas no estágio 6 a densidade se manteve estável (Figura 2). Já nas áreas de florestas todos os estágios se mantiveram estáveis, apenas o estágio 3 apresentou média da densidade significativamente diferente durante o período estudado. Enquanto que nas pastagens o comportamento foi variável; os estágios 2, 3 e 4 diferiram durante o estudo e os estágios 1, 5 e 6 permaneceram estáveis. O estágio 3 foi o único que apresentou diferença significativa em todos os habitats durante os três anos de observação.

Em todos os anos houve grande diferença na densidade de indivíduos do estágio 1 (plântula) entre as florestas (ex. 2013 = 5879 ind./ha) e pastagens (ex. 2013 = 561 ind./ha). O estágio 2 foi mais abundante nas pastagens (1316 ind./ha) que nas florestas (947 ind./ha); e os estágios seguintes (de 3 a 6), apresentaram densidade similares nas florestas e pastagens: estágio 3 – floresta (439 ind./ha) e pastagem (266 ind./ha), estágio 4 – floresta (23 ind./ha) e pastagem (14 ind./ha), estágio 5 – floresta (5 ind./ha) e pastagem (4 ind./ha), e estágio 6 – floresta (13 ind./ha) e pastagem (7 ind./ha). Somente na floresta a distribuição dos indivíduos por estágio foi exponencial negativa, popularmente chamada de J-reverso, onde a maior concentração de indivíduos/hectare foi verificada nos estágios iniciais, comportamento normal verificado em florestas naturais (Figura 2).

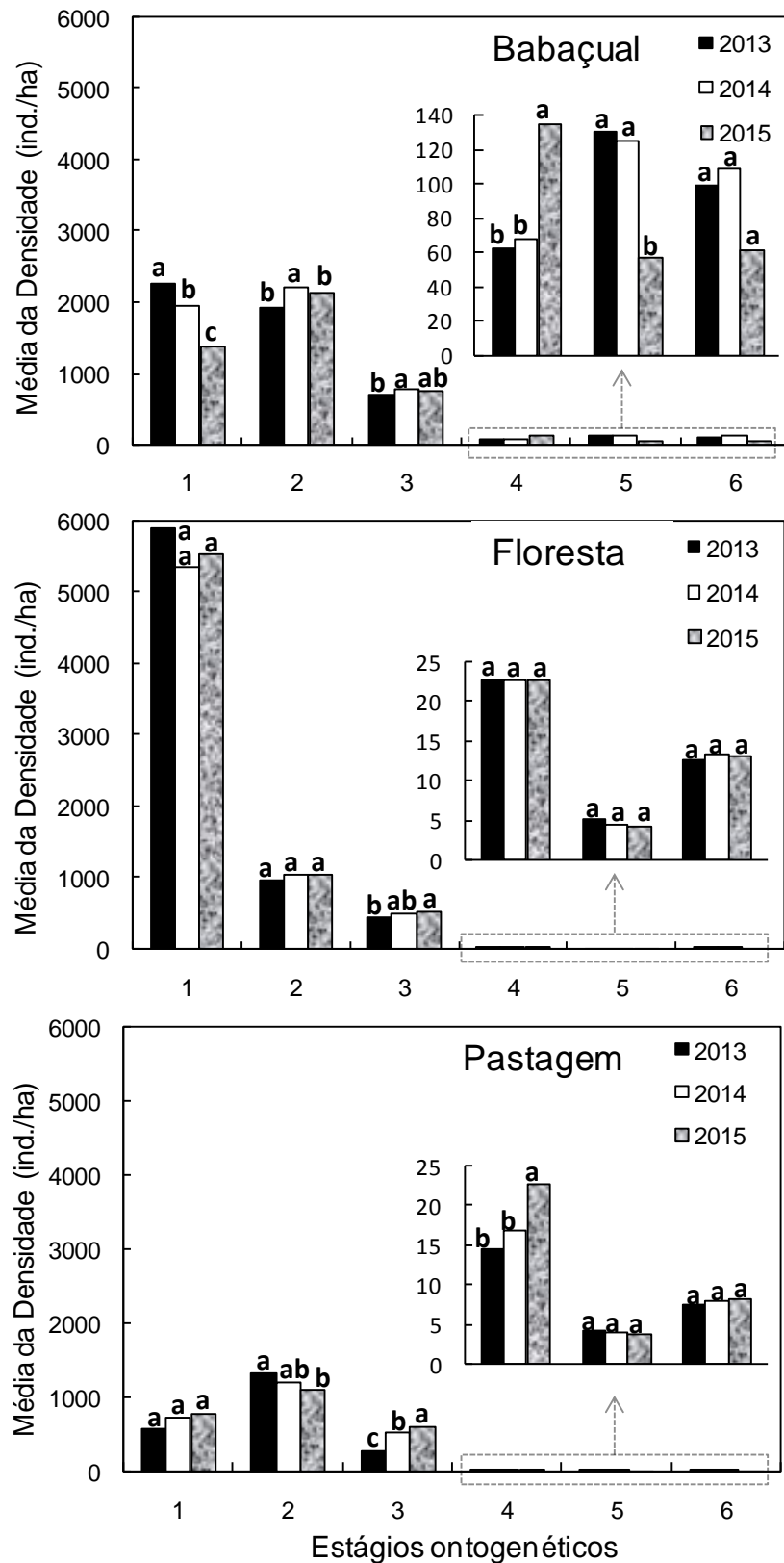


Figura 2. Densidade de indivíduos por estágio de vida durante os anos de 2013, 2014 e 2015 nas áreas de floresta (n=4), pastagem (n=17) e babaçual (n=4) do Projeto de Assentamento Benfica. Letras minúsculas comuns indicam não haver diferença entre os tratamentos dentro de cada estágio de vida ao longo do tempo ($p < 0,05$, teste de Friedman).

A similaridade estrutural entre as parcelas dos três tipos de habitats mostrou nos três anos que a estrutura populacional encontrada nas florestas é bem distinta que aquela encontrada nas pastagens e babaçuais; e, nesses dois últimos habitats a estrutura populacional foi mais dinâmica (Figura 3). As áreas amostradas no ano de 2013 foram separadas em 3 grupos: A) grupo formado por áreas de florestas (Flo1 e Flo2); B) grupo contendo somente a área de pastagem mais antiga (2004, Pas-04); C) grupo formado por áreas de pastagens de diferentes idades (Pas-06, Pas-10, Pas-08 e Pas-12) e áreas de babaçuais (Bab1 e Bab2).

Em 2014, as áreas amostradas também foram separadas em 3 grupos: A) grupo formado por áreas de florestas (Flo1 e Flo2); B) grupo formado por áreas de pastagens mais novas (Pas-08, Pas-10 e Pas-12) e babaçal menos denso (Bab2); C) grupo formado por áreas de pastagens mais antigas (Pas-04 e Pas-06) e babaçal mais denso (Bab1).

E no ano seguinte (2015) a formação dos grupos se deu de forma semelhante ao ano anterior, apenas a parcela Pas-08 passou ao grupo de pastagens mais antigas pois aumentou sua densidade em 25% no período de um ano (2014-2015), deixando de integrar o grupo de pastagens novas. Houve a formação de três grupos: A) grupo formado por áreas de florestas (Flo1 e Flo2); B) grupo formado por áreas de pastagens mais antigas (Pas-04, Pas-06 e Pas-08) e babaçal mais denso (Bab1); C) grupo formado por áreas de pastagens mais novas (Pas-10 e Pas-12) e babaçal menos denso (Bab2).

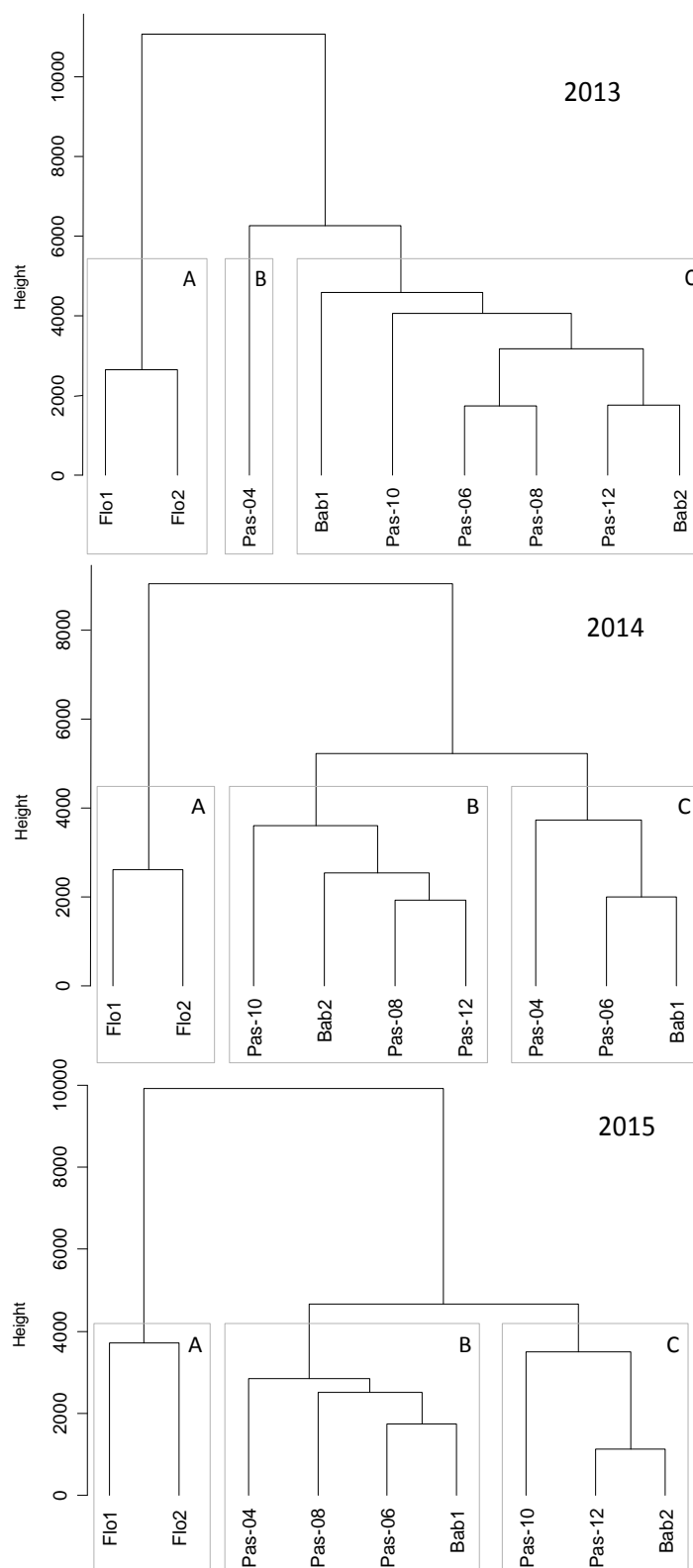


Figura 3. Dendrogramas de similaridade estrutural entre as parcelas de pastagens (Pas; $n=5$), florestas primárias (Flo; $n=2$) e babaçuais (Bab; $n=2$) baseados na densidade de indivíduos em cada estágio ontogenético, no assentamento Benfica-Pará em 2013, 2014 e 2015. O método de ligação foi o UPGMA e o coeficiente de Distância Euclidiana. Flo (floresta); Pas (pastagem) seguido do ano de plantio da gramínea (Pas-04 plantio em 2004, Pas-06 em 2006, Pas-08 em 2008, Pas-10 em 2010 e Pas-12 em 2012); Bab (babaçual).

3.4. Discussão

3.4.1. Caracterização morfológica

De acordo com as características morfológicas verificadas no babaçu, foi constatado que para os estágios de 1 a 4 os indivíduos possuem características morfológicas diferentes, principalmente entre os ambientes antrópicos (pastagem e babaçual) e florestas primárias, onde apresentaram medidas maiores, provavelmente devido à variação dos fatores ambientais que influenciam a performance e a sobrevivência dos indivíduos (Faleiro e Schiavini 2009). O desenvolvimento dos indivíduos na fase inicial (plântulas e jovens) nas florestas é favorecido pela serrapilheira, que proporciona maior teor de umidade e matéria orgânica no solo (Marcos e Matos 2003), embora o ritmo de crescimento seja bem mais lento do que em áreas abertas (Anderson 1983). O ritmo lento do incremento anual dos indivíduos das florestas pode ser um indicativo à maior mortalidade de plântulas e juvenis pré-estabelecidos neste habitat (Anderson 1983).

No estágio 5 os indivíduos presentes em florestas passaram a ser mais semelhantes em termos morfológicos àqueles de pastagens e babaçuais. Já os adultos (estágio 6), apresentaram diferenças entre os ambientes secundários (pastagem e babaçual) e florestas primárias na maioria das características morfológicas estudadas, como altura total e DAP. Isso sugere que os diferentes históricos de uso do solo podem estar influenciando algumas dessas características morfológicas, como a frequência da prática de manejo das pastagens cultivadas (queimadas e roços). Em babaçuais o nível da competição intraespecífica também influencia essas características morfológicas (Barot *et al.* 2005). Além disso, em algumas áreas as restrições físicas do solo podem determinar o limite superior para área basal das palmeiras (Emilio *et al.* 2013).

3.4.2. Estrutura populacional ao longo dos anos

A diminuição do percentual de indivíduos dos estágios 1 a 3 é comum nas populações estáveis e auto-regenerativas, pois as plântulas e indivíduos jovens são influenciados por fatores distintos (predação, competição, herbivoria) e diferem quanto ao tamanho e quantidade de reservas estocadas (Begon *et al.* 2007). Isto resulta em maior mortalidade, reduzindo assim a proporção nos estágios subsequentes (estágios 4 a 6). Os fatores

considerados independentes da densidade, como as variações climáticas, também afetam o crescimento populacional (Gurevitch *et al.* 2009), pois impõem limites aos habitats que proporcionam níveis de mortalidade baixos ou até insustentáveis (Lintz *et al.* 2016). As variáveis climáticas observadas na área de estudo em um período de 15 anos, tiveram um caráter cíclico, que alternou anos com maiores e menores valores de precipitação e temperatura (Figura 1). Isso possivelmente contribuiu para uma variação da abundância populacional do babaçu ao longo do tempo.

Apesar de mudanças na densidade de indivíduos ser mais lenta em florestas, os dados obtidos nos diferentes habitats demonstraram uma densidade de indivíduos do estágio 1 (plântula) muito superior nas florestas em relação às pastagens e babaçuais. Nas florestas primárias as sementes estão mais protegidas, o que proporciona uma grande quantidade de plântulas (Mitja e Ferraz 2001). Este seria o habitat ideal para a germinação do babaçu, onde haveria solos úmidos e sombreados (Anderson 1983), mas não para o crescimento das plântulas. Por ser uma espécie climática, as plântulas de babaçu terão um crescimento mais lento devido à baixa taxa de luz no sub-bosque da floresta, o que torna demorada a mudança aos estágios seguintes. Anderson (1983) estimou o período de 38 anos entre a germinação e o início do crescimento vertical do estipe do babaçu em florestas primárias. As palmeiras adultas que conseguiram se estabelecer nas florestas provavelmente estavam situadas em clareiras quando nos estágios iniciais, e a disponibilidade de luz contribuiu para seu crescimento (Anderson 1983; Salm *et al.* 2005).

Nos babaçuais e pastagens a estrutura se mostrou mais dinâmica. Ao contrário das florestas, nas pastagens as sementes não estão protegidas, mas sob a incidência do sol e do fogo, o que pode causar a destruição das sementes (Mitja e Ferraz 2001). Todavia, para Anderson (1983) o fogo aplicado anualmente nas pastagens não tem efeito no sucesso da germinação do babaçu. Sementes grandes, como as do babaçu, têm maior reserva nutricional e por isso são maiores as chances de se estabelecer (Salm 2005). O fato do rebanho pisar nos frutos e enterrá-los também pode proteger e impedir a destruição das sementes (Mitja e Ferraz 2001). Nas pastagens, a quantidade de plântulas foi bem menor, mas elas irão crescer mais rapidamente e evoluir aos estágios seguintes por estarem em ambiente aberto. Assim a alta densidade populacional desta palmeira pode ser explicada pelo histórico de uso do solo (Anderson 1983) e pelo tipo de manejo aplicado pelo agricultor (Silva *et al.* 2012).

Os babaçuais, apesar de serem um habitat mais fechado, com limitação de luz no sub-bosque, também tiveram uma estrutura populacional dinâmica ao longo do tempo. Essas áreas normalmente são formadas após vários ciclos agrícolas e abandono, onde a maioria das

espécies da floresta secundária são gradualmente eliminadas e o babaçu é favorecido pela resistência ao fogo (Almeida *et al.* 2016). Os babaçuais estudados neste trabalho possuem mais de 30 anos e na prática ainda são considerados áreas de pastagens pelos agricultores, que adotam um manejo periódico de controle da densidade de indivíduos de todos os estágios de vida. Este controle da densidade do babaçu objetivam preservar a gramínea cultivada, mas acabam estimulando também a regeneração do babaçu.

A similaridade estrutural entre as parcelas dos diferentes habitats mostrou um gradiente decrescente de densidade, iniciando pela floresta, seguida por pastagens mais velhas e babaçal mais denso e por fim, as pastagens mais novas e babaçal menos denso. Estas parcelas com menores densidades possivelmente são aquelas em que a população de palmeiras ainda não atingiu o equilíbrio, devido às altas taxas de mortalidade e baixas taxas de fecundidade (Barot *et al.* 2005).

Nos três anos estudados foi possível verificar a evolução da densidade de babaçu nas parcelas de pastagem, que deixaram de integrar o grupo de pastagens novas (menor densidade) e passaram ao grupo de pastagens mais antigas (maior densidade). Nossos resultados comprovaram que conforme há o envelhecimento das pastagens a tendência é de que a densidade da palmeira babaçu aumente consideravelmente, principalmente devido ao recrutamento anual de plântulas (estágio 1).

Algumas pesquisas já relataram sobre o ótimo desenvolvimento do babaçu em ambientes secundários (Mitja e Ferraz 2001; Santos e Mitja 2011; Coelho *et al.* 2012) devido a sua grande plasticidade reprodutiva (Barot *et al.* 2005). A densidade do babaçu nessas áreas é resultado de sua resiliência às perturbações naturais e antropogênicas, pois assim como algumas outras espécies, possui características morfológicas e estratégias reprodutivas particulares que influenciam a fenologia e o fluxo gênico (Montúfar *et al.* 2011).

A resiliência apresentada pelo babaçu também ocorre com inúmeras populações de palmeiras (Montúfar *et al.* 2011). Ao estudar o desempenho da palmeira *Ceroxylon quindiuense* em áreas de pastagens, Sanín *et al.* (2013) concluiu que a permanência da espécie estava associada à sua conservação no desmatamento e principalmente à resiliência de indivíduos jovens que evoluíram para adultos. Esta resiliência também foi constatada em outros estudos com as espécies *Ceroxylon echinulatum* (Anthelme *et al.* 2011) e *Attalea humilis* (Souza e Martins 2002; Souza e Martins 2004). O meristema apical subterrâneo dessas espécies na fase mais jovem, geralmente protegido pelas bainhas e folhas circundantes evita danos pelo fogo ou corte (Souza e Martins 2002; Souza e Martins 2004; Anthelme *et al.*

2011; Sanín *et al.* 2013), já que estão a cerca de 0,5 a 1 metro abaixo da superfície do solo, tornando a capacidade de rebrota extremamente vigorosa (Sousa *et al.* 2016).

As raízes grossas do babaçu são mais profundas que o restante da vegetação e a porcentagem elevada de raízes finas compartilham o mesmo nicho das raízes de outras espécies (espontâneas ou cultivadas), a colocando em competição direta (Sousa *et al.* 2016). Esta é mais uma característica que favorece o aumento da densidade do babaçu.

Por fim, a grande resiliência do babaçu também está ligada à boa dispersão dos frutos pelos animais selvagens (zoocoria), principalmente a cotia (*Dasyprocta* sp.) e a paca (*Cuniculus* sp.). São animais considerados estocadores de sementes, pois têm o hábito de remover o mesocarpo e enterrá-las (Anderson 1983; Andreazzi *et al.* 2009), assim acabam favorecendo a germinação. Esses dispersores costumam atuar não somente na floresta, mas comumente nas áreas cultivadas onde há proximidade de remanescentes florestais ou florestas secundárias. Em áreas de pastagens a dispersão é realizada também pelo gado (Kahn *et al.* 2003) e pelas enxurradas, sobretudo em solos compactados, cujos frutos podem ser transportados por até 25 m de distância da matriz (Anderson 1983).

3.5. Conclusão

A dinâmica da densidade de indivíduos ao longo do tempo foi diferente nos três habitats estudados. Nas florestas, a população de babaçu foi mais estável, ao contrário dos babaçuais cuja população apresentou uma dinâmica mais rápida. As florestas apresentaram as maiores densidades (considerando os valores dos seis estágios de vida), seguida pelas pastagens mais velhas e o babaçal mais denso e, por último, as pastagens mais novas e o babaçal menos denso. Nossos resultados sugerem uma ligação entre o envelhecimento das pastagens e o aumento da densidade da palmeira babaçu, principalmente devido ao recrutamento anual de plântulas e a resiliência da espécie.

REFERÊNCIAS

- Almeida, G.M.; Ramos, M.A.; Araújo, E.L.; Baldauf, C.; Albuquerque, U.P. 2016. Human perceptions of landscape change: the case of a monodominant forest of *Attalea speciosa* Mart ex. Spreng (Northeast Brazil). *Ambio*, 45:458-67.
- Anderson, A.B. 1983. *The biology of Orbignya martiana (Palmae), a tropical dry forest dominant in Brazil*. Thesis (PhD), University of Florida. 196 p.
- Andreazzi, C.S.; Pires, A.S.; Fernandez, F.A.S. 2009. Mamíferos e palmeiras neotropicais: interações em paisagens fragmentadas. *Oecologia Brasiliensis*, 13: 554-574.
- Anthelme, F.; Lincango, J.; Gully, C.; Duarte, N.; Montúfar, R. 2011. How anthropogenic disturbances affect the resilience of a keystone palm tree in the threatened Andean cloud forest? *Biological Conservation*, 144:1059-1067.
- Arroyo-Rodriguez, V.; Aguirre, A.; Benitez-Malvido, J.; Mandujano, S. 2007. Impact of rain forest fragmentation on the population size of a structurally important palm species: *Astrocaryum mexicanum* at Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation*, 138:198-206.
- Barot, S.; Mitja, D.; Miranda, I.S.; Meija, G.D.; Grimaldi, M. 2005. Reproductive plasticity in an amazonian palm. *Evolutionary Ecology Research*, 7: 1051–1065.
- Begon, M.; Harper, J.L.; Townsend, C.R. 2007. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas - 4ª edição*. Editora Artmed. 752 p.
- Campos, J.L.A.; Silva, T.L.L.; Albuquerque, U.P.; Peroni, N.; Araújo, E.L. 2015. Knowledge, use, and management of the babassu palm (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng) in the Araripe region (Northeastern Brazil). *Economic Botany*, 69: 240–250.
- Coelho, R.F.R.; Miranda, I.S.; Mitja, D. 2012. Caracterização do processo sucessional no Projeto de Assentamento Benfica, sudeste do estado do Pará, Amazônia oriental. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi*, 7: 251-282.
- Costantin, A.M.; Neuenfeldt, D.J.; Rodrigues, H.A.N.; Ahlert, E.M.; Konze, J.C.; Barella, L.A.; et al. 2013. Padrão de distribuição espacial de mudas e plântulas de *Syagrus romanzoffiana* (cham.) Glassma Arecaceae em relação à planta mãe e identificação de dispersores. *Revista Destaques Acadêmicos*, 5: 183-194.
- De Mendiburu, F. 2009. *Una herramienta de analisis estadístico para la investigación agrícola*. Tesis. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Sección de Posgrado, Maestro en Ciencias con Mención en Ingeniería de Sistemas, 44p.

- Dosso, M.; Assis, W.S.; Medina, C.C.; Curmi, P.; Grimadi, C.; Grimadi, M.; *et al.* 2005. Agricultura ou pastagem? Papel das coberturas pedológicas na diferenciação e na transformação de sistemas agrários pioneiros no Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 22: 185-206.
- Emilio, T.; Quesada, C.A.; Costa, F.R.C.; Magnusson, W.E.; Schiatti, J.; Feldpausch, T.R.; *et al.* 2013. Soil physical conditions limit palm and tree basal area in Amazonian forests. *Plant Ecology & Diversity*, 7: 1-15
- Faleiro, W.; Schiavini, I. 2009. Ecologia populacional de *Faramea Hyacinthina* Mart. (Rubiaceae) em duas formações florestais da Estação Ecológica do Panga, Uberlândia-Mg/Brasil. *Revista Científica da UFPA*, 7: 1-17.
- Girollo, A.B.; Nascimento, A.R.T.; Silva, P.P.F.; Pinho-Junior, G.V. 2012. Population structure and density of *Attalea phalerata* Mart. ex Spreng. (Arecaceae) in a Semideciduous Forest. *Revista Árvore*, 36: 637-645.
- González, R.; Parrado-Rosselli, A.; Lopez-Camacho, R. 2012. Population Structure of the Palm *Iriartea deltoidea*, in a Terra Firme Forest of the Colombian Amazon. *Caldasia*, 34:187-204.
- Guilherme, F.A.G.; Oliveira, A.S. 2011. Estrutura Populacional de *Butia purpurascens* Glassman (Arecaceae) em duas áreas de Cerrado Sensu Stricto no estado de Goiás. *Revista de Biologia Neotropical*, 7: 37-45.
- Gurevitch, J.; Scheiner, S.M.; Fox, G.A. 2009. *Ecologia vegetal*. 2da ed. Artmed, Porto Alegre, 592p.
- INMET, 2017. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep). Acesso em 17/02/2017.
- Kahn, F.; Souza C.M.J.; Couturier, G. 2003. L'invasion du Roraima (Amazonie brésilienne) par le palmier *Maximiliana maripa*: sous l'effet des activités anthropiques. In: Froment, A.; Guffroy, J. (ed.). *Peuplements anciens et actuels des forêts tropicales: actes du séminaire-atelier*. Paris: IRD, p. 309-314.
- Lintz, H.E.; Gray, A.N.; Yost, A.; Sniezko, R.; Woodall, C.; Reilly, M.; Hutten, K.; Elliott, M. 2016. Quantifying density-independent mortality of temperate tree species. *Ecological Indicators*, 66: 1-9.
- Marcos, C.S.; Matos, D.M.S. 2003. Estrutura de populações de palmitheiro (*Euterpe edulis* Mart.) em áreas com diferentes graus de impactação na floresta da Tijuca, RJ. *Floresta e Ambiente*, 10: 27-37.

- Mitja, D.; Ferraz, I. 2001. Establishment of babassu in pastures in Pará, Brazil. *Palms*, 45:138-147.
- Monteiro, E.A.; Fisch, S.T.V. 2005. Estrutura e padrão espacial das populações de *Bactris setosa* Mart. e *Bactris hatschbachii* Noblick ex A. Hend (Arecaceae) em um gradiente altitudinal, Ubatuba (SP). *Biota Neotropica*, 5: 1-7.
- Montúfar, R.; Anthelme, F.; Pintaud, J.C.; Balslev, H. 2011. Disturbance and resilience in Tropical American palm populations and communities. *The Botanical Review*, 77: 426-461.
- Negrelle, R.R.B. 2013. Estrutura populacional e potencial de regeneração de *Attalea phalerata* Mart. ex Spreng. (acuri). *Ciência Florestal*, 23: 727-734.
- Oliveira, K.F.; Fisch, S.T.V.; Duarte, J.S.; Danelli, M.F.; Martins, L.F.S.; Joly, C.A. 2014. Estrutura e distribuição espacial de populações de palmeiras em diferentes altitudes na Serra do Mar, Ubatuba, São Paulo, Brasil. *Rodriguésia*, 65: 1043-1055.
- R Core Team 2014. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Áustria (<http://www.R-project.org/>).
- Ritter, L.; Martins, P.; Cooper, M.; Grimaldi, C. 2009. Variação e possibilidades de uso do solo sobre rochas cristalinas na Amazônia oriental. *Novos Cadernos NAEA*, 12: 225-246.
- Salm, R. 2005. Arborescent palm seed morphology and seedling distribution. *Brazilian Journal of Biology*, 65: 711-716.
- Salm, R.; Jalles-Filho, E.; Schuck-Paim, C. 2005. A model for the importance of large arborescent palms in the dynamics of seasonally-dry amazonian forests. *Biota Neotropica*, 2: 151-156
- Sampaio, M.B.; Schmidt, I.B.; Figueiredo, I.B. 2008. Harvesting effects and population ecology of the buriti palm (*Mauritia flexuosa* L.f., Arecaceae) in the Jalapão Region, Central Brazil. *Economic Botany*, 62: 171-181.
- Sanín, M.J.; Anthelme, F.; Pintaud, J.C.; Galeano, G.; Bernal, R. 2013. Juvenile resilience and adult longevity explain residual populations of the Andean wax palm *Ceroxylon quindiuense* after deforestation. *PLoS One*, 8: e74139.
- Santos, A.M.; Mitja, D. 2011. Pastagens arborizadas no Projeto de Assentamento Benfica, município de Itupiranga, Pará, Brasil. *Revista Árvore*, 35: 919-930.
- Silva, M.G.C.P.C.; Martini, A.M.Z.; Araújo, Q.R. 2009. Estrutura populacional de *Euterpe edulis* Mart. no Sul da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 32: 393-403.

- Silva, M.R.; Junior, O.A.C.; Martins, E.S.; Mitja, D.; Filho, H.C. 2012. Análise fatorial multivariada aplicada a caracterização de áreas de ocorrência de babaçu (*Attalea speciosa* mart. ex spreng) na bacia do rio Cocal. *Sociedade & Natureza*, 2: 267-282.
- Sousa, J.T.R.; Moraes, F.H.R.; Gehring, C. 2016. Root biomass in a shifting cultivation system in the eastern periphery of Amazonia, and contribution of the babassu palm. *Agroforestry Systems*, 90: 351-360.
- Souza, A.F.; Martins, F.R. 2002. Palmeiras, fogo e sobrevivência. *Ciência Hoje*, 31: 72-74.
- Souza, A.F.; Martins, F.R. 2004. Population structure and dynamics of a neotropical palm in fire impacted fragments of the Brazilian Atlantic Forest. *Biodiversity and Conservation*, 13: 1611-1632.

4. DINÂMICA DE POPULAÇÃO E CENÁRIOS DE EXPLORAÇÃO DA PALMEIRA BABAÇU EM ÁREAS DE PASTAGENS³

RESUMO

O uso de modelos de dinâmica de população são importantes na orientação sobre a gestão de palmeiras úteis na América do Sul, com o intuito de prever a dinâmica populacional, as colheitas sustentáveis ou o risco de extinção. A palmeira babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) é uma espécie com grande diversidade de usos e que beneficia comunidades rurais que vivem do extrativismo. Neste trabalho, simulamos a dinâmica de população do babaçu em pastagens ao longo de 15 anos, em função de seis níveis de exploração (0%, 10%, 25%, 50%, 75% e 100%) no assentamento Benfica, Pará. Estudamos de 2986 a 4260 indivíduos de babaçu de seis estágios de vida (da plântula ao adulto) no período de quatro anos, como também a produção de frutos. Foram instalados 17 transectos em pastagens, totalizando 1,3 ha, e registrados os históricos de uso do solo. Análise de agrupamento hierárquico indicou a similaridade entre os transectos e serviu para definir os tipos de transectos encontrados na área estudada. Utilizamos um modelo hierárquico bayesiano para realização das simulações da dinâmica da espécie nos seis tipos de transectos encontrados. As simulações revelaram que até 25% de coleta não é suficiente para conter a invasão das pastagens pelo babaçu e propomos a taxa de coleta sustentável de 50% ou 75% dos frutos que permite manter a população em equilíbrio por 15 anos, sem a confirmação de que estas taxas não vão levar à extinção da espécie a longo prazo. As informações são muito importantes para implantação de planos de manejo para a espécie, para o conhecimento da disponibilidade do recurso e serve também como alerta à comunidade sobre a possibilidade de invasão das pastagens pelo babaçu.

Palavras-Chave: *Attalea speciosa*; Estrutura populacional; Modelo hierárquico bayesiano; coleta de frutos

³ Este capítulo segue as normas e será submetido ao periódico *Population Ecology*

POPULATION DYNAMICS AND SCENARIOS OF EXPLORATION OF THE BABASSU PALM IN PASTURE AREAS

ABSTRACT

The use of population dynamics models is important for the management of useful palm trees in South America, in order to predict population dynamics, sustainable harvests or extinction risks. The babassu palm (*Attalea speciosa* Mart. ex. Spreng.) is a species of great diversity of uses for rural communities that depend on extractivism. In this work we simulate the babassu population dynamics in pastures over 15 years, due to without harvesting and five levels of exploitation (10%, 25%, 50%, 75% and 100%) in the Benfica settlement, Pará. We studied from 2986 to 4260 babassu individuals of six life stages (seedling to adult) during four years, as well as the fruit production. Seventeen transects of pastures were installed, totaling 1.3 ha, and records of land use were used. Hierarchical grouping analysis indicated similarity among transects. We used a Bayesian hierarchical model to perform simulations of the species dynamics on six transects types found. Simulations revealed that up to 25% of harvesting is not sufficient to contain invasion of the pastures by babassu and we propose the sustainable collection rate of 50% or 75% of the fruits for 15 years, without the certainty that these rates will not lead to the extinction of the species in the long term. The information is very important for the implementation of management plans for species, knowledge of the availability of the resource and also serves as an alert to the community about risks invasion of pastures by babassu.

Keywords: *Attalea speciosa*; Population structure; Bayesian hierarchical model; Fruit harvest

4.1. Introdução

A América do Sul é considerada um dos maiores centros de diversidade e riqueza de espécies de palmeiras (Arecaceae), com a existência de até 96 espécies úteis que trazem benefícios econômicos e ecológicos às comunidades rurais (Pintaud et al. 2008; Bernal et al. 2011; Brokamp et al. 2011; Vedel-Sørensen et al. 2013). O gênero *Attalea* é o mais bem difundido, com até 73 espécies já relatadas (Pintaud 2008), com destaque para as espécies úteis da região amazônica consideradas hiperdominantes (*Attalea butyracea*) (ter Steege et al. 2013) ou com características de ocupação monodominantes em áreas abertas, como as espécies *Attalea maripa* (inajá) e *Attalea speciosa* (babaçu) (Balslev et al. 2011; Almeida et al. 2016). A palmeira babaçu é comum na Amazônia oriental, meridional e pequenas áreas da Amazônia central (Smith 2015). No Brasil o babaçu tem maior ocorrência nas regiões norte e nordeste; devido à dominância estrutural a espécie é utilizada no sistema de classificação florestal brasileiro para distinguir tipo de floresta (IBGE 2012; Emilio et al. 2014).

Diversos usos do babaçu foram reconhecidos, incluindo todas as partes da planta: frutos (fabricação de óleo, produtos de limpeza, cosméticos, carvão, etc.), folhas (construção de cercas, coberturas de casa, artesanato) e estipe (adubos e construções) (Santos e Mitja 2011; Araújo e Lopes 2012; Parente e Cavalcanti 2013). Essa variedade de utilidades do babaçu satisfaz as necessidades básicas e traz um importante retorno econômico para indígenas, agricultores e “quebradeiras de coco-de-babaçu” que vivem do extrativismo desta palmeira (Gonzalez-Perez et al. 2012; Campos et al. 2015). No entanto, a sustentabilidade da exploração do babaçu é questionada, pois a coleta excessiva de frutos pode prejudicar o recrutamento de plântulas, interferindo no ciclo de vida da palmeira (Campos et al. 2015).

A exploração excessiva de palmeiras úteis para colheita de folhas ou frutos, visando os mercados local, regional, nacional ou internacional, é comum na Amazônia (Balslev et al. 2011; Bernal et al. 2011; Brokamp et al. 2011). A superexploração ou esgotamento do recurso poderá ser evitado com a gestão sustentável, por meio da avaliação dos impactos ecológicos da colheita após estudos experimentais (Sampaio et al. 2008; Vedel-Sørensen et al. 2013).

Há décadas diversos trabalhos utilizam a modelização matricial para estudo da dinâmica de população de diferentes espécies de palmeiras (Piñero et al. 1984; Enright e Watson 1992; Arango et al. 2010). Algumas pesquisas analisam inclusive a sustentabilidade dos diferentes níveis de exploração de folhas e frutos (Pinard e Putz 1992; Olmsted e Alvarez-Buylla 1995; Rodríguez-Buritica et al. 2005; Endress et al. 2006; Holm et al. 2008; Navarro et al. 2011). Os modelos matriciais têm sido as ferramentas mais usadas na gestão das

populações de plantas e no entendimento dos padrões demográficos das espécies, pois o ciclo de vida das plantas são facilmente representados por matrizes e os modelos combinam várias taxas vitais em medidas integrativas da dinâmica populacional (Crone et al. 2011; Isaza et al. 2016).

Recentemente modelos Bayesianos tem sido descritos com maior frequência no campo da ecologia (Jeltsch et al. 2008; Dorazio 2016). Em geral a inferência bayesiana é usada em pesquisas para prever a dispersão da população, as mudanças estruturais em paisagens fragmentadas, o crescimento e a extinção (Ellison 2004). Alguns estudos utilizaram a abordagem hierárquica bayesiana na modelagem de plantas para quantificação da importância da identificação de espécies e outras variáveis no crescimento de árvores na floresta (Laurans et al. 2014), para quantificação dos impactos da disponibilidade de luz e do diâmetro da árvore no crescimento de espécies lenhosas (Rüger et al. 2011) e na avaliação do impacto da disseminação de espécies invasoras no ecossistema (Dragicevic 2015).

Algumas das motivações para uso da abordagem bayesiana relatadas com maior frequência são a validade para qualquer tamanho de amostra e o uso de informações prévias (Clark 2005; Jeltsch et al. 2008; Dorazio 2016). Adicionalmente, a modelização probabilística bayesiana permite levar em consideração a variabilidade do comportamento da planta em função dos fatores ambientais de um clima tropical (Mitja et al., no prelo). Além disso, pode ser considerado o modelo mais convincente devido a todos os aspectos da inferência seguirem as regras da teoria da probabilidade (Dorazio 2016).

O uso de modelos na orientação sobre gestão de populações de palmeiras foi testado em algumas pesquisas na América do Sul, com o intuito de prever a dinâmica populacional, as colheitas sustentáveis ou o risco de extinção. Por exemplo, na Colômbia Rodríguez-Buritica et al. (2005) caracterizaram a história de vida e a dinâmica populacional de *Geonoma orbignyana* para avaliar o efeito da colheita de folhas. Endress et al. (2006) examinaram os efeitos de vários regimes de colheita de folhas na demografia de *Chamaedorea radicalis* no México e, na Amazônia colombiana, Navarro et al. (2011) avaliaram o impacto da colheita de folhas de *Lepidocaryum tenue* na estrutura e dinâmica de população. No Equador, Holm et al. (2008) simularam diferentes cenários para prever os regimes sustentáveis de colheita de frutos da palmeira *Mauritia flexuosa*; assim como Isaza et al. (2016) que avaliaram o potencial da colheita de frutos de *Oenocarpus bataua* em quatro países (Colômbia, Equador, Peru e Bolívia) da Amazônia ocidental.

O uso de modelos para simulação de cenários de exploração do babaçu ainda não foi realizado. Os impactos ecológicos causados pelas colheitas destrutivas são desvendados com

trabalhos experimentais como os relatados acima. Essas experiências resultam na avaliação da produção em resposta às práticas de gestão e são fundamentais contra a extinção local de palmeiras devido a práticas de manejo insustentáveis (Bernal et al. 2011). Mas o desenvolvimento sustentável a longo prazo não passa somente pela boa gestão dos recursos vegetais; a insegurança da posse da terra e a partilha desigual dos lucros (entre produtores primários e varejo) também têm importante influência (Brokamp et al. 2011).

Neste trabalho utilizamos o modelo bayesiano de dinâmica de população do babaçu desenvolvido por Sirakov (2016) que descreveu os processos biológicos do ciclo de vida do babaçu: a) crescimento, b) mortalidade e c) recrutamento, considerando seis estágios de vida (da plântula até à fase adulta). Nós simulamos a dinâmica de população do babaçu ao longo de 15 anos em função de seis níveis de exploração (0%, 10%, 25%, 50%, 75% e 100% de coleta), em pastagens de agricultores familiares na Amazônia brasileira.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Área de estudo

A população de babaçu foi estudada em uma área de reforma agrária (Projeto de Assentamento Benfica ou PA-Benfica) de 95 km² localizada no sudeste da Amazônia brasileira (S 05°16'20", W 49°50'25"), município de Itupiranga, microrregião de Marabá-Pará. A última estimativa em 2005 indicava a existência de 183 estabelecimentos agrícolas e cerca de mil habitantes na comunidade (Ritter et al. 2009). Segundo os dados meteorológicos anuais do INMET (2017), válidos para a área de estudo, houve uma importante variação climática anual ao longo do período da pesquisa: julho de 2013 a julho de 2016 (tabela 1). Os tipos de solos variam conforme o relevo: nos platôs, ocorre principalmente latossolos; nas partes médias das vertentes, os podzólicos e cambissolos; e em baixas vertentes, os solos hidromórficos (M. Grimaldi com. pessoal; Sampaio et al. 2010). A área é coberta por floresta de “terra firme”: floresta tropical úmida de planície não inundada (Balslev et al. 2011).

Tabela 1 - Dados meteorológicos anuais do assentamento Benfica no período de 2013-2016 (fonte: INMET/Marabá, 2017)

Mês/Ano	Precipitação Total (mm)	Temperatura Max. (°C)	Temperatura Min. (°C)	Umidade Relativa (%)
07/2012-06/2013	1535	32,8	23,2	75
07/2013-06/2014	2019	32,7	22,9	78
07/2014-06/2015	1785	32,9	23	76
07/2015-06/2016	1355	33,8	24,2	74

Na área do PA-Benfica as florestas são muitas vezes convertidas em plantios de pastagens, como ocorre normalmente em áreas de frente pioneira da Amazônia brasileira. O itinerário técnico desse processo foi descrito nesta mesma área por Mitja et al. (2008) e Mitja e Miranda (2010). Geralmente as florestas são desmatadas na estação seca (maio/julho) e algumas palmeiras e espécies de madeira valiosa são mantidas. Cerca de um mês depois a vegetação cortada é queimada e no início da estação chuvosa (novembro/dezembro) os agricultores realizam o plantio de culturas anuais (por exemplo arroz e/ou milho). A pastagem é implantada normalmente junto com as culturas anuais, ou após 30 a 60 dias do plantio destas culturas. As espécies forrageiras cultivadas são *Brachiaria brizantha* e/ou *Panicum maximum*. Após a capina das plantas invasoras e colheita das culturas anuais (principalmente o arroz em maio), a forrageira cresce rapidamente. A entrada do rebanho nas pastagens ocorre logo depois (a partir de junho) e o uso do fogo é comum para renovação das pastagens nos meses de agosto/setembro. A partir daí as práticas de manejo das pastagens (capina e aplicação do fogo) variam de acordo com as escolhas técnicas do agricultor, das possibilidades financeiras e da disponibilidade de outras pastagens (Mitja et al. 2008; Mitja e Miranda 2010).

Em 2013 as florestas primárias e secundárias cobriam 34% da área de estudo, as pastagens pouco cobertas representavam 31% e as pastagens em bom estado e os pousios jovens igualmente 31% (Santos et al. 2017). Pesquisa realizada por Santos e Mitja (2011) constatou que em 4,87 km² (62 parcelas) de pastagens a palmeira babaçu foi uma das três espécies que se destacaram pelo uso múltiplo, resistência ao fogo e tempo de sobrevivência nas pastagens cultivadas. Na localidade já foram identificados 13 tipos de usos do babaçu que se agrupam em seis categorias (alimentação, combustível, cosméticos, comércio, construção e doméstico). O uso mais comum é o das amêndoas para consumo interno e para a comercialização do óleo (Macedo 2015). A estimativa é de que as áreas abertas do PA-

Benfica possuem 25015 babaçus adultos com produtividade potencial anual de 27,4 t de óleo de amêndoa (Santos et al. 2017).

4.2.2. Espécie estudada e estágios ontogenéticos

A palmeira babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) é uma planta nativa de florestas no bioma Amazônia e da floresta de galeria do bioma Cerrado (May et al. 1985; Peters et al. 1989; Anderson et al. 1991), mas que precisa de clareiras nas florestas primárias para crescer. A espécie atinge 10-30 metros de altura e possui diâmetro de 30-60 cm (Lorenzi et al. 2010). O frutos estão aglomerados em cachos que podem conter 41 a 312 frutos (n=43 cachos observados em 2015, Mitja et al. com. pessoal), cada fruto possui cerca de 10 cm de comprimento e 7 cm de diâmetro (Smith 2015). Algumas palmeiras babaçu apresentam apenas flores masculinas, outras possuem flores masculinas e femininas e podem produzir vários cachos de frutos por ano (Smith 2015). Nas pastagens do PA-Benfica as palmeiras começam a reproduzir em alturas menores do que nas florestas; ocorrem mais indivíduos dos estágios intermediários e adulto e há menos indivíduos nos primeiros estágios (plântulas) em relação às florestas (Barot et al. 2005). No presente estudo, consideramos o ciclo de vida do babaçu e a dinâmica de população dos indivíduos de seis estágios ontogenéticos (Fig. 1).

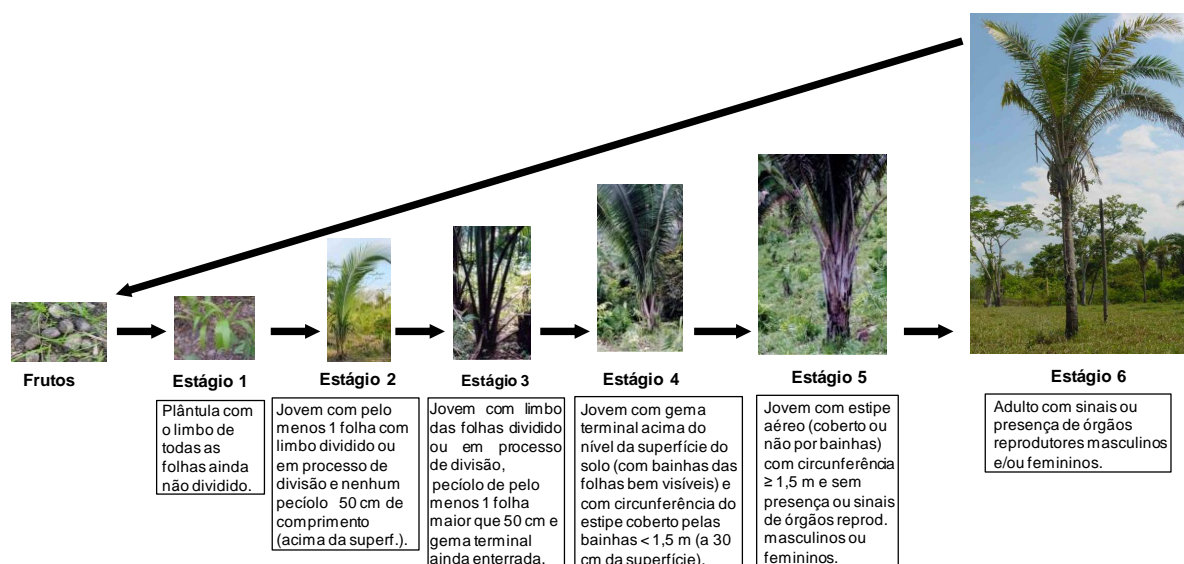


Fig. 1. Representação do ciclo de vida do babaçu e estágios ontogenéticos estudados no PA-Benfica.

4.2.3. Levantamento de campo

O estudo dos seis estágios de vida do babaçu foi realizado durante quatro anos (2013-2016) em 17 transectos amostrados em pastagens de diferentes idades (1, 3, 5, 7 e 9 anos) que totalizaram uma área de 1,3 hectares. As parcelas estão localizadas em seis propriedades de agricultores familiares que na exploração agrícola realizam a abertura de novas áreas sobre a floresta primária e abertura de áreas mais antigas de capoeiras velhas. Para aumentar a amostragem dos indivíduos dos estágios 5 e 6, foram instalados transectos suplementares totalizando uma área de 8 hectares. O histórico de uso da terra para cada transecto foi obtido através de entrevistas e observações de campo (Tabela 2). Também foram realizadas medições da altura do capim e avaliação qualitativa do estado da pastagem; consideramos uma pastagem em estado "Bom" quando esta possuía coloração verde e densidade alta (>70% de cobertura do solo), "Médio" quando era pouco verde e densidade média (50-70% de cobertura do solo) e "Ruim" quando era seca e densidade fraca (<50% de cobertura do solo) (Tabela 2).

Tabela 2. Histórico de uso do solo dos transectos estudados no PA-Benfica, Pará; Quei: N° total de queimadas desde o desmatamento; nLimp: N° de limpezas/ano.

N° Transecto	Cobertura inicial	Idade da pastagem (anos) em 2013	Quei	nlimp	Altura média da pastagem (cm)			Estado da pastagem		
					2014	2015	2016	2014	2015	2016
1	Floresta primária com babaçu jovens e adultos	1	2	1	75	77	32	Bom	Bom	Médio
2			2	1	107	104	35	Bom	Médio	Médio
3			2	1	90	107	39	Bom	Médio	Médio
4	Floresta secundária com babaçu adultos	3	1	1	58	55	36	Médio	Ruim	Médio
5			1	1	74	56	39	Bom	Médio	Médio
6			2	1	15	143	38	Ruim	Bom	Ruim
7	Floresta primária com babaçu adultos		2	1	15	143	38	Ruim	Bom	Ruim
8	Floresta primária com babaçu adultos	5	3	1	41	26	43	Ruim	Ruim	Médio
9			3	1	48	29	97	Ruim	Ruim	Médio
10			3	1	47	20	60	Ruim	Ruim	Médio
11	Floresta primária com babaçu adultos	7	2	1	42	25	25	Médio	Médio	Ruim
12			1	1	31	24	26	Médio	Ruim	Ruim
13			3	2 a 3	81	58	29	Bom	Bom	Ruim
14	Floresta primária com babaçu jovens		3	2 a 3	64	83	36	Médio	Bom	Ruim
15	Floresta primária com babaçu adultos	9	2	1	28	29	24	Médio	Médio	Ruim
16			2	1	34	20	22	Ruim	Ruim	Ruim
17			2	1	28	27	28	Ruim	Ruim	Ruim

No total 2986 indivíduos de seis estágios de vida foram marcados com etiquetas numeradas no ano de 2013: estágio 1 (736 indivíduos), estágio 2 (1727), estágio 3 (349), estágio 4 (19), estágio 5 (52) e estágio 6 (103). Em 2014 os indivíduos estudados chegaram a 3499 (após recrutamento de 513 indivíduos), em 2015 foram 3996 (recrutamento de 497) e em 2016 foram 4260 (recrutamento de 264). Nos anos de 2014-2016 foram registradas a passagem de estágio, o recrutamento e a mortalidade dos indivíduos.

Para quantificação dos frutos presentes nos transectos, foram contados todos os frutos que estavam no chão entre 0-5 m da matriz e àqueles dispersos dentro do limite do transecto. Além disso, estimamos a quantidade de frutos presentes nas infrutescências ligadas às palmeiras adultas que se encontravam dentro do transecto.

4.2.4. Tipologia dos grupos de transectos

Para avaliar a similaridade entre os transectos estudados durante os quatro anos, foram utilizadas análises de agrupamento hierárquico das 68 medidas de transectos (17 transectos x 4 anos). Cada transecto foi representado quatro vezes, respectivamente, com os valores obtidos entre 2013 e 2016. Assim, foram obtidos 68 valores diferentes (densidades relativas) de seis variáveis (os estágios). A classificação foi baseada em densidades relativas: a densidade de cada estágio (número de palmeiras por área) foi dividida pela soma da densidade total dos seis estágios. Foi escolhida a divisão do agrupamento em cinco classes que chamamos “tipos de transectos (TT)”. Para essa análise foi utilizada a distância euclidiana com o método “complete”. As análises foram computadas no programa R version 3.1.2 (R Core Team 2014).

4.2.5. Descrição do modelo bayesiano

As informações obtidas durante os quatro anos de levantamento no PA-Benfica foram: a) número de indivíduos, b) passagem de estágio, c) recrutamento, d) mortalidade e e) produção de frutos, os quais serviram para a construção do modelo matemático de dinâmica de população do babaçu desenvolvido por Sirakov (2016).

O modelo compõe a família dos modelos estocásticos. O aspecto hierárquico dos dados (transecto, parcela, população) e sua frequência anual de obtenção conduziu à um modelo hierárquico ao tempo discreto. As leis estatísticas consideradas melhor adaptadas a este modelo foram aquelas pertencentes à família de distribuições conjugadas. Este é o uso

combinado de duas leis estatísticas cujas áreas de densidade são suportadas: a primeira é usada para a estimativa *a priori*, enquanto que a segunda é aplicada no nível de probabilidade. Para a construção do modelo foram utilizados três pares dessas leis: *Dirichlet-Multinomial*, *Beta-Binomial* e *Normal-Normal* (Sirakov 2016).

Trata-se de um modelo multinomial que considera três possibilidades: a) morte, b) permanência no mesmo estágio ou c) passagem ao estágio seguinte, para cada transecto e para cada estágio. Foi considerado no modelo um vetor de variáveis de estado, que são variáveis aleatórias que descrevem a evolução temporal da dinâmica das populações de babaçu. Essas variáveis fornecem a relação entre os processos estatísticos biológicos e os modelados. Foram definidas como variáveis de estado o número total de indivíduos por estágio e o número de frutos. Com estas variáveis do modelo foram analisados três processos biológicos (mortalidade, crescimento e recrutamento) que regem a dinâmica da população do babaçu. O objetivo foi conhecer os seguintes parâmetros aleatórios relacionadas a estes processos: a) taxa de mortalidade por estágio de vida, b) taxa de crescimento (transição de uma fase para outra) e c) taxa de recrutamento. A modelização e análise dos dados foram realizados com diferentes ferramentas de análise bayesiana, mais especificamente com os programas "Bayesian inference Using Gibbs Sampling" (BUGS) e "Just Another Gibbs Sampler" (JAGS) (Sirakov 2016).

4.2.6. Simulação de cenários

Neste trabalho consideramos os diferentes tipos de grupos de transectos obtidos com a tipologia para realizar a simulação dos cenários. Como o modelo foi construído para estimar valores a partir de números, foi preciso usar números (não densidades) para fazer as simulações. Assim, foram criadas seis classes baseadas em diferentes tipos de densidades de transectos: cinco delas baseadas na classificação de agrupamento e uma delas era uma classe adicional representando o tipo médio. Todas as classes foram construídas como a soma dos indivíduos dos transectos que compõem a classe. Em seguida, foram executadas as simulações usando essas somas. Foram feitas dez mil simulações por um período de 5, 10 e 15 anos e para diferentes cenários de coleta (sem coleta e com razão de coleta de 10%, 25%, 50%, 75% e 100% dos frutos). Para obter as densidades, dividimos os valores de simulações da classe tipo «i» pela área do tipo de classe «i». A área da classe «i» é obtida somando as áreas de transectos que compõem a classe «i».

4.3. Resultados

4.3.1. Produção de Frutos

A tabela 4 mostra a presença de frutos nos 17 transectos estudados em quatro anos. Em geral, houve aumento ou manutenção do número de matrizes produtivas ao longo do tempo. A maioria dos frutos encontrados ainda estava ligada aos cachos. Houve também uma grande quantidade de frutos presentes num raio de 0-5m da matriz, enquanto poucos frutos estavam dispersos dentro do transecto (Tabela 3). Em uma área total de 1,3 ha de pastagens de diversas idades foram encontrados de 3922 a 5137 frutos, com valores por transecto de 0 a 1377 frutos.

Tabela 3. Produção de frutos nos 17 transectos estudados no PA-Benfica no período de 2013-2016. N= transectos.

N	Matrizes produtivas				Frutos ligados aos cachos (frutos novos caídos no raio de 0-5m da matriz) (frutos novos dispersos no transecto)				Total			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
1	1	2	3		150	165 (238)	349	(25)	150	403	349	25
2						((6))				6		
3			1	1		((7))	121	130 (60)		7	121	190
4												
5												
6												
7												
8	2	2	2	2	794	737 (380)	780 (272)	725 (174)	794	1117	1052	899
9												
10												
11	2	2	2	2	550 (336)	1010 (367)	1100 (146)	950 (278)	886	1377	1246	1228
12												
13	2	1	1	3	220	60 (100) ((1))	140 (70)	730 (35)	220	161	210	765
14	2	3	4	4	545 (33)	230	762 (87)	710 (7)	578	230	849	717
15	1	1	1	1	260 (585)	195 (155)	(63)	180	845	350	63	180
16	1	1	1	1	228	300 (98)	495 (94)	350 (80)	228	398	589	430
17	1	1	1	1	140 (81)	290 (153)	272 (386)	310	221	443	658	310
Total	12	13	16	15					3922	4492	5137	4744

4.3.2. Densidade relativa de babaçu nas pastagens

Os resultados de densidade relativa nos 17 transectos durante os quatro anos de estudo indicaram que os estágios 2 e 3, em quase sua totalidade, mostraram mudança anual ao longo do período de estudo. Enquanto que os estágios 1, 4, 5 e 6 não mudaram ou mudaram pouco sua densidade relativa ao longo dos quatro anos de estudo (Tabela 4). A densidade relativa do estágio 2 caiu ao longo do tempo, enquanto a do estágio 3 aumentou.

Tabela 4. Densidade relativa dos seis estágios de vida (e1 a e6) em 68 medidas de transectos no PA-Benfica. e= estágio

Nº	2013						Nº	2014						Nº	2015						Nº	2016					
	e1	e2	e3	e4	e5	e6		e1	e2	e3	e4	e5	e6		e1	e2	e3	e4	e5	e6		e1	e2	e3	e4	e5	e6
1	0,21	0,53	0,17	0,04	0,04	0,02	18	0,18	0,40	0,31	0,04	0,04	0,02	35	0,22	0,32	0,36	0,04	0,04	0,02	52	0,23	0,30	0,37	0,03	0,05	0,02
2	0,56	0,33	0,08	0,02	0,02	0,00	19	0,35	0,39	0,22	0,02	0,02	0,00	36	0,23	0,48	0,25	0,01	0,03	0,00	53	0,21	0,49	0,27	0,01	0,03	0,01
3	0,38	0,38	0,21	0,01	0,02	0,01	20	0,26	0,36	0,35	0,01	0,02	0,01	37	0,28	0,29	0,39	0,01	0,02	0,01	54	0,31	0,28	0,37	0,01	0,01	0,03
4	0,20	0,68	0,11	0,00	0,01	0,00	21	0,08	0,68	0,21	0,02	0,01	0,00	38	0,04	0,57	0,31	0,07	0,01	0,00	55	0,03	0,52	0,37	0,07	0,01	0,00
5	0,20	0,63	0,13	0,02	0,01	0,00	22	0,14	0,54	0,29	0,02	0,01	0,00	39	0,03	0,52	0,39	0,03	0,03	0,00	56	0,01	0,45	0,47	0,03	0,03	0,01
6	0,27	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	23	0,17	0,82	0,01	0,00	0,00	0,00	40	0,12	0,86	0,02	0,00	0,00	0,00	57	0,05	0,93	0,02	0,00	0,00	0,00
7	0,88	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	24	0,84	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	41	0,78	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	58	0,69	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,19	0,62	0,17	0,01	0,01	0,02	25	0,22	0,53	0,23	0,00	0,00	0,01	42	0,57	0,29	0,13	0,00	0,00	0,01	59	0,56	0,29	0,14	0,00	0,00	0,01
9	0,14	0,70	0,15	0,00	0,00	0,00	26	0,09	0,54	0,37	0,00	0,00	0,00	43	0,05	0,51	0,44	0,00	0,00	0,00	60	0,05	0,47	0,48	0,00	0,00	0,00
10	0,03	0,79	0,18	0,00	0,00	0,00	27	0,02	0,45	0,53	0,00	0,00	0,00	44	0,02	0,42	0,56	0,00	0,00	0,00	61	0,01	0,41	0,59	0,00	0,00	0,00
11	0,51	0,40	0,08	0,00	0,00	0,01	28	0,74	0,20	0,05	0,00	0,00	0,00	45	0,70	0,23	0,06	0,00	0,00	0,00	62	0,60	0,28	0,11	0,00	0,00	0,01
12	0,00	0,61	0,39	0,00	0,00	0,00	29	0,00	0,53	0,47	0,00	0,00	0,00	46	0,00	0,38	0,62	0,00	0,00	0,00	63	0,00	0,29	0,71	0,00	0,00	0,00
13	0,21	0,63	0,13	0,00	0,00	0,02	30	0,20	0,59	0,18	0,00	0,00	0,02	47	0,25	0,55	0,18	0,00	0,00	0,02	64	0,31	0,48	0,20	0,00	0,00	0,02
14	0,06	0,71	0,17	0,01	0,01	0,04	31	0,04	0,68	0,22	0,00	0,02	0,04	48	0,11	0,62	0,21	0,00	0,01	0,04	65	0,17	0,58	0,20	0,00	0,01	0,05
15	0,07	0,85	0,07	0,00	0,00	0,01	32	0,21	0,66	0,13	0,00	0,00	0,00	49	0,35	0,48	0,16	0,00	0,00	0,00	66	0,34	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00
16	0,20	0,72	0,08	0,00	0,00	0,01	33	0,42	0,48	0,10	0,00	0,00	0,00	50	0,39	0,43	0,17	0,00	0,00	0,00	67	0,41	0,32	0,27	0,00	0,00	0,00
17	0,03	0,95	0,01	0,01	0,00	0,01	34	0,02	0,96	0,01	0,01	0,00	0,01	51	0,04	0,91	0,04	0,01	0,00	0,01	68	0,05	0,85	0,08	0,01	0,00	0,01

4.3.3. Tipologia das estruturais populacionais

As 68 medidas de transectos correspondentes a quatro levantamentos de campo (2013-2016) em 17 transectos foram agrupadas em seis tipos de transectos (Fig. 2). O tipo 1 (TT1) foi caracterizado pela distribuição dos indivíduos por estágio de forma exponencial negativa (J-reverso) com a maior concentração de indivíduos nos estágios iniciais, principalmente no estágio 1 (densidade relativa= 77%). No tipo 2 (TT2) a densidade relativa dos indivíduos dos estágio 1 é mais reduzida (45%) e há um aumento substancial dos indivíduos dos estágios 2 (38%) e 3 (15%). No tipo 3 (TT3) o estágio 2 foi absoluto, pois a densidade relativa (75%) foi no mínimo seis vezes maior que os demais estágios. No tipo 4 (TT4) houve a predominância dos indivíduos do estágios 3 (60%), enquanto os estágios de 4 a 6 não apresentaram indivíduos. O tipo 5 (TT5) foi o que concentrou os transectos com maior densidade relativa dos estágios 4 (2%) e 5 (2%). E o tipo 6 (TT6), que trata da média da densidade relativa das 68 medidas de transectos, revelou que em geral os transectos possuem maiores densidades nos estágios iniciais (de 1 a 3), com destaque para os indivíduos jovens do estágio 2 (52%).

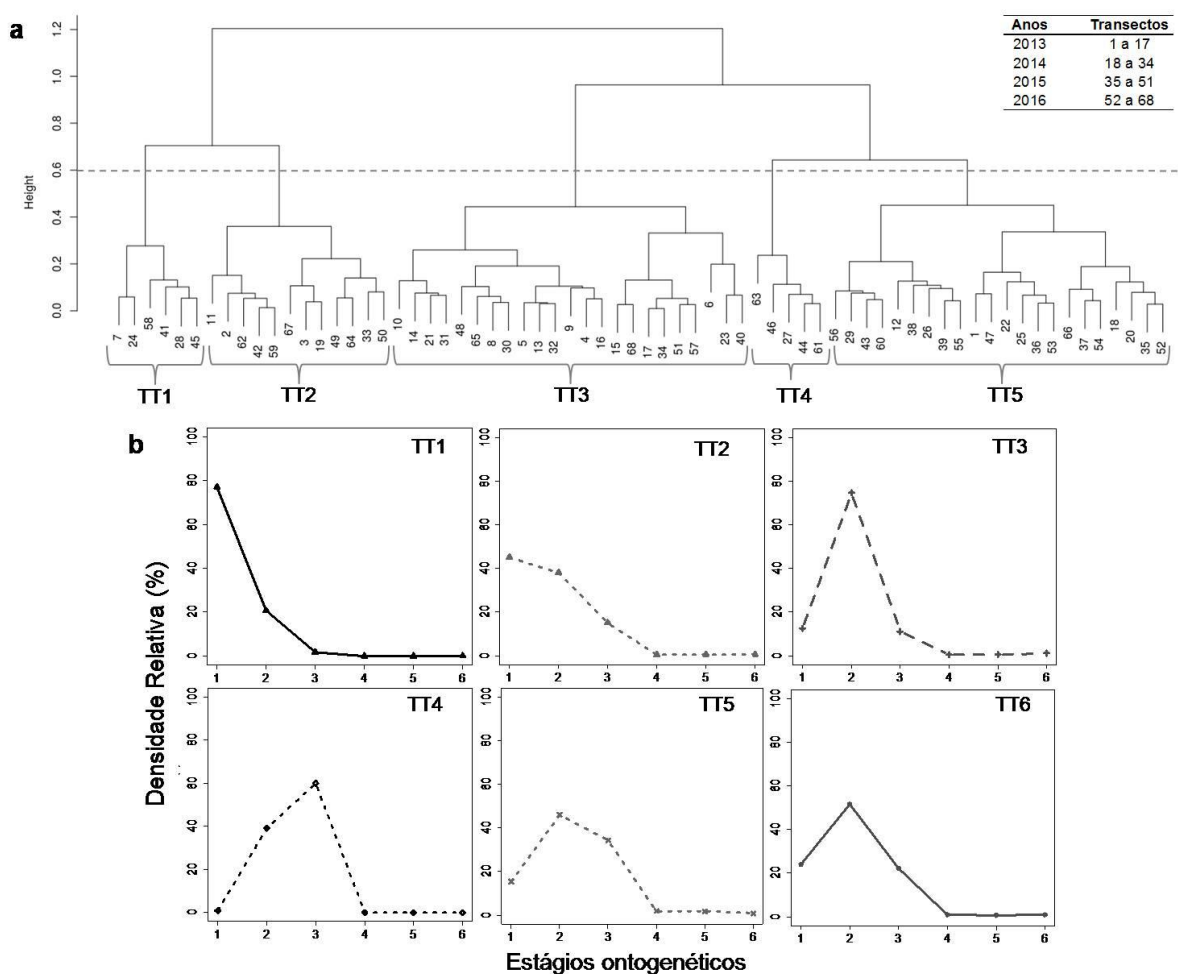


Fig. 2 **a**) Similaridade estrutural entre as 68 medidas de transectos (17 x 4 anos) e **b**) Proporção dos estágios ontogenéticos em cada tipo de transecto. As informações são baseadas na densidade relativa de indivíduos em cada estágio nas pastagens do PA-Benfica no período de 2013-2016. TT= Tipo de transecto, TT6= média das 68 medidas de transectos.

4.3.4. Simulações da coleta de frutos

Os resultados das simulações de coleta de frutos em todos os tipos de transectos mostraram que, para os estágios 1 e 2, a densidade decresce conforme o nível de exploração aumenta (10%, 25%, 50%, 75% e 100%), em todos os anos simulados (5, 10 e 15 anos). Nos estágios 3 e 4 a densidade foi decrescente na simulação de 10 e 15 anos, e se manteve estável na simulação de 5 anos (Figuras 3a-f, 4a-f). Enquanto que a densidade foi equilibrada em todos os anos, mesmo com diferentes níveis de exploração, nos estágios 5 e 6 nos seis tipos (Figuras 3a-f, 4a-f).

As figuras 3 e 4 mostram ainda a dinâmica populacional do babaçu em relação à densidade inicial de cada estágio de vida (marcadores de cor verde). Foi possível verificar a

diminuição, a estabilidade e o aumento da densidade dos estágios nos diferentes tipos de transectos e cenários projetados. As simulações indicaram que houve diminuição da densidade de plântulas (estágio 1) no TT1 em todos os anos projetados (Fig. 3a, 4a); já o estágio 2 teve a densidade reduzida com 75% e 100% de coleta na simulação de 10 e 15 anos (Fig. 4a). Por outro lado, no TT2 a diminuição da densidade de plântulas ocorreu exclusivamente na simulação de 5 anos, com 10% e 25% de coleta (Fig. 3b) e em todos os anos simulados com 75% e 100% de coleta (Fig. 4b).

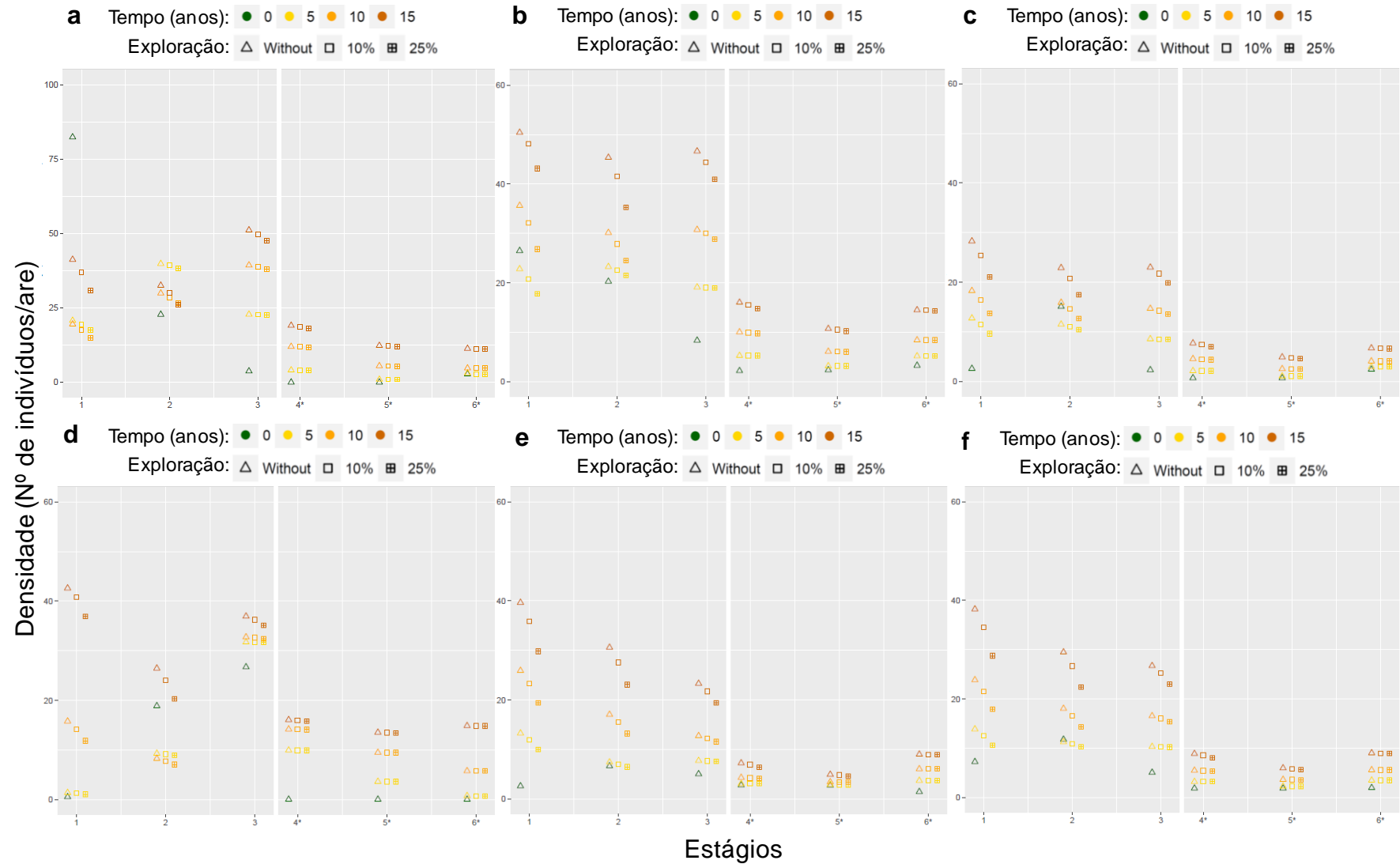
No TT3 e TT4 foi apenas no estágio 2 que a densidade diminuiu; com 10 e 25% de coleta a diminuição ocorreu em 5 e 10 anos (Figuras 3c, d) e com 50% a 100% de coleta a diminuição ocorreu em todos os anos simulados (Figuras 4c, d). No TT5 as simulações de 50% a 100% de coleta em 5 anos trouxeram densidades inferiores à inicial (Figuras 4e). No TT6 o estágio 1, com 75% e 100% de coleta, teve densidade inferior à inicial na simulação de 5 e 10 anos (Figuras 4f); enquanto que o estágio 2 teve densidade menor que a inicial com 10 e 25% de coleta na simulação de 5 anos (Fig. 3f) e em todos os anos simulados com 75% e 100% de coleta (Fig. 4f). Em três tipos de transectos, os diferentes cenários mostraram uma densidade igual/semelhante à inicial após as simulações em 5 anos, foi o caso do TT1 para o estágio 5 (Fig. 3a, 4a); do TT3 para os estágios 5 e 6 (Fig. 3c, 4c); e do TT5 para os estágios 2, 4 e 5 (Fig. 3e, 4e).

Na maioria das simulações até 25% de exploração (Fig. 3a-f) as estruturas populacionais projetadas indicaram uma densidade superior à inicial, ou seja, as populações foram crescendo de tamanho ao longo do tempo, mesmo sofrendo níveis de exploração razoáveis. Esta dinâmica foi observada no TT1, a partir do estágio 2 até os adultos (Fig. 3a); no TT2, a partir de 10 anos de simulação do estágio 1 aos adultos (Fig. 3b); no TT3 nos estágios 3 e 4 (Fig. 3c); no TT4 nos estágios 1 a 6, com exceção do estágio 2 na simulação de 15 anos (Fig. 3d); no TT5 nos estágios 1 a 6, com exceções (simulações de 10 e 15 anos nos estágios 2 e 4) (Fig. 3e); e TT6, também com densidade superior à inicial nos estágios 1 a 6, com exceção do estágio 2 nas simulações de 5 e 10 anos (Fig. 3f). No entanto, nas simulações de 75% e 100% de exploração o impacto nos estágios iniciais (1 e 2) foi mais evidente, na maioria dos tipos de transectos, as populações projetadas tiveram densidade inferior à inicial nos primeiros estágios (Fig. 4a-f).

Em geral, a simulação da taxa de coleta de 50% (no TT1 e TT2) e 75% (no TT3, TT4 e TT5) foram os cenários que conseguiram manter a densidade do babaçu mais controlada e não trouxe riscos para espécie em nenhum tipo de transecto. Por outro lado, com 100% de

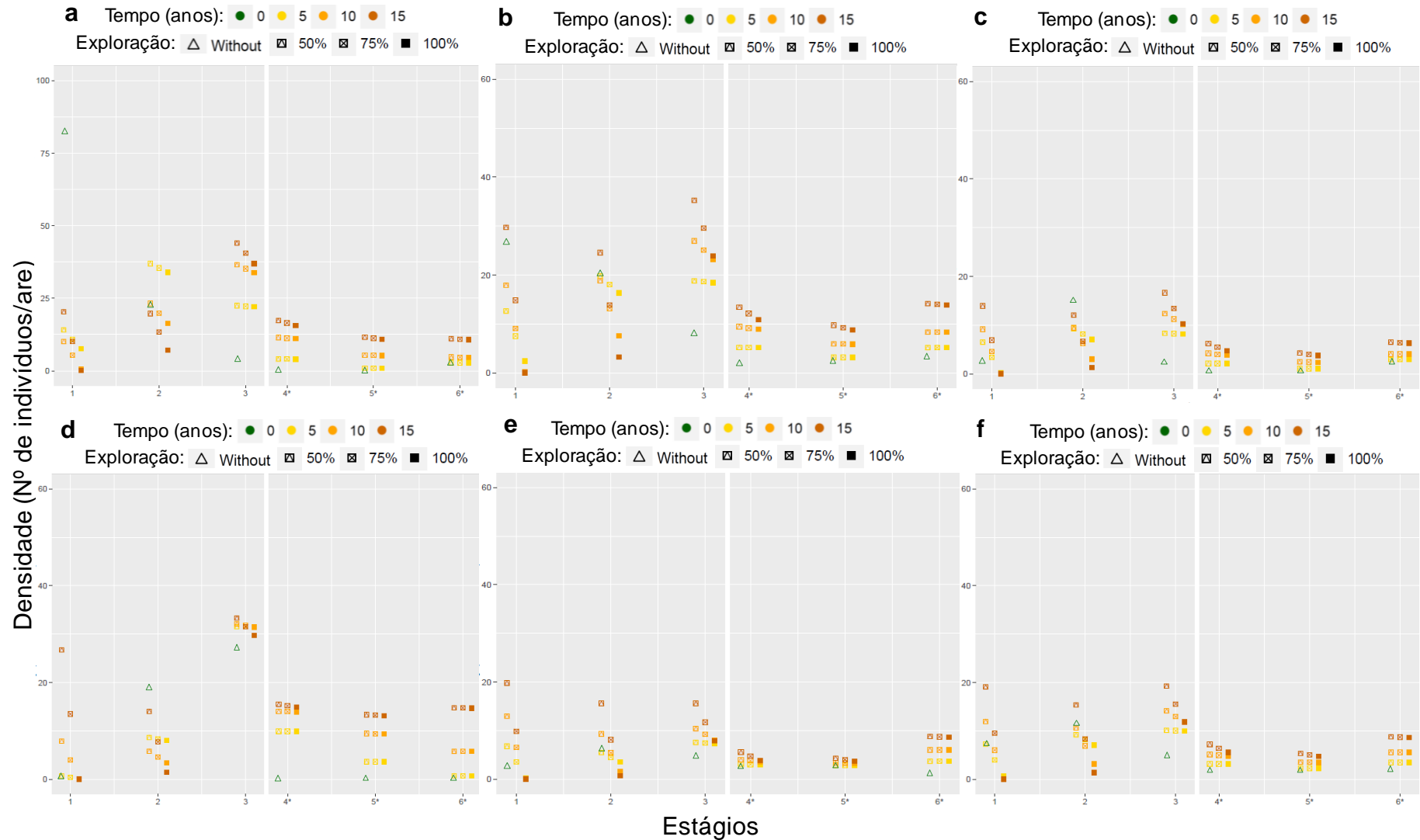
coleta dos frutos neste curto período de avaliação (15 anos), existe o risco de extinção dos estágios iniciais, com valores de densidade sempre próximos ou igual a zero (Fig. 4a-f).

Foi observado que em alguns estágios há oscilação da densidade entre os anos de simulação (5, 10 e 15 anos), e em outros estágios isso não ocorre. Houve oscilação da densidade, por exemplo, no TT1 (estágios 1 e 2; Figuras 3a, 4a), TT2 (estágio 1; Figuras 3b, 4b) e TT4 (estágio 2; Figuras 3b, 4b). No entanto, não houve oscilação da densidade nos seis estágios do TT3, TT5 e TT6 (Figuras 3c, e, f).



*para melhor visualização os valores foram multiplicados por 10

Fig. 3- Simulações da dinâmica de população do babaçu de seis estágios de vida em 5, 10 e 15 anos em função de dois níveis de exploração (10% e 25%) e sem exploração, no PA-Benfica. **a-** TT1; **b-** TT2; **c-** TT3; **d-** TT4; **e-** TT5; **f-** TT6. 1 are=100 m².



*para melhor visualização os valores foram multiplicados por 10

Fig. 4- Simulações da dinâmica de população do babaçu de seis estágios de vida em 5, 10 e 15 anos em função de três níveis de exploração (50%, 75% e 100%), no PA-Benfica. a- TT1; b- TT2; c- TT3; d- TT4; e- TT5; f- TT6. 1 are=100 m².

4.4. Discussão

4.4.1. Produção de frutos e estrutura populacional do babaçu nos transectos

A produção de frutos medida dentro dos transectos demonstrou a capacidade produtiva das matrizes nas pastagens da área de estudo. Mas o número de frutos anualmente produzidos pode ser bem maior que o estimado, pois alguns fatores não controlados, como a dispersão pelos animais selvagens (por ex. paca e cotia) e rebanho, obviamente afetam a estimativa. Nas florestas, a luz é um fator limitante para a reprodução das palmeiras de babaçu, pois estas precisam crescer até o dossel para armazenar energia suficiente e desencadear a reprodução (Barot et al. 2005). No entanto, nas pastagens isso não ocorre, pois as palmeiras têm pleno acesso à luz, então o volume e a frequência da produção de frutos é maior (Barot et al. 2005). De acordo com Anderson (1983), na Amazônia os frutos de babaçu requerem nove meses para chegar à maturidade, com o pico de inflorescência nos meses de janeiro-março e o pico de infrutescência em outubro-dezembro. O rendimento das palmeiras varia anualmente, e é provável que fatores climáticos, como a chuva, tenham efeito nesta variabilidade (Anderson, 1983). Neste estudo, não foi verificada relação entre a produção de frutos e fatores climáticos, mas estudos de longo prazo da fenologia do babaçu podem trazer melhores respostas.

A variedade de tipos de transectos encontrados é o reflexo de uma estrutura populacional diferente que o babaçu pode ter em áreas de pastagens. O TT1 reuniu transectos considerados atípicos em áreas de pastagens, cuja quantidade de plantas nos primeiros estágios (1 a 3) foi semelhante ao que ocorre em áreas de floresta. Nas florestas, a distribuição dos estágios do babaçu é típica de populações de plantas em equilíbrio, cuja frequência de indivíduos diminui de maneira acentuada após os primeiros estágios até a fase adulta (Barot et al. 2005). Nos transectos do TT1 as matrizes possuem boa produção (cerca de 450 frutos/palmeira/ano) e/ou a localização do transecto (na vertente) favorece a concentração de frutos dos adultos fora do transecto (localizados nos platôs) através da dispersão pela gravidade; o resultado é uma quantidade excepcional de plântulas germinadas.

Em geral, a germinação do babaçu é limitada dentro de áreas abertas tal como pastagens e cultivos, onde a sombra é mínima e os fogos são moderados (Anderson 1983, Mitja e Ferraz, 2001). O sucesso da germinação nas pastagens dos transectos do TT1 está relacionado provavelmente às condições ideais da umidade do solo (Anderson 1983), mas também pode ser influenciado pelo enterramento dos frutos, considerado um fator muito importante para a viabilidade das sementes e germinações múltiplas por fruto (Mitja e Ferraz

2001). Neste caso, o enterro dos frutos não está sendo realizado somente pelo rebanho ou animais selvagens (ex. cotia), como sugere Mitja e Ferraz (2001), mas também pela queda dos frutos mais novos sobre aqueles do ano anterior não dispersos, que a partir daí passam a germinar.

Os transectos do TT2 podem ser um reflexo da mortalidade e crescimento das plântulas germinadas. A menor proporção de indivíduos do estágio 1 pode ser causado pela mortalidade, seja pela competição intraespecífica, concorrência com as gramíneas, intensidade de pastejo ou exposição ao incêndio (Mitja e Ferraz 2001; Barot et al. 2005; Mandle e Ticktin 2012). As plântulas de babaçu que conseguem sobreviver a essas condições aumentam o crescimento e atingem o equilíbrio (Mitja e Ferraz 2001), assim conseguem realizar a passagem do estágio de vida e manter uma densidade maior nos estágios 2 e 3 nesses transectos. Ao estudar a resposta da palmeira *Phoenix loureiri* aos distúrbios nas pastagens, Mandle e Ticktin (2012) concluíram que o pastoreio e o corte reduziram seu crescimento, mas o crescimento aumentou após o fogo. A resposta das palmeiras às perturbações depende não só do tipo de perturbação, mas também da história natural de cada espécie (Barot et al. 2005).

Nos transectos do TT3 e TT4, talvez seja onde se possa verificar com maior evidência a influência das práticas agrícolas na estrutura de população do babaçu. O estágio 2 foi amplamente dominante no TT3 e o estágio 3 foi muito superior aos demais estágios no TT4, o ponto em comum nesses dois tipos é o "gargalo" para o avanço aos estágios seguintes causado pela limpeza anual das pastagens. Nesta prática, os agricultores costumam cortar todos indivíduos de babaçu dos estágios 2 a 4, com frequência de 1 a 3 limpezas/ano. Apesar da grande capacidade de regeneração do babaçu, pois nesses estágios a gema terminal ainda encontra-se protegida abaixo ou no nível do solo, o distúrbio sofrido com o corte retarda o desenvolvimento da planta e a impede de seguir seu ciclo vital naturalmente. Em geral, as palmeiras neotropicais são altamente sensíveis aos distúrbios antropogênicos, mas ainda não há um consenso sobre os efeitos de distúrbios intermediários (como o fogo e o roço anual) no desempenho de palmeiras (Anthelme et al. 2011). Por exemplo, as espécies *Aiphanes erinacea* e *Geonoma undata* foram afetadas negativamente pela perturbação humana moderada, enquanto *Chamaedorea linearis* e *C. pinnatifrons* se beneficiaram da perturbação (Svenning et al. 1998).

Entre todos os tipos estudados, as maiores densidades de indivíduos dos estágios 4 e 5 foram encontradas no TT5, que compreende transectos instalados em pastagens de diversas idades e com histórico de uso do solo distintos. Como no desmatamento os indivíduos

cortados costumam ser os adultos, os estágios mais jovens (3, 4 e 5) são os remanescentes que sobrevivem às perturbações intensas. Assim como acontece com outras espécies de palmeiras como *Ceroxylon echinulatum* (Anthelme et al. 2011) e *Ceroxylon quindiuense* (Sanín et al. 2013) a presença de babaçu adultos em áreas de pastagens é resultado da resiliência de indivíduos jovens que mais tarde evoluíram aos estágios adultos, ou porque foram deixadas propositalmente pelos agricultores no desmatamento, por motivos de conservação, aproveitamento da espécie ou para preservar o instrumento de corte (motosserra) da rigidez do estipe.

No TT6 encontramos a média dos valores referentes às 68 medidas de transecto, o que proporciona uma visão global da estrutura populacional do babaçu nas pastagens do PA-Benfica. A maior densidade de indivíduos nos estágios iniciais (1 a 3), principalmente do estágio 2, pode ser explicada por diversos fatores (variação climática, práticas agrícolas, etc.) e podem indicar que os distúrbios intermediários estão afetando seu desempenho. Na fase inicial, que seria a mais delicada, a gema terminal está protegida, e uma vez estabelecida, a palmeira sobrevive a maioria dos incêndios e roços (Smith 2015). Este é um mecanismo de resiliência extremamente importante que ocorre em inúmeras espécies de palmeiras mas que geralmente é esquecido pelos ecologistas (Sanín et al. 2013). Os indivíduos dos estágios de 4 a 6 são menos numerosos, já que a passagem do estágio 4 para o estágio 5 ocorre de forma mais rápida, e a densidade de indivíduos pré-adultos e adultos nas pastagens depende: i) da densidade na cobertura inicial (floresta primária); ii) da intensidade e frequência das perturbações e iii) da quantidade de indivíduos conservados no desmatamento.

4.4.2. Limitações do modelo de dinâmica populacional

O modelo de dinâmica populacional utilizado para as simulações neste trabalho teve algumas limitações que impossibilitaram a projeção de diferentes níveis de coleta de frutos a longo prazo, por isso efetuamos as simulações somente até 15 anos. O modelo foi calibrado com os dados de campo coletados durante um período de quatro anos, que forneceram informações sobre as probabilidades de transição e a mortalidade de três sequências temporais (2013-2014, 2014-2015 e 2015-2016). Essas informações são extremamente relevantes, devido sua raridade na literatura, e ao mesmo tempo são insuficientes para a extrapolação (sem risco de erros) sobre o comportamento a longo prazo do sistema considerado.

Além disso, as variáveis de estado do sistema: densidade de babaçu por estágio e número de frutos por palmeiras, estão em um conjunto relativamente restrito. Se as

simulações mostram que as variáveis de estado saíram de maneira exagerada deste conjunto (com valores dobrados àqueles para os quais o modelo foi calibrado) os resultados assim obtidos são de pura extrapolação e são questionáveis. Notadamente, no modelo supomos que as densidades foram suficientemente baixas para não levar em conta os fenômenos de dependência de densidade. Portanto, se nas simulações obtemos valores muito altos, o modelo original não é mais válido e os resultados devem ser considerados com precaução. Seria necessário modificar o modelo para levar em conta a dependência da densidade. Esta alteração não pode ser realizada, por enquanto, porque não há dados correspondentes a situações com altas densidades. Temos como perspectiva em futuras pesquisas ampliar as sequências temporais e amostrar pastagens com densidades muito altas, que nos permita integrar a dependência da densidade no modelo. Assim será possível realizar simulações também a longo prazo.

4.4.3. Dinâmica populacional nos cenários de coleta

Nos primeiros estágios de vida (1 e 2) a densidade do babaçu decresceu de acordo com o nível de exploração em todos os anos simulados, o que demonstra que em 15 anos a coleta de frutos afeta majoritariamente as plântulas e indivíduos jovens de babaçu (estágio 2). Por outro lado, os estágios 3 e 4 demonstraram estabilidade da densidade com 5 anos, e os estágios 5 e 6 em todos os anos simulados, mesmo com altas taxas de coletas (75% e 100%). Isso indica que o período simulado ainda é curto para que seja verificado maiores efeitos das intensidades de coletas empregadas nos estágios 4 a 6. Assim, não foi possível verificar informações importantes para evolução da espécie além de 15 anos, como o momento da diminuição do estoque de adultos (Isaza et al. 2016).

Nem todos os cenários modelados confirmaram que a coleta de frutos afeta negativamente a demografia das populações de babaçu. Os maiores riscos à espécie foram encontrados quando efetuada taxa de coleta de 100% dos frutos. Um importante aspecto revelado pelas simulações foi a dinâmica populacional do babaçu em relação à sua densidade inicial. Em geral, apenas os estágios 1 e/ou 2 tiveram diminuição da densidade. Isso reforça a tese de que os efeitos da coleta são mais relevantes nos primeiros estágios. De acordo com os tipos de transectos os efeitos podem ser maiores no estágio 1 ou no 2, como também em 5, 10 ou 15 anos de simulação. O TT1, caracterizado por uma grande densidade relativa nos primeiros estágios, foi o único que manteve a densidade de plântulas inferior à inicial em todos os cenários simulados. Este resultado é mais devido à grande quantidade inicial de

plântulas neste tipo, do que propriamente pela taxa de coleta de frutos testada. Assim, além da taxa de coleta, a proporção de indivíduos de diferentes estágios de vida também pode influenciar o crescimento populacional futuro (Gurevitch et al. 2009), por isso as simulações revelaram uma dinâmica diferente entre os tipos de transectos.

Na maioria dos tipos de transectos os regimes de colheita de até 25% dos frutos não conseguiram conter o crescimento populacional do babaçu ao longo de 15 anos. A densidade aumentou de forma exponencial e invadiu as pastagens cultivadas, principalmente quando não houve coleta de frutos. Na maioria das simulações a densidade foi superior à inicial, e isso significa que a população de babaçu está crescendo. Apenas com coletas a partir de 50% dos frutos foi possível verificar um maior controle da densidade dos indivíduos de babaçu. Com taxas de coleta mais extremas (100%) em 15 anos, a densidade geralmente esteve próxima ou igual a zero, então consideramos a taxa de 50% ou 75% de coleta, dependendo do tipo de transecto, a intensidade mais consistente com uma população viável por 15 anos, porque restringiria o crescimento populacional (em especial os estágios 1 e 2) e ao mesmo tempo manteria a densidade futura do babaçu relativamente próxima à densidade atual.

Para os produtos florestais não madeireiros, o desafio sempre foi encontrar níveis de exploração compatíveis com uma boa renda aos agricultores e a viabilidade da população das espécies colhidas (Holm et al. 2008). No caso do babaçu, além dessas questões, a preocupação deve focar em manter uma densidade adequada, que não atrapalhe o crescimento do capim. Nesse sentido, estudos sobre a concorrência entre o babaçu e a forrageira em áreas de pastagens devem ser realizados. As coletas de frutos pelos agricultores seria uma alternativa para o controle da densidade, mas com ressalvas de que maiores intensidades ou frequências de coleta podem conduzir a população ao declínio.

Outro fator identificado nas projeções se refere à oscilação da densidade entre os anos de simulação, que ocorre somente no estágio 1 (TT1 e TT2) e estágio 2 (TT1 e TT4), onde inicialmente há uma redução na simulação de 5 anos e plena recuperação na simulação de 15 anos. O efeito da colheita periódica na diminuição da densidade de indivíduos, seguida por uma rápida recuperação da densidade após alguns anos, também foi constatado por Holm et al. (2008) com a espécie *Mauritia flexuosa*. No entanto, na maioria dos casos a população demonstrou estar em equilíbrio, pois não houve oscilação nos seis estágios de vida, ou seja, houve o aumento da densidade conforme os anos simulados.

O fato de não considerarmos a dependência da densidade influenciou os resultados da simulação, pois alguns fatores não mensurados reduzem efetivamente a taxa de recuperação da população após as colheitas, como o consumo das plântulas por herbívoros, a competição

de outras espécies, doenças e limitações de recursos (Holm et al. 2008). Adicionalmente, a densidade de palmeiras adultas pode regular o crescimento populacional, reduzindo a sobrevivência e a transição de plântulas e juvenis (Freckleton et al. 2003; Isaza et al. 2016). Uma melhor compreensão da dependência da densidade em áreas de pastagens muito invadidas pelo babaçu pode ajudar a melhorar o modelo e a qualidade das previsões.

Os diferentes cenários simulados oferecem importantes previsões sobre os impactos de diferentes intensidades da coleta de frutos na dinâmica de população do babaçu, resultados inéditos para esta espécie. Mas os dados utilizados na construção do modelo bayesiano, no qual foram realizadas as predições, representa somente um curto período (2013-2016) em relação ao histórico de vida da espécie estudada (Isaza et al. 2016). Portanto, a aplicação dos resultados em diferentes populações de babaçu deve ser feito com cautela, pois assim como outras palmeiras, esta pode diferir seu comportamento de crescimento ao longo do tempo (Holm et al. 2008; Isaza et al. 2016).

4.4.4. Implicações para o manejo e aproveitamento do recurso

Neste trabalho sugerimos cenários sustentáveis de coletas de frutos para o babaçu, através da representação da demografia da população em diferentes tipos de pastagens. Assim, a modelagem populacional comprovou ser uma eficiente ferramenta para subsidiar um plano de manejo para a espécie, visando proteger o recurso. Mas ao contrário de outras pesquisas com diferentes espécies de palmeiras, cuja meta é o uso da modelagem para aproveitar de forma sustentável um recurso considerado limitado ou escasso (Holm et al. 2008; Navarro et al. 2010; Isaza et al. 2016); a pesquisa em relação ao babaçu tem como escopo incentivar o aproveitamento de um recurso muito abundante, que caso a densidade não seja controlada, pode também trazer prejuízos ecológicos e financeiros aos agricultores.

As simulações fornecem valores quantitativos importantes para orientar a colheita e podem servir de base para formulação de diretrizes e critérios de colheita genéricos, além de auxiliar no monitoramento para observação das mudanças que as taxas de coleta podem causar na população ao longo do tempo (Zuidema et al. 2007; Isaza et al. 2016). Ademais, o planejamento do manejo deve contar com a contribuição e participação da comunidade para gerar planos de manejo específicos (Holm et al. 2008).

Atualmente a comunidade estudada aproveita pouco o potencial produtivo do babaçu. Isso pode se tornar uma problema maior no futuro, visto que as simulações demonstraram que a tendência é a invasão das pastagens pelo babaçu, comprometendo a qualidade e o

rendimento das pastagens cultivadas. Nesse sentido, a coleta de frutos é uma hipótese muito relevante de controle da densidade, uma vez que somente as práticas de limpeza (nas intensidades atuais) serão ineficientes para contê-la.

Com a execução da taxa de coleta sugerida (50% ou 75%) neste estudo, uma grande quantidade de frutos estariam a disposição. Sendo assim, iniciativas de aproveitamento do recurso deverão ser incentivadas e implementadas por políticas públicas, visando aproveitar alguns dos vários tipos de usos dos frutos desta palmeira (Araújo e Lopes 2012). Recomendações de aproveitamento do babaçu podem ser resumidas da seguinte forma: a) implementação de uma rede local de aproveitamento do babaçu; b) implantação de uma fábrica de ração do coco para alimentação das criações (gado, peixes e porcos), já que o uso da ração existe, mas ainda de forma muito tímida, restrita a quem possui melhores condições financeiras; c) suporte para melhoria da técnica de extração do azeite das sementes visando melhorar a qualidade e agregar valor ao produto; d) fabricação de sabão, sabonete; fabricação de farinha de mesocarpo; fabricação de carvão do coco (fruto inteiro ou da casca) para venda dentro e fora das comunidades; e) capacitação na confecção de artesanato.

4.5. Conclusões

O estudo revelou que existem diferentes tipos de pastagens que refletem estruturas populacionais distintas que o babaçu pode ter nessas áreas. O modelo bayesiano aplicado em cada um dos tipos de transectos demonstrou ser eficiente nas simulações da dinâmica do babaçu, mas melhorias no modelo, considerando a dependência da densidade, podem trazer melhores resultados.

As simulações indicaram que até 25% de coleta de frutos não é suficiente para conter a invasão das pastagens pelo babaçu. Ao mesmo tempo a aplicação de 100% de taxas de coleta pode colocar em risco a sobrevivência da população. Neste trabalho propomos a taxa de coleta sustentável de 50% ou 75% dos frutos, esta seria a intensidade de coleta consistente com uma população viável por 15 anos, porém ainda não se pode prever o efeito destas altas taxas de coleta sobre as populações de babaçu daqui a 20 ou 100 anos. Essas informações são muito importantes para implantação de planos de manejo para a espécie e servem também como alerta à comunidade estudada sobre a necessidade de controle do babaçu, para estabelecer um equilíbrio entre esta espécie e as pastagens. Além disso, desperta a necessidade de incentivos governamentais ao aproveitamento do recurso pela comunidade, visto que a coleta dos frutos, além do controle da densidade, pode ser uma alternativa

economicamente favorável aos pequenos agricultores que não dispõem de recursos financeiros para investir na intensificação das limpezas periódicas das pastagens.

REFERÊNCIAS

- Almeida GM, Ramos MA, Araújo EL, Baldauf C, Albuquerque UP (2016) Human perceptions of landscape change: the case of a monodominant forest of *Attalea speciosa* Mart ex. Spreng (Northeast Brazil). *Ambio* 45:458-67
- Anderson AB (1983) The biology of *Orbignya martiana* (Palmae), a tropical dry forest dominant in Brazil. Thesis (PhD), University of Florida. 196p.
- Anderson AB, May PH, Balick MJ (1991) The Subsidy from Nature: Palm Forests, Peasantry, and Development on an Amazon Frontier. Columbia University Press, New York
- Anthelme F, Lincango J, Gully C, Duarte N, Montúfar R (2011) How anthropogenic disturbances affect the resilience of a keystone palm tree in the threatened Andean cloud forest? *Biological Conservation* 144:1059-1067
- Arango DA, Duque AJ, Muñoz E (2010) Dinámica poblacional de la palma *Euterpe oleracea* (Arecaceae) en bosques inundables del Chocó, Pacífico colombiano. *Rev Biol Trop* 58:465-481
- Araujo FR, Lopes MA (2012) Diversity of use and local knowledge of palm trees (Arecaceae) in eastern Amazonia. *Biodivers Conserv* 21:487-501
- Balslev H, Kahn F, Millan B, Svenning JC, Kristiansen T, Pedersen D, Eiserhardt W (2011) Species diversity and growth forms in tropical American palm communities. *Bot Rev* 77:381–425
- Barot S, Mitja D, Miranda I, Meija GD, Grimaldi M (2005) Reproductive plasticity in an Amazonian palm. *Evolut Ecol Res* 7:1051–1065
- Bernal R, Torres MC, García N, Isaza C, Navarro J, Vallejo MI, Galeano G, Balslev H (2011) Palm management in South America. *Bot Rev* 77:607–646
- Brokamp G, Valderrama N, Mittelbach M, Grandez CA, Barfod AS, Weigend M (2011) Trade in palm products in North-Western South America. *Bot Rev* 77:571–606
- Campos JLA, Silva TLL, Albuquerque UP, Peroni N, Araújo EL (2015) Knowledge, use, and management of the babassu palm (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng) in the Araripe region (Northeastern Brazil). *Econ Bot* 69:240–250
- Clark JS (2005) Why environmental scientists are becoming Bayesians. *Ecology Letters* 8:2-

- Crone EE, Menges ES, Ellis MM, Bell T, Bierzychudek P, Ehrlén J, Kaye TN, Knight TM, Lesica P, Morris WF, Oostermeijer G, Quintana-Ascencio PF, Stanley A, Ticktin T, Valverde T, Williams JL (2011) How do plant ecologists use matrix population models? *Ecology Letters* 14:1–8
- Dorazio RM (2016) Bayesian data analysis in population ecology: motivations, methods, and benefits. *Popul Ecol* 58:31–44
- Dragicevic AZ (2015) Bayesian Population Dynamics of Spreading Species. *Environ Model Assess* 20:17-27
- Ellison AM (2004) Bayesian inference in ecology. *Ecology Letters* 7:509–520
- Emilio T, Quesada CA, Costa FRC, Magnusson WE, Schiatti J, Feldpausch TR, Brienen RJW, Baker TR, Chave J, Álvarez E, Araújo A, Bánki O, Castilho CV, Honorio ENC, Killeen TJ, Malhi Y, Mendoza EMO, Monteagudo A, Neill D, Germaine Parada A, Peña-Cruz A, Ramirez-Angulo H, Schwarz M, Silveira M, ter Steege H, Terborgh JW, Thomas R, Torres-Lezama A, Vilanova E, Phillips OL (2013). Soil physical conditions limit palm and tree basal area in Amazonian forests. *Plant Ecology & Divers* 7:1-15
- Endress BA, Gorchov DL, Berry EJ (2006) Sustainability of a non-timber forest product: Effects of alternative leaf harvest practices over 6 years on yield and demography of the palm *Chamaedorea radicalis*. *Forest Ecol Manag* 234:181–191
- Enright NJ, Watson AD (1992) Population dynamics of the nikau palm, *Rhopalostylis sapida* (Wendl. et Drude), in a temperate forest remnant near Auckland, New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* 30:29-43
- Freckleton RP, Matos DM, Bovi MLA, Watkinson ER (2003) Predicting the impacts of harvesting using structured population models: the importance of density-dependence and timing of harvest for a tropical palm tree. *J App Ecol* 40:846–858.
- Gonzalez-Perez SE, Coelho-Ferreira M, Robert P, Garces CLL (2012) Conhecimento e usos do babaçu (*Attalea speciosa* Mart. e *Attalea eichleri* (Drude) A. J. Hend.) entre os Mebêngôkre-Kayapó da Terra Indígena Las Casas, estado do Pará, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 26(2):295-308
- Gurevitch J, Scheiner SM, Fox GA (2009) *Ecologia vegetal*. 2. ed. Porto Alegre: ed. Artmed. 592p.
- Holm JA, Miller CJ, Cropper Jr WP (2008) Population Dynamics of the Dioecious Amazonian Palm *Mauritia flexuosa*: Simulation Analysis of Sustainable Harvesting. *Biotropica* 40:550–558

- IBGE (2012) Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2nd edition (Manuais técnicos em geociências Series; vol 1). Rio de Janeiro (Brazil): Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INMET (2017) Instituto Nacional de Meteorologia: banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. <http://inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Accessed 17 February 2017
- Isaza C, Martorell C, Cevallos D., Galeano G, Valencia R, Balslev H (2016) Demography of *Oenocarpus bataua* and implications for sustainable harvest of its fruit in western Amazon. *Popul Ecol* 58:463–476
- Jeltsch F, Moloney KA, Schurr FM, Köchy M, Schwager M (2008) The state of plant population modelling in light of environmental change. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9:171–189
- Laurans M, Héroult B, Vieilledent G, Vincent G (2014) Vertical stratification reduces competition for light in dense tropical forests. *Forest Ecol Manag* 329:79–88
- Lorenzi H, Noblick LR, Kahn F, Ferreira E (2010) Flora brasileira – Arecaceae (Palmeiras). Nova Odessa: Plantarum, 384p.
- Macedo DJ (2015) Palmier babaçu et société en Amazonie: enquêtes et cartographie par télédétection. Rapport technique (Dissertação de Mestrado), Université de Montpellier, Montpellier-France
- Mandle L, Ticktin TM (2012) Interactions among harvest, grazing, fire and abiotic conditions shape palm demographic responses to disturbance. *J Ecol* 100:997-1008
- May PH, Anderson AB, Balick MJ, Frazão JMF (1985) Subsistence benefits from the babassu palm (*Orbignya martiana*). *Econ Bot* 39:113-129
- Mitja D, Ferraz I (2001) Establishment of babassu in pastures in Pará, Brazil. *Palms* 45:138-147
- Mitja D, Miranda IS (2010) Weed community dynamics in two pastures grown after clearing Brazilian Amazonian rainforest. *Weed Res* 50:163–173
- Mitja D, Miranda IS, Velasquez E, Lavelle P (2008) Plant species richness and floristic composition change along a rice-pasture sequence in subsistence farms of Brazilian Amazon, influence on the fallows biodiversity (Benfica, State of Pará). *Agric Ecosyst Environ* 124:72-84
- Mitja D, Sirakov N, Santos AM, González-Pérez S, Macedo DJ, Delaître E, Demagistri L, Loisel P, Miranda IS, Rey-Valette H, Rocha MRT, Fontez B, Libourel T. To be published in 2017. Viability of the Babassu Palm Eco-Socio-System in Brazil: the

- Challenges of Co-Viability. In: Coviability of social and ecological systems: reconnect man of the biosphere in an area of global change, Springer Verlag
- Navarro JA, Galeano G, Bernal R (2011) Impact of leaf harvest on populations of *Lepidocaryum tenue*, an Amazonian understory palm used for thatching. *Tropical Conservation Science* 4:25-38
- Olmsted I, Alvarez-Buylla ER (1995) Sustainable Harvesting of Tropical Trees: Demography and Matrix Models of Two Palm Species in Mexico. *Ecological Applications* 5:484-500
- Parente MPM, Cavalcanti LH (2013) Myxomycetes on Palm Trees: Species on *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng. *Advances in Microbiology* 3:19-23
- Peters CM, Balick MJ, Kahn F, Anderson AB (1989) Oligarchic forests of economic plants in Amazonia: utilization and conservation of an important tropical resource. *Conserv Biol* 3:341–349
- Pinard MA, Putz FE (1992) Population matrix models and palm resource management. *Bull Instr Fr études andines* 21:637–649
- Piñero D, Martinez-Ramos M, Sarukhan J (1984) A Population Model of *Astrocaryum Mexicanum* and a Sensitivity Analysis of its Finite Rate of Increase. *Journal of Ecology* 72:977-991
- Pintaud JC (2008) An overview of the taxonomy of *Attalea* (Arecaceae). *Rev Peru Biol* 15:55-63
- Pintaud J-C, Galeano G, Balslev H, Bernal R, Borschenius F, Ferreira E, Granville JJ, Mejía K, Millán B, Moraes M, Noblick L, Stauffer FW, Kahn F (2008) Las palmeras de América del Sur: diversidad, distribución e historia evolutiva. *Rev Peru Biol* 15:7–29
- R Development Core Team (2011) R: A language and environment for statistical computing. Available online at <http://www.r-project.org/>
- Ritter L, Martins P, Cooper M, Grimaldi C (2009) Variação e possibilidades de uso do solo sobre rochas cristalinas na Amazônia oriental. *Novos Cadernos NAEA* 12:225-246
- Rodríguez-Buriticá S, Orjuela MA, Galeano G (2005) Demography and life history of *Geonoma orbignyana*: An understory palm used as foliage in Colombia. *Forest Ecol Manag* 211:329–340
- Rüger N, Berger U, Hubbell SP, Vieilledent G, Condit R (2011) Growth Strategies of Tropical Tree Species: Disentangling Light and Size Effects. *PLoS ONE* 6:e25330
- Sampaio MB, Schmidt IB, Figueiredo IB (2008) Harvesting Effects and Population Ecology of the Buriti Palm (*Mauritia flexuosa* L.f., Arecaceae) in the Jalapão Region, Central Brazil. *Econ Bot* 62:171–181

- Sampaio SMN, Miranda IS, Laques A-E, Mitja D, Gond V, Guillaumet J-L (2010) Complexidade das paisagens do projeto de Assentamento Benfica, sudeste paraense, Estado do Pará. *Geografia* 35:589-604
- Sanín MJ, Anthelme F, Pintaud JC, Galeano G, Bernal R (2013) Juvenile resilience and adult longevity explain residual populations of the Andean wax palm *Ceroxylon quindiuense* after deforestation. *PLoS One* 8:e74139
- Santos AM, Mitja D (2011) Wooded cattle pasture in the benfica seetling project in Itupiranga, Pará, Brazil. *Rev Árvore* 35:919-930
- Santos AM, Mitja D, Delaître E, Demagistri L, Miranda IS, Libourel T, Petit M (2017) Estimating babassu palm density using automatic palm tree detection with very high spatial resolution satellite images. *Journal of Environmental Management* 193:40-51
- Sirakov N (2016) Modélisation de la dynamique de population d'une plante native (palmier babaçu) dans le cadre d'un projet de gestion durable au Brésil. Tese de doutorado, Université de Montpellier, Montpellier-France
- Smith N (2015) *Palms and People in the Amazon*. Geobotany Studies. Springer, New York. 500p.
- Svenning JC (1998) The effect of land-use on the local distribution of palm species in an Andean rain forest fragment in northwestern Ecuador. *Biodiv Conserv* 7:1529–1537
- ter Steege N, Pitman NCA, Sabatier D, Baraloto C, Salomão RP, Guevara JE, Phillips OL, Castilho CV, Magnusson WE, Molino JF, Monteagudo A, Núñez-Vargas P, Montero JC, Feldpausch TR, Honorio Coronado E, Killeen TJ, Mostacedo B, Vásquez R, Assis RL, Terborgh J, Wittmann F, Andrade A, Laurance WF, Laurance SGW, Marimon BS, Marimon Jr BH, Guimarães-Vieira IC, Leão Amaral I, Brienens R, Castellanos H, Cárdenas López D, Duivenvoorden JF, Mogollón HF, de Almeida Matos DF, Dávila N, García-Villacorta R, Stevenson PR, Costa F, Emilio T, Levis C, Schiatti J, Souza P, Alonso A, Dallmeier T, Duque Montoya AJ, Fernandez Piedade MT, Araujo-Murakami A, Arroyo L, Gribel R, Fine PVA, Peres CA, Toledo M, Aymard GA, Baker TR, Cerón C, Ángel J, Henkel TW, Maas P, Petronelli P, Stropp J, Zartman CE, Daly D, Neill D, Silveira M, Ríos Paredes M, Chave J, Lima Filho D de A, Møller Jørgensen P, Fuentes A, Schöngart J, Cornejo Valverde F, Di Fiore A, Jiménez EM, Penñela Mora MC, Phillips JF, Rivas G, van Andel T, von Hildebrand P, Hoffman B, Zent EL, Malhi Y, Prieto A, Rudas A, Ruschell AR, Silva N, Vos V, Zent S, Oliveira AA, Cano Schutz A, Gonzales T, Nascimento MT, Ramírez-Angulo, H, Sierra R, Tirado M, Umanã Medina MN, van der Heijden G, Vela CIA, Vilanova Torre E, Vriesendorp C, Wang O, Young

- KR, Baider C, Balslev H, Ferreira C, Mesones I, Torres-Lezama A, Urrego Giraldo LE, Zagt R, Alexiades MN, Hernández L, Huamantupa-Chuquimaco I, Milliken W, Palacios Cuenca W, Paulette D, Valderrama Sandoval E, Valenzuela-Gamarra L, Dexter KG, Feeley K, López-González G, Silman MR (2013) Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. *Science* 342:1243092
- Vedel-Sørensen M, Tovarante J, Bøcher PK, Balslev H, Barfod AS (2013) Spatial distribution and environmental preferences of 10 economically important forest palms in western South America. *Forest Ecol Manag* 307:284–292
- Zuidema PA, Kroon H, Werger MJA (2007) Testing sustainability by prospective and retrospective demography analyses: evaluation for palm leaf harvest. *Ecological Applications* 17:118-128

5. CONCLUSÕES GERAIS

O presente estudo trouxe importantes informações sobre a dinâmica de população e a distribuição espacial do babaçu que poderão auxiliar em políticas públicas no estabelecimento de uma gestão sustentável da espécie. O estudo vem atender à demanda social sobre a disponibilidade do recurso e as previsões de evolução da população do babaçu em função de seus níveis de exploração.

O uso da técnica de sensoriamento remoto em imagens de altíssima resolução espacial (0,50 m) associada à aplicação de um algoritmo de detecção automática das sombras de palmeiras em áreas abertas permitiu o reconhecimento não só do babaçu, mas de outras quatro espécies de palmeiras de Larga Coroa Circular (LCC). No entanto, a combinação destes métodos com metodologias de campo permitiu a avaliação da disponibilidade do babaçu na área estudada e conseqüentemente a estimativa de produção. A disponibilidade de imagens de satélite com altíssima resolução espacial (GeoEye, WorldView, Pléiades, etc.) permite que esta técnica seja utilizada em outras regiões, associado a medidas de campo auxiliares como realizado neste trabalho.

O interesse em se obter a densidade do babaçu em todo o PA-Benfica e não somente em áreas abertas, nos traz a perspectiva de desenvolver um método adaptado a ambientes fechados (florestas primárias e secundárias), onde as sombras das palmeiras não são visíveis e a detecção deverá ser feita por um algoritmo baseado no reconhecimento da forma da coroa das palmeiras. Porém, para isso deverão ser testadas imagens de resolução inferior a 0,50 m.

O conhecimento da estrutura populacional do babaçu nos diferentes habitats (floresta, pastagem e babaçual) ao longo do tempo demonstrou que as populações evoluem de forma diferente nesses ambientes. Em florestas, a população de babaçu foi mais estável no decorrer do tempo, do que nas pastagens e babaçuais. Sendo assim, o modelo de dinâmica populacional construído a partir dos dados de pastagens não pode ser generalizado, mas deverá ser adaptado a cada habitat de interesse.

O modelo de dinâmica de população do babaçu adaptado às áreas de pastagens trouxe previsões sobre o comportamento da espécie quando submetida a diferentes níveis de coleta de frutos. O resultado mostrou que até com níveis de exploração razoáveis (25% de coleta dos frutos) a população tende a crescer com o passar dos anos, reafirmando a característica invasora desta espécie. As simulações indicaram que com 50% ou 75% de coleta dos frutos é possível manter a densidade controlada por 15 anos. Assim, a coleta de frutos seria benéfica aos agricultores, seja pelo aproveitamento do recurso ou por controlar a densidade de

indivíduos em áreas de pastagens. Porém, como não se pode usar o modelo para simular a evolução da população além de 15 anos, também não se pode dizer se as taxas de 50 e 75% não vão levar a extinção da espécie a longo prazo. O uso deste modelo poderá ser testado em outras regiões cuja exploração do babaçu é mais intensa, como nos estados do Tocantins, Piauí e principalmente Maranhão, o grande produtor nacional de óleo de amêndoas de babaçu. Para isso, trabalhos de campo seriam necessários para a validação ou adaptação do modelo. Dados de campo complementares, com o estudo de novas pastagens com altas densidades de babaçu e acompanhamento por mais 3 a 5 anos do dispositivo de levantamento de campo da dinâmica de população, permitirão melhorar o modelo para realizar previsões de médio e longo prazo.