

Modelagem da dispersão zoocórica da Palmeira-juçara (*Euterpe edulis* Martius) como subsídio para programas de repovoamento da espécie em Unidades de Conservação

**Composição da Equipe Técnica**

Dr.<sup>a</sup> Carolina da Silva Carvalho - Instituto Tecnológico Vale - Belém

Gestor M.e Pietro de Oliveira Scarascia - Fundação Florestal

Dr.<sup>o</sup> Vinícius de Avelar São Pedro - Universidade Federal de São Carlos

Dr.<sup>a</sup> Rita de Cássia Quitete Portela - Universidade Federal do Rio de Janeiro

M.e Eduardo Teles Barbosa Mendes - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Breno de Lima Souza - Universidade Federal de São Carlos

Camila Moreira da Silva - Universidade Federal de São Carlos

Patrick Faria Fernandes - Universidade Federal de São Carlos

## Sumário

1. INTRODUÇÃO	2
2. OBJETIVO	4
2.1 Objetivo geral	4
2.2 Objetivos específicos	4
3. METODOLOGIA	4
3.1 Área de estudos	4
3.2 Método de lançamento por drones	5
3.3 Elaboração do modelo	6
3.4 Parâmetros da paisagem	7
3.5 Parâmetros da demografia	7
3.6 Parâmetros de dispersão	8
3.7 Parâmetros de iniciação	10
3.8 Parâmetros de simulação	10
4. RESULTADOS	11
5. DISCUSSÃO	13
6. CONCLUSÃO	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a intensa exploração de recursos e alterações na paisagem tem ocasionado a redução de biodiversidade. Tais perturbações levam a modificação, perda e fragmentação de habitats, e conseqüentemente à perda de serviços ecossistêmicos desempenhados por muitas espécies que hoje se encontram ameaçadas de extinção (DÍAZ *et al.*, 2006; BUTCHART *et al.*, 2010; CARDINALE *et al.*, 2012).

O bioma Mata Atlântica corresponde a uma floresta tropical altamente perturbada por pressões antrópicas, o qual originalmente se estendia em uma área de aproximadamente 150 milhões de hectares (RIBEIRO *et al.*, 2011). Apesar disso, essa região teve um drástico declínio em sua vegetação, tendo restado 32 milhões de ha (28%) da cobertura vegetal original, sendo muitas áreas pequenas e descontínuas, que afetam diretamente as populações de diversas espécies (REZENDE *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2009; RIBEIRO *et al.*, 2011; GALETTI *et al.*, 2016; LEAL *et al.*, 2021). No entanto, o bioma é um dos mais diversos do mundo, compreendendo cerca de 20.000 espécies vegetais, com cerca de 2,7% delas endêmicas. A Mata Atlântica é um *hotspot* mundial de biodiversidade e prioridade para a conservação (RIBEIRO *et al.*, 2011; COSTA *et al.*, 2000; MYERS *et al.*, 2000).

A Palmeira-juçara (*Euterpe edulis* Martius) é uma palmeira pertencente à família Arecaceae, nativa da Mata Atlântica, caracterizada pela presença de um estipe simples, que pode atingir até 20 metros de altura (MARTINS-CORDER; SALDANHA, 2006). Trata-se de uma espécie altamente explorada pela oferta de um palmito com alta qualidade e valor econômico (ROBERTO; HABERMANN, 2010; BRANCALION *et al.*, 2012). Além disso, a espécie é consumida por mais de 58 espécies de aves e 21 de mamíferos, sendo uma importante fonte alimentar aos frugívoros em momentos de escassez de recursos (GALETTI *et al.*, 2013). A ingestão de seus frutos e sementes por uma grande variedade de espécies pode acelerar o processo de colonização de novas áreas e intensificar o fluxo gênico entre populações já existentes (MATOS; WATKINSON, 1998; REIS *et al.*, 2000; GALETTI *et al.*, 2013).

A exploração intensa e descontrolada da juçara tem afetado a diversidade genética das espécies, assim como a perda de habitat tem levado a seu rápido declínio populacional e extinções locais (SOARES *et al.*, 2019). Desta forma, a espécie é classificada como "vulnerável" na lista brasileira de espécies ameaçadas de extinção (REIS *et al.*, 2000; MARTINELLI; MORAES, 2013; LEAL *et al.*, 2021). A juçara possui um desenvolvimento considerado lento e o corte do meristema apical para extração do palmito leva o indivíduo à morte, sem possibilidade de regeneração ou rebrota, fatores esses que colaboram para tornar a

espécie ameaçada de extinção (ROBERTO; HABERMANN, 2010; MARTINELLI; MORAES, 2013). O cenário atual se reflete em populações localizadas principalmente em áreas protegidas de Mata Atlântica, e o tempo estimado para os indivíduos atingirem o estágio de adulto é cerca de 20 anos (MARTINS-CORDER; SALDANHA, 2006).

Embora a juçara possa ser cultivada em florestas nativas através de sistemas adequados de manejo e manutenção (EWERS; DIDHAM, 2005), tais iniciativas são prejudicadas por impactos indiretos como queimadas, fragmentação de habitat e ausência de dispersores. O alto índice de fragmentação e alteração de habitats limitam a disponibilidade de recursos ofertados pelas florestas, que pode resultar no desaparecimento de animais silvestres frequentemente encontrados na Mata Atlântica que dependem da Palmeira-juçara (MATOS; BOVI, 2002; CANALE *et al.*, 2012). Como consequência, muitas espécies de plantas que dependem de animais para dispersar suas sementes, como a juçara, estão sob ameaça (FADINI *et al.*, 2009; CAMPOS; STEINER; ZILLIKENS, 2012; CHATTERJEE; BASU, 2015).

A drástica diminuição das populações de vertebrados, ocasionada por desmatamento e caça ilegal, ameaça o estabelecimento das plantas que dependem da dispersão desses animais (CARVALHO *et al.*, 2020). De acordo com Silva e Reis (2019), a estrutura da fauna colabora com a frutificação e pode ser variável de acordo com cada espécie e seu respectivo comportamento. Os casos de defaunação podem ser responsáveis por desencadear alterações no ecossistema, e trazer diversos impactos para a vegetação de florestas tropicais (GALETTI; BOVENDORP; GUEVARA, 2015; VALVERDE *et al.*, 2020).

Nesse sentido, projeções da capacidade de dispersão e colonização podem auxiliar na elaboração de estratégias específicas de conservação (GUISAN; THUILLER, 2005). A modelagem de distribuição de espécies, por exemplo, vem sendo amplamente empregada para gerar previsões da distribuição e abundância dos organismos em escala espacial e temporal (HUNTLEY *et al.*, 2010; GIANNINI *et al.*, 2012; HEIKKINEN *et al.*, 2015). Novas abordagens computacionais permitem incluir nesses modelos informações ambientais, demográficas, de história de vida, estimativas de dispersão e até mesmo eventos estocásticos, tornando-os mais realistas e robustos (GUISAN; THUILLER, 2005; BOCEDI *et al.*, 2014).

Logo, considerando a importância ecológica e econômica da Palmeira-juçara, que se encontra em baixas densidades de indivíduos em muitas Unidades de Conservação (UC), o atual trabalho teve como finalidade contribuir com o Programa de Conservação da Palmeira Juçara (Pró-Juçara). O Pró-juçara engloba 10 Núcleos do Parque Estadual Serra do Mar (PESM) e 7 UC do Vale do Ribeira, entre elas o Parque Estadual Carlos Botelho (PECB) e

busca repovoar as populações dessa espécie vegetal em tais unidades de proteção integral a partir da dispersão de sementes. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi aplicar um modelo para avaliar a efetividade desse repovoamento em termos de número de indivíduos ao longo do tempo e da colonização de novas áreas.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo geral**

- Modelar a dinâmica espacial das populações de Palmeira-juçara (*Euterpe edulis*) utilizando dados demográficos e de dispersão de sementes por animais, buscando otimizar o repovoamento de Palmeira-juçara em Unidades de Conservação.

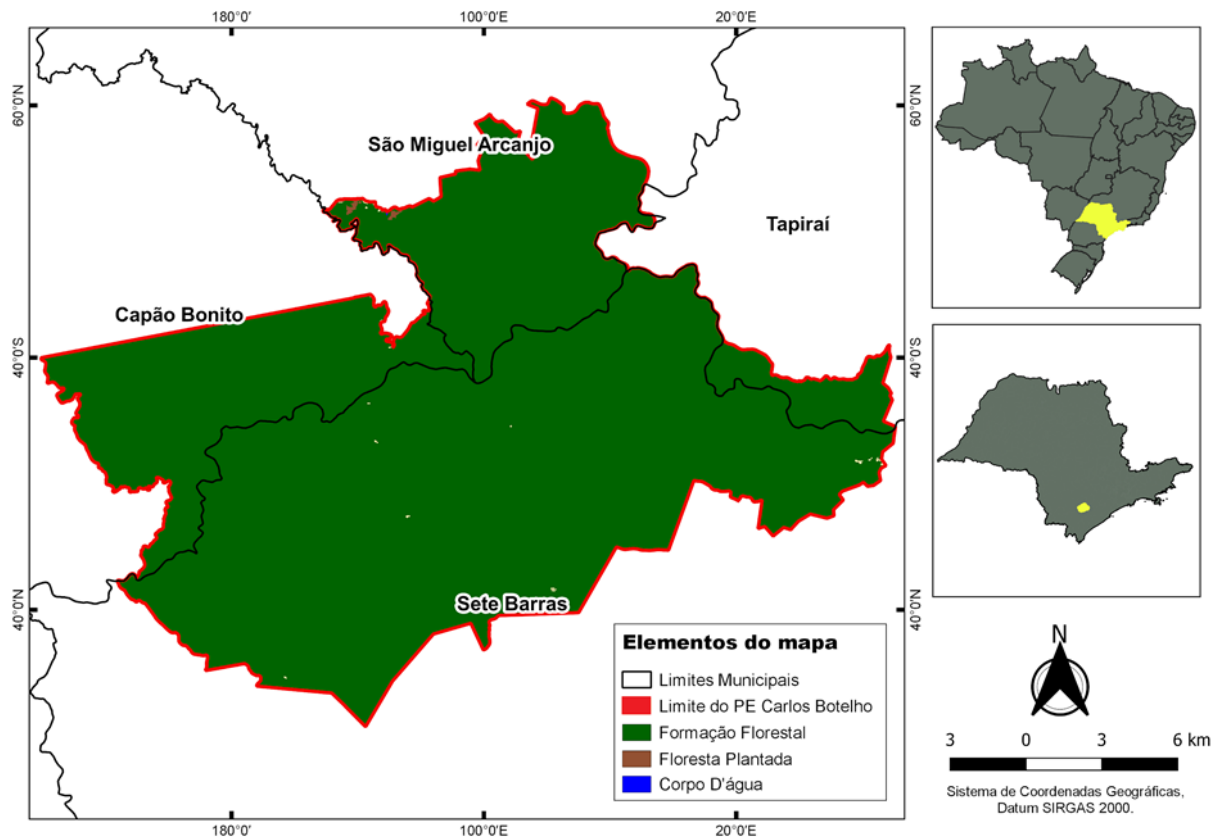
### **2.2 Objetivos específicos**

- Evidenciar a capacidade de dispersão da espécie e fornecer subsídios para a semeadura automatizada.
- Identificar áreas onde o lançamento de sementes seria mais efetivo para repovoamento da Unidade de Conservação.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1 Área de estudos**

O presente estudo foi realizado no Parque Estadual Carlos Botelho, considerada uma Unidade de Conservação de Proteção Integral. A UC foi criada pelo Decreto 19.499/1982, e é localizada na região sul do Estado de São Paulo (entre 24°00' a 24°15'S e 47°55' a 48°05'W), englobando parte dos municípios de São Miguel Arcanjo, Capão Bonito, Sete Barras e Tapiraí, compreendendo uma área total de 37.644 ha (Figura 1) (SÃO PAULO, 2008).



**Figura 1.** Mapa de localização do Parque Estadual Carlos Botelho.

O território do PECB é composto por área de vegetação, de acordo com dados de uso e ocupação do solo do *MapBiomias* (2020), constituído por Floresta Ombrófila Densa. PECB encontra-se inserido dentro do Contínuo Ecológico da Serra de Paranapiacaba, região com uma das maiores áreas contínuas de Mata Atlântica preservada do Estado de São Paulo (IBGE, 2012).

Segundo o sistema de classificação de Köppen (1948), o clima da região está enquadrado em dois tipos. O primeiro é clima quente úmido sem estiagem (Cfa) nas áreas de submontanas e de baixada e o segundo é clima temperado úmido sem estiagem (Cfb) para as áreas de montanhas. A temperatura média anual é bastante elevada, variando entre 20 e 22 °C e apresenta pluviosidade média anual de 1700 a 2400 mm, com períodos de chuva bem definidos nos meses de verão, alternando com períodos de menor incidência de chuva no inverno (SÃO PAULO, 2008).

### 3.2 Método de lançamento por drones

Conforme o plano de trabalho do Pró-juçara (FUNDAÇÃO FLORESTAL), as sementes têm sido obtidas de comunidades do entorno das UCs, com origem de no máximo

50 quilômetros de distância e em altitudes de até 700 metros do local de destino. Esse projeto tem duração de dois anos, de maneira a repovoar 60 hectares com 2000 quilogramas de sementes no primeiro ano e 66,6 ha com 3330 kg no segundo ano por UC. Além disso, o repovoamento está sendo realizado por lançamento aéreo de sementes utilizando helicóptero ou drones, semeando 50 kg por ha.

### 3.3 Elaboração do modelo

Os modelos foram elaborados utilizando o *RangeShifter*, disponível como pacote no *Software R* (versão 4.0.0), denominado *RangeShiftR*, que permite a modelagem baseada no indivíduo, com dinâmica estocástica e espacialmente explícita (BOCEDI *et al.*, 2020; MALCHOW *et al.*, 2021). O pacote foi criado como ferramenta para a investigação de dinâmicas eco-evolutivas e também para auxiliar na conservação de espécies, modelando estratégias para populações reais, como forma de analisar as melhores opções para o manejo e entender o alcance das espécies (BOCEDI *et al.*, 2014).

O *RangeShifter* utiliza: 1) Parâmetros da paisagem onde a modelagem da dinâmica eco-evolutiva de uma espécie alvo irá ocorrer; 2) Parâmetros demográficos da espécie alvo; 3) Parâmetros de dispersão da espécie, expresso em formato de fluxograma na Figura 2. Cabe ressaltar também a utilização de parâmetros de iniciação e simulação. Por fim, todos os dados e parâmetros utilizados são expressos nos tópicos a seguir.

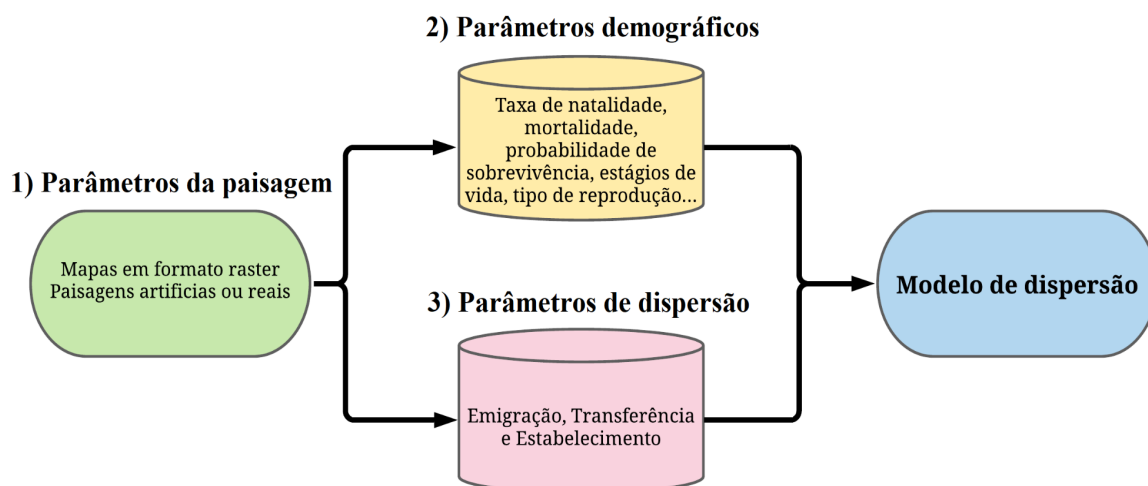


Figura 2. Fluxograma da modelagem com *RangeShifter*.

### 3.4 Parâmetros da paisagem

A paisagem de estudos é um mapa do Parque Estadual Carlos Botelho, retirado dos dados do Inventário Florestal de São Paulo de 2020 (IF, 2020), alterando a resolução para 80x80 m e convertido para formato *raster*. A classificação das formações florestais teve códigos de 1 a 4, sendo eles: (1) Floresta Ombrófila Densa estágio avançado; (2) Floresta Ombrófila Densa estágio médio; (3) Floresta Ombrófila Densa das terras baixas; (4) Floresta Ombrófila Mista estágio avançado. Também foi utilizado o mapa da distribuição inicial da espécie, com a área de 40 hectares onde ocorreu o lançamento das sementes por drones no Parque Estadual Carlos Botelho, com resolução também de 80x80 m.

No mais, foi determinado por meio da função *get localize* o valor máximo de 30.000 e mínimo de 20.000 para a denso-dependência demográfica ou *K\_or\_DensDep*, conforme Figura 3.

```
land <- ImportedLandscape(LandscapeFile = "uso_80m.txt" ,
  Resolution = 80,
  Nhabitats = 4,
  K_or_DensDep = c(30000,30000,20000,20000),
  SpDistFile = "reflorestado_80m.txt",
  SpDistResolution = 80)
```

**Figura 3.** Parâmetros utilizados na paisagem.

### 3.5 Parâmetros da demografia

Primeiramente, foi utilizado a matriz de transição para a espécie *Euterpe edulis* presentes nos dados de De Souza (2016) coletados numa floresta ombrófila densa montana do estado do Rio de Janeiro, adaptada com a inserção do estágio de sementes na matriz (Figura 4). Essa inserção do estágio de sementes foi feita com base na quantidade média de sementes geradas por um indivíduo reprodutivo e sua respectiva taxa de transição para o próximo estágio (plântula) (DE SOUZA, 2016; SILVA; REIS, 2018) de uma população localizada na Floresta Nacional de Ibirama em Santa Catarina.

```
Mtx <- matrix( c(0, 0, 0, 0, 3500,
  0.2343, 0.71729816666, 0, 0, 0,
  0, 0.00783517666, 0.86302746666, 0, 0,
  0, 0, 0.06907254, 0.97827243333, 0,
  0, 0, 0, 0.01442755666, 0.99026666666),
  nrow = 5, byrow = TRUE)

Mtx
```

**Figura 4.** Matriz de transição da Palmeira-juçara.



Em seguida, determinou-se os parâmetros populacionais, configurando a população para cinco estágios estruturados, com gerações sobrepostas. Os estágios foram separados de acordo com o desenvolvimento dos indivíduos, o 1º estágio seria o de sementes, 2º estágio de plântulas, 3º estágio pré-adulto 1, 4º estágio pré-adulto 2 e por último o 5º estágio que seriam os adultos reprodutivos.

Também se utilizou os parâmetros de idade máxima para 25 anos, retirado de estudos com outras espécies de palmeiras, como a *Euterpe oleracea* (Oliveira *et al.*, 2017) e *Elaeis guineensis* (LUSKIN; POTTS, 2011), e apenas um que citava a idade de 21 anos para um palmito juçara presente no estudo (WENDLING; SANQUETTA; AHRENS, 1998). Após, foram estipuladas as idades mínimas em cada estágio (0, 0, 4, 8, 10 anos), a sobrevivência foi programada para ocorrer entre os eventos reprodutivos (*SurvSched=1*) e aplicou-se o desenvolvimento (passagem de um estágio para o seguinte) dependente da densidade.

Em relação ao tipo de reprodução, como o modelo não prevê este tipo de parâmetro reprodutivo específico para espécies vegetais, por recomendação das criadoras do modelo, foi utilizado o Tipo Reprodutivo 0 (reprodução assexual/apenas modelo feminino). Ambos os parâmetros podem ser vistos na Figura 5.

```
stg <- StageStructure(Stages=5,
  TransMatrix = Mtx,
  MaxAge = 25,
  MinAge = c(0,0,4,8,10),
  SurvSched = 1,
  DevDensDep = T)

demo <- Demography(StageStruct = stg,
  ReproductionType = 0)
```

**Figura 5.** Parâmetros utilizados na demografia do modelo.

### 3.6 Parâmetros de dispersão

Os parâmetros de dispersão estão divididos em três fases: emigração, transferência e estabelecimento (BOCEDI *et al.*, 2020). A emigração corresponde à probabilidade que um indivíduo deixa a sua célula natal em determinado ano. No presente modelo a emigração (Figura 6) foi configurada de forma a variar de acordo com o estágio, utilizando a função *StageDep=TRUE*. Em seguida construiu-se uma matriz a partir da função *EmigProb* contendo os cinco estágios (0, 1, 2, 3, 4) e a sua respectiva probabilidade de emigrar (0.2, 0, 0, 0, 0). Além disso, foi aplicada a função *UseFullKern* como *FALSE*.

```
d <- matrix(c(0,1,2,3,4,0.2,0,0,0), byrow = F, ncol = 2)

emig <- Emigration(StageDep = TRUE,
                  EmigProb = d,
                  UseFullKern = FALSE)
```

**Figura 6.** Parâmetros da fase de emigração, sendo “*d*” o objeto correspondente a matriz da função *EmigProb*.

A fase de transferência corresponde ao momento em que o indivíduo se movimenta, emigrando de seu local de origem, até o seu estabelecimento em outro local ou a sua morte (BOCEDI *et al.*, 2020). Para descrever a distância de dispersão foi utilizada a função *DispersalKernel*, a qual consiste na probabilidade de um indivíduo se deslocar a uma determinada distância. Nesse sentido, tendo em vista eventos de curta distância (e.g. pequenos vertebrados frugívoros) e de longa distância (e.g. vertebrados de maior porte) definimos o parâmetro *DoubleKernel* como *TRUE*.

A função *DoubleKernel* considera a combinação de duas distribuições exponenciais negativas com diferentes valores, a uma determinada probabilidade. Sendo assim, uma matriz com parâmetros de distância mínima e máxima foi necessária, bem como um valor de provável ocorrência (Figura 7), valores estes obtidos de Jordano *et al.* (2007), os quais obtiveram distâncias médias de dispersão de sementes por diferentes grupos de frugívoros, valores que também são sustentados pela estimativa de *dispersal kernels* para sementes e pólenes da juçara realizada por Dos Santos *et al.* (2018).

```
tran <- DispersalKernel(DoubleKernel = T,
                      Distances = matrix(c(100, 500, 0.5), ncol = 3))
```

**Figura 7.** Parâmetros da fase de transferência (*tran*) com a função *DoubleKernel = TRUE* (T).

A última fase da dispersão contempla o estabelecimento dos indivíduos, processo em que o organismo permanece em um local no qual está apto a desenvolver-se (BOCEDI *et al.*, 2020). Utilizamos aqui a função *Settlement* (Figura 8), sem estágio dependência ou ainda sem sexo dependência e consideramos verdadeiro o fato da mortalidade quando o indivíduo não encontra habitat disponível, conforme o parâmetro *Settle*. Por fim, um objeto para a função *Dispersal* foi criado, contendo todos os parâmetros supracitados (Figura 9).

```
sett <- Settlement()
```

**Figura 8.** Função *Settlement*.

```
disp <- Dispersal(Emigration = emig,
                 Transfer = tran,
                 Settlement = sett)
```

**Figura 9.** Função *Dispersal* com suas respectivas fases.

### 3.7 Parâmetros de iniciação

Na etapa de iniciação (Figura 10) optou-se pela iniciação da população a partir do local onde as sementes foram distribuídas, ou seja, um mapa de distribuição de espécies (*InitType=1*), determinando que todas as células presentes no mapa eram adequadas para a população (*SpType=0*). Também foi definido o número de indivíduos a serem semeados, utilizando a opção que determina o número de indivíduos por célula/hectare (*InitDens=2*).

O número de indivíduos por célula/hectare foi de 9.677, o que representa 30% das 2.000.000 sementes lançadas por drone que de fato irão se tornar plântulas (DE SOUZA, 2016), dividido por 62, número de células presentes na área de 40 ha, onde ocorreu o lançamento de sementes. A inicialização do modelo já no estágio de plântulas foi uma opção encontrada para reverter a ausência de capacidade para iniciação apenas das sementes/primeiro estágio, explicando também a proporção de estágio (*PropStages*) utilizada. Por fim, foi estabelecido a distribuição inicial da idade em cada estágio de acordo com a idade mínima para o respectivo estágio (*InitAge=0*).

```
init <- Initialise(InitType = 1,
                  SpType = 0,
                  InitDens = 2,
                  IndsHaCell = 9677,
                  PropStages = c(0,0.994,0.002,0.002,0.002),
                  InitAge = 0)
```

**Figura 10.** Parâmetros utilizados na iniciação do modelo.

### 3.8 Parâmetros de simulação

A simulação (Figura 11) foi executada utilizando 20 réplicas (*Replicates=20*), com simulação ao longo de 100 anos (*Years=100*). Além disso, foi determinado que, quando um indivíduo atingir uma célula inválida ou transgredir os limites da paisagem durante o ato de dispersão, os mesmos devem ser eliminados da simulação (*Absorbing=TRUE*). Foi especificado qual saída de arquivo seria gerado, optando por produzir os dados de população (*OutIntPop=5*), ocupação (*OutIntOcc=5*) e intervalo para cada 5 anos (*OutIntRange=5*).

```

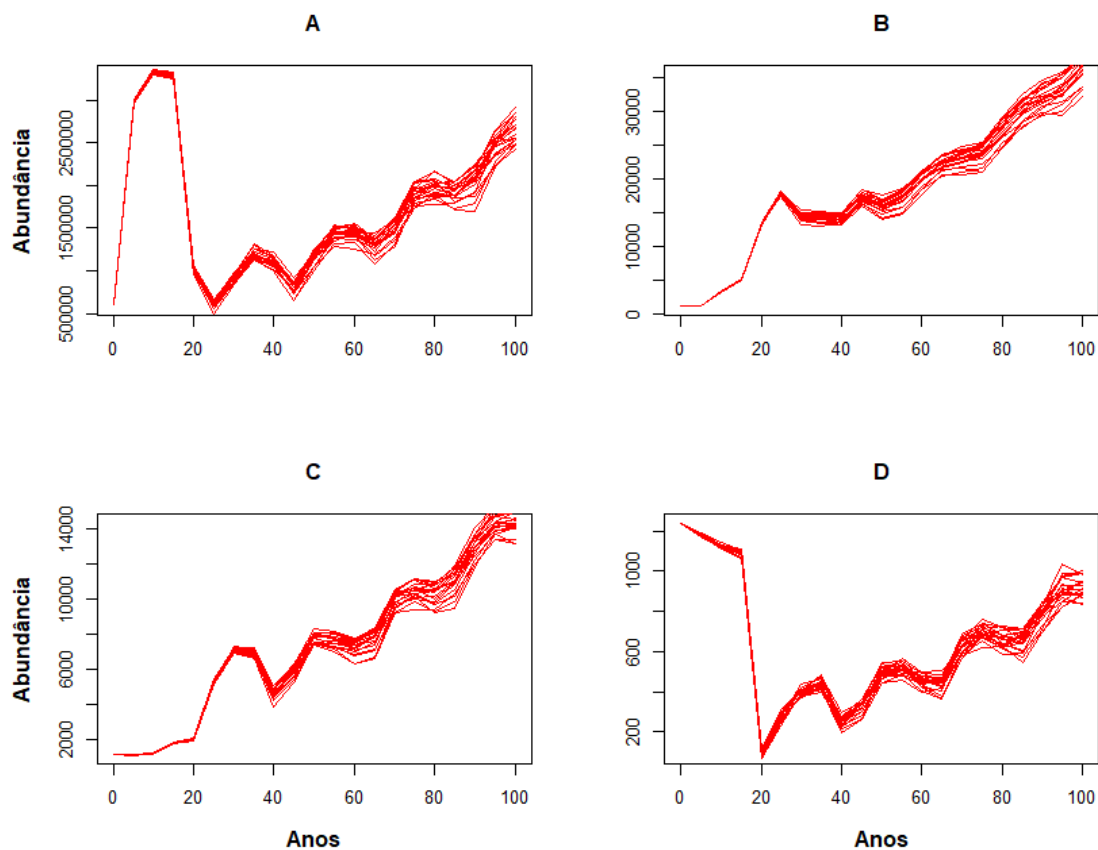
sim <- Simulation(Simulation = 0,
  Replicates = 20,
  Years = 100,
  Absorbing = TRUE,
  OutIntPop = 5,
  OutIntOcc = 5,
  OutIntRange = 5)

```

**Figura 11.** Parâmetros utilizados na simulação do modelo.

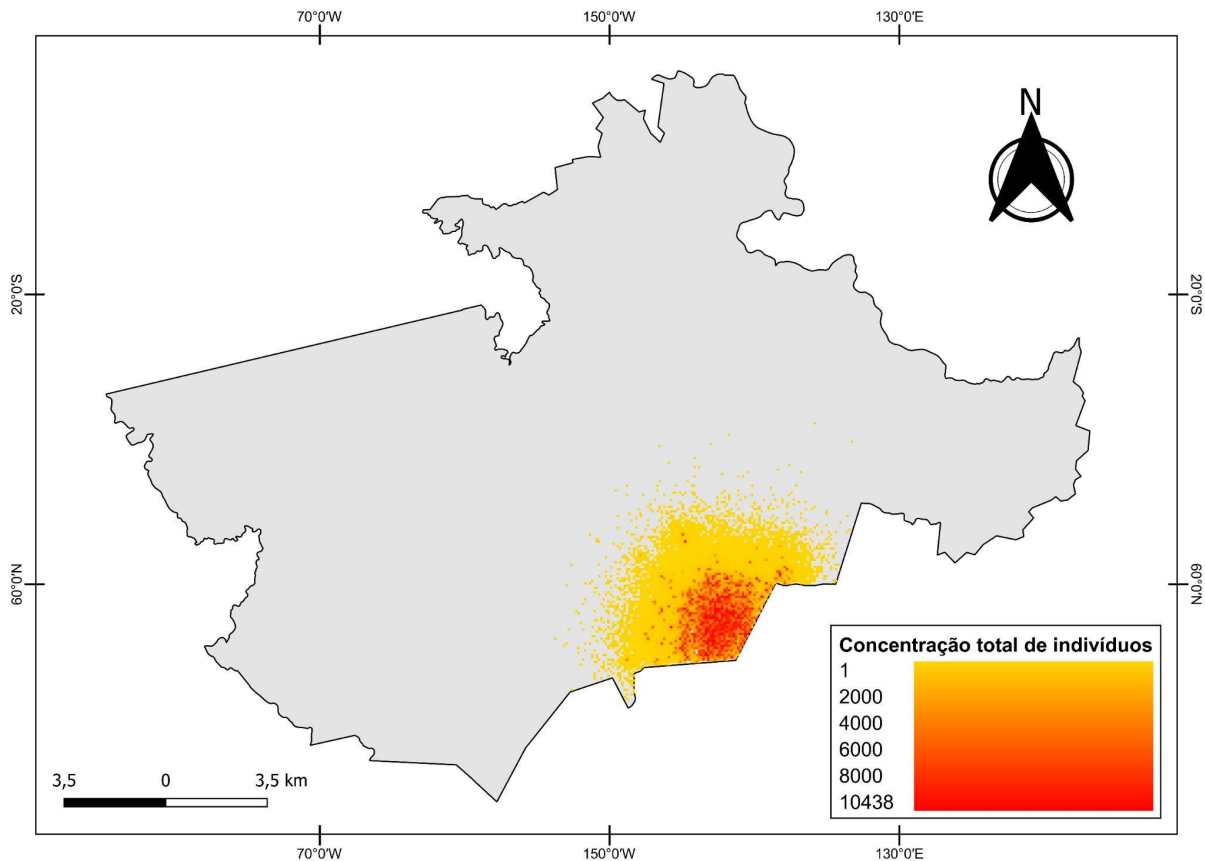
#### 4. RESULTADOS

Ao longo dos 100 anos de simulação ocorreu um aumento de mais de 300% na abundância de indivíduos totais (excluindo os indivíduos no estágio semente), passando de 599.974 indivíduos, adicionados no ano um do modelo, para cerca de 2.701.957 indivíduos ao final dos cem anos. Quando separados por estágios, o estágio de plântula possuiu cerca 2.650.162 indivíduos, equivalente a 98,08% do total (Figura 12 - A) após os 100 anos de modelagem, seguido do estágio de pré-adulto 1 com 36.417 indivíduos - 1,35% (Figura 12 - B), estágio de pré-adulto 2 com 14.456 indivíduos - 0,54% (Figura 12 - C) e por último o estágio de adultos com 920 indivíduos, cerca de 0,03% (Figura 12 - D).



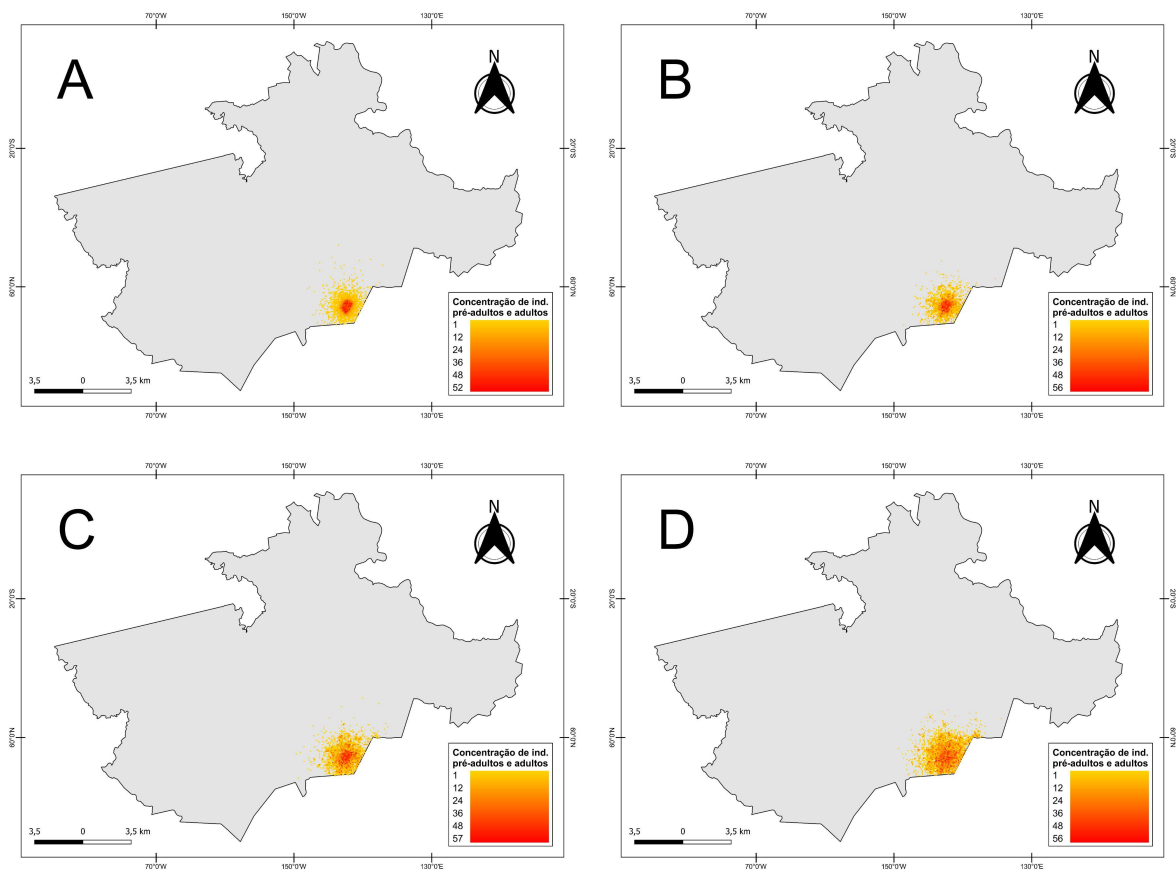
**Figura 12.** Gráficos de abundância referente aos diferentes estágios conforme os anos. (A) estágio plântula, (B) estágio pré-adulto 1, (C) estágio pré-adulto 2, (D) estágio adultos.

Em relação à ocupação da área pelos indivíduos totais, foram contabilizadas cerca de 4.142 células ocupadas ao longo dos 100 anos (Figura 13), lembrando que a área inicial possuía apenas 62 células. Ou seja, houve uma expansão de mais de quatro mil células. Essas novas células ocupadas representam aproximadamente cerca de 2.700 novos hectares ocupados com a *Euterpe edulis* na área do Parque Estadual Carlos Botelho.



**Figura 13.** Mapa da ocupação de todos os estágios do *Euterpe edulis* ao longo de 100 anos.

Todavia, a expansão apenas dos indivíduos pré-adulto 2 e adultos, considerados como os mais apropriados para observar de fato a expansão de indivíduos já estabelecidos na população, foi de 1.394 células (Figura 13). A evolução da ocupação também foi analisada cronologicamente. Entre o ano 0 até 25 anos (Figura 14 - A), obtivemos uma expansão de 500 ha, subsequentemente, nos anos 25-50 (Figura 14 - B) com 513 ha, 50-75 (Figura 14 - C) com 687 ha e por fim, no ano de 75-100 (Figura 14 - D) a ocupação foi de 900 ha. Vale ressaltar que a abundância e a área de ocupação finais, tanto considerando os indivíduos totais, como apenas os já estabelecidos (pré-adultos e adultos), seriam ainda maiores caso fosse considerada a área fora dos limites do parque.



**Figura 14.** Mapas de concentração da expansão de indivíduos pré-adultos 2 e adultos por hectare. (A) representação de 0 a 25 anos, (B) representação de 25 a 50 anos, (C) representação de 50 a 75 anos, (D) representação de 75 a 100 anos.

## 5. DISCUSSÃO

Os resultados do presente projeto evidenciam a importância da fauna na dispersão, e reforçam que um cenário com ausência de dispersores resulta em uma população de palmeira-juçara estática ou com expansão lenta sujeitas ao declínio populacional em consequência da redução da capacidade de sobrevivência, desencadeada pela perda de variabilidade genética. Desta forma, considera-se que a presença da fauna é essencial para a dispersão e fluxo de genes, neste caso realizada de modo manual por meio de drones.

Grandes vertebrados desempenham o papel importante na dispersão de sementes, considerando a sua extensa área de vida e também a capacidade de consumir elevada quantidade de frutos, os quais permanecem retidos no seu interior e consequentemente são transportados a longas distâncias (FRAGOSO, 1997), possibilitando a colonização de novas áreas pela palmeira-juçara e também garantido a viabilidade genética de suas populações. Tapirídeos são exemplos clássicos dessa função em ecossistemas (FRAGOSO *et al.*, 2003),

dentre os quais está a anta (*Tapirus terrestris*), representante desses ungulados no PECB (BROCARDI *et al.*, 2012; BUENO *et al.*, 2013). Apesar disso, estudos acerca da distância da dispersão da palmeira-juçara realizada por esse megafrugívoro não foram encontrados, nem mesmo para outros dispersores, ressaltando a necessidade de pesquisas envolvendo interações da fauna com a palmeira-juçara.

Cabe enfatizar que a eficiência da dispersão por vertebrados está atrelada ao seu comportamento, aos padrões de movimento e também ao modo como esses animais manipulam os frutos (BLEHER; BÖHNING-GAESE, 2001; STILES, 2000). Logo, especial atenção pode ser dada às aves, grupo que tem demonstrado maior diversidade de dispersores com maior eficiência na dispersão da palmeira-juçara quando comparada a outros vertebrados (GALETTI *et al.*, 2013).

Embora a dispersão em maiores quantidades e a longas distâncias seja realizada por aves pertencentes à família dos cracídeos (e.g. *Aburria jacutinga*) e tucanos (família Ramphastidae), os pequenos pássaros como sabiás (*Turdus* spp.) garantem uma forma homogênea de distribuição em escala local (GALETTI *et al.*, 2013; CARVALHO *et al.*, 2019). O deslocamento de sabiás a curta distância somado a deposição uma a uma de sementes longe da planta mãe proporciona a manutenção da variabilidade genética intrapopulacional, bem como baixa estrutura genética espacial aumentando a probabilidade de sobrevivência dos indivíduos, sendo então essencial a elevada densidade de populações da palmeira-juçara para a sua própria conservação (CARVALHO *et al.*, 2019).

Em suma, diferentes vertebrados frugívoros contribuem de forma distinta para a persistência da palmeira-juçara, executando funções que se complementam e sendo então imprescindível comunidades desses animais com composições diversas funcionalmente (JORDANO *et al.*, 2007) para expansão e também ocupação a longo prazo da palmeira-juçara.

A aplicação desse modelo para outras localidades é possível e fortemente incentivada. Isso pode ser executado através da alteração na quantidade de sementes presentes no lanço (*IndsHaCell*) e também no carregamento do mapa da respectiva área a ser repovoada, para a qual recomenda-se utilizar em formato *Raster*.

Sabe-se que os resultados obtidos serão aplicados no planejamento das próximas semeaduras, de modo a otimizar os espaços afetados pela dispersão e permitirão planejar futuros lanços de sementes. Assim, tendo em vista que os resultados permitem avaliar tanto a abundância quanto a expansão das populações e também quantificar a taxa de sobrevivência e a eficiência da quantidade dos bancos de sementes, a ocupação de indivíduos adultos sugere a

necessidade de maior número de núcleos de dispersão, ou seja, mais pontos de dispersão mecânica para a rápida colonização da área do Parque Estadual Carlos Botelho. Contudo, a longo prazo é possível especular a capacidade da espécie alvo em expandir suas populações, considerando o amplo estabelecimento dos estágios de plântulas e pré-adultos 1, desde que ações mitigadoras de ameaças sejam realizadas em conjunto, como a fiscalização ao corte de adultos em adição ao monitoramento do desenvolvimento das sementes lançadas.

Durante a elaboração do modelo foi necessário o uso de informações específicas referente à biologia da *E. edulis*, mas alguns dados da espécie foram encontrados. Desta forma, parte dos dados utilizados no modelo foram obtidos de estudos realizados em espécies semelhantes, especialmente palmeiras neotropicais. Nesse sentido, a escassez de dados reforça a importância de novas pesquisas voltadas para a espécie em questão e também em ambientes semelhantes ao do presente estudo. Entretanto, considera-se que o modelo elaborado possui um embasamento suficiente para a discussão dos cenários futuros da expansão da espécie, embora novos dados específicos sejam essenciais para a modelagem cada vez mais acurada. Para o aperfeiçoamento do modelo, os estudos recomendados são em relação a denso-dependência da espécie, distância de dispersão de sementes, taxa de sobrevivência em diferentes estágios e dados da área de estudo, neste caso sobre a área do Parque Estadual Carlos Botelho que apresenta as características citadas no tópico 3.1.

O presente estudo sugere uma validação do modelo, de modo a realizar uma calibragem com amostragens a cada aproximadamente cinco anos, nas Unidades de Conservação em que são utilizados o modelo. Considera-se essencial esse monitoramento, para que sejam avaliados o crescimento e a distribuição populacional, assim como as possíveis adversidades que os diferentes cenários podem apresentar. Desta forma, poderão ser avaliadas a eficácia da dispersão manual, além da verificação dos recursos utilizados, para que sejam otimizados e empregados corretamente.

## 6. CONCLUSÃO

Desta forma, pode-se concluir que os dados obtidos através do modelo descrito, representaram um potencial de expansão da espécie Palmeira-juçara, considerando um período de modelagem de 100 anos. Além disso, foi possível observar que a presença de fauna e um ambiente preservado são fundamentais para que haja uma dispersão eficaz, que impeça a extinção ou declínio das populações existentes.



Considera-se também que o modelo suporte a aplicação em outras áreas, como outras Unidades de Conservação, a fim de suprir necessidades de monitoramento e projeções futuras. A elaboração do modelo reconheceu uma necessidade de novos estudos da Palmeira-juçara, assim como para as suas áreas de ocorrência, cada vez mais sujeitas a fragmentação, deste modo, os futuros modelos poderão apresentar maior rigor em seus resultados, para assim torná-los mais realistas.

## APOIO



| Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOCEDI, G. *et al.* RangeShifter: a platform for modelling spatial eco-evolutionary dynamics and species' responses to environmental changes. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 5, p. 388–396, 2014.
- BOCEDI, G. *et al.* RangeShifter 2.0: An extended and enhanced platform for modelling spatial eco-evolutionary dynamics and species' responses to environmental changes. **bioRxiv**, p. 1-26, 2020.
- BRANCALION, P. H. *et al.* Soil-mediated effects on potential *Euterpe edulis* (Arecaceae) fruit and palm heart sustainable management in the Brazilian Atlantic Forest. **Forest Ecology And Management**, [S.L.], v. 284, p. 78-85, nov. 2012.
- BROCARD, C. R. *et al.* Mamíferos não voadores do Parque Estadual Carlos Botelho, *Continuum* florestal do Paranapiacaba. **Biota Neotropica**, v. 12, n. 04, p. 198-208, 2012.
- BUENO, R. S. *et al.* Functional Redundancy and Complementarities of Seed Dispersal by the Last Neotropical Megafrugivores. **PLoS One**, v 08, n.02, fev. 2013.
- BUTCHART, S. H. M. *et al.* Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. **Science**, v. 328, p. 1164-1168, mai. 2010.
- CAMPOS, R. C.; STEINER, J.; ZILLIKENS, A. Bird and mammal frugivores of *Euterpe edulis* at Santa Catarina island monitored by camera traps. **Studies On Neotropical Fauna And Environment**, [S.L.], v. 47, n. 2, p. 105-110, ago. 2012.
- CANALE, G. R. *et al.* Pervasive Defaunation of Forest Remnants in a Tropical Biodiversity Hotspot. **Plos One**, [S.L.], v. 7, n. 8, p. e-41671, 14 ago. 2012.
- CARDINALE, B. J. *et al.* Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486, p. 59-67, jun. 2012.
- CARVALHO, C. S. *et al.* El papel de los zorzales en el mantenimiento de la estructura y diversidad genética de una palma tropical. **Ecosistemas**, v. 28, n. 01, p. 26-34, 2019.
- CARVALHO, C. S. *et al.* Extant fruit-eating birds promote genetically diverse seed rain, but disperse to fewer sites in defaunated tropical forests. **Journal Of Ecology**, [S.L.], 12 nov. 2020.
- CHATTERJEE, S.; BASU, P. Avian frugivory and seed dispersal of a large fruited tree in an Indian moist deciduous forest. **Acta Oecologica**, [S.L.], v. 65-66, p. 32-40, maio 2015.
- COSTA, L. P. *et al.* Biogeography of South American Forest Mammals: Endemism and Diversity in the Atlantic Forest. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 872-881, 2000.

- COSTA, E. P. **Pode o açaí (*Euterpe precatoria* Mart.) ser parte importante no desenvolvimento socioeconômico das famílias extrativistas no Acre, Brasil?**. 2017. 60 f. Tese (Doutorado em Ciência Biológicas (Ecologia) - UFRJ: Programa de Pós-Graduação em Ecologia, RJ, 2016.
- DE SOUZA, A. C. **Influence of ecological process on the distribution and abundance of the palm *Euterpe edulis* in the Atlantic Forest**. 2016. 155 f. Tese (Doutorado em Ciência Biológicas (Ecologia) - UFRJ: Programa de Pós-Graduação em Ecologia, RJ, 2016.
- DÍAZ, S. *et al.* Biodiversity Loss Threatens Human Well-Being. **Plos Biology**, v. 04, n. 08, p. 1300-1305, ago. 2006.
- DOS SANTOS, J. *et al.* Estimating seed and pollen dispersal kernels from genetic data demonstrate a high pollen dispersal capacity for an endangered palm species. **American Journal of Botany**, v. 105, n.11, p. 1802-1812, 2018.
- EWERS, R. M.; DIDHAM, R. K. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. **Biological Reviews**, [S.L.], v. 81, n. 01, p. 117-142, 1 dez. 2005.
- FADINI, R. F. *et al.* Effects of frugivore impoverishment and seed predators on the recruitment of a keystone palm. **Acta Oecologica**, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 188-196, mar. 2009.
- FRAGOSO, J. M. V. Tapir-Generated Seed Shadows: Scale-Dependent Patchiness in the Amazon Rain Forest. **Journal of Ecology**, v. 85, n. 04, p. 519-529, 1997.
- FRAGOSO, J. M. V. *et al.* Long-distance seed dispersal by tapirs increases seed survival and aggregates tropical trees. **Ecology**, v. 84, n. 08, p. 1998-2006, 2003.
- FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Plano de trabalho Programa de Conservação da Palmeira-juçara (Pró-juçara) Dispersão antrópica de sementes juçaras em Unidades de Conservação de Proteção Integral em 7 UCs do Vale do Ribeira e 10 Núcleos do PESM, por meio de lançamento aéreo (Prévia)**. São Paulo, 16 p.
- GALETTI, M.; BOVENDORP, R. S.; GUEVARA, R. Defaunation of large mammals leads to an increase in seed predation in the Atlantic forests. **Global Ecology And Conservation**, [S.L.], v. 3, p. 824-830, jan. 2015.
- GALETTI, M. *et al.* Defaunation and biomass collapse of mammals in the largest Atlantic forest remnant. **Animal Conservation**, p. 01-12, 2016.
- GALETTI, M. *et al.* Functional Extinction of Birds Drives Rapid Evolutionary Changes in Seed Size. **Science**, v. 340, n. 6136, 1086–1090, 2013.

- GIANNINI, T. C. *et al.* Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v. 63, n. 3, p. 733-749, 2012.
- GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, v. 8, p. 993-1009, 2005.
- HEIKKINEN, R. K. *et al.* Modelling potential success of conservation translocations of a specialist grassland butterfly. **Biological Conservation**, v. 192, p. 200-206, 2015.
- HUNTLEY, B. *et al.* Beyond bioclimatic envelopes: dynamic species' range and abundance modelling in the context of climatic change. **Ecography**, v. 33, p. 621-626, 2010.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual técnico da vegetação brasileira**. IBGE, ed. 2, p. 1-271, 2012.
- IF (Instituto Florestal de São Paulo). **Inventário Florestal do Estado de São Paulo 2020**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente. Seção de Manejo e Inventário Florestal. 2020. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>>.
- JORDANO, P. *et al.* Differential contribution of frugivores to complex seed dispersal patterns. **PNAS**, v. 104, n. 09, p. 3278-3282. 2007.
- KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. **Fondo de Cultura Económica**, p. 478, 1948.
- LEAL, A. *et al.* Landscape-scale forest loss shapes demographic structure of the threatened tropical palm *Euterpe edulis* mart. (Arecaceae). **Forest Ecology And Management**, [S.L.], v. 502, p. 119716, dez. 2021.
- LUSKIN, M. S.; POTTS, M. D. Microclimate and habitat heterogeneity through the oil palm lifecycle. **Basic and Applied Ecology**, v. 12, n. 6, p. 540-551, 2011.
- MALCHOW, A. K. *et al.* RangeShiftR: an R package for individual-based simulation of spatial eco-evolutionary dynamics and species' responses to environmental changes. **Ecography**, v. 44, n. 10, p. 1443-1452, 2021.
- MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. (org.). **Livro Vermelho da Flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Conservação da Flora, 1100 p. 2013.
- MARTINS-CORDER, M. P.; SALDANHA, C. W. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de diferentes progênies de *Euterpe edulis* Mart. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 30, n. 5, p. 693-699, out. 2006.

- MATOS, D. M. S.; BOVI, M. L. A. Understanding the threats to biological diversity in southeastern Brazil. **Biodiversity And Conservation**, [S.L.], v. 11, n. 10, p. 1747-1758, 2002.
- MATOS, D. M. S.; WATKINSON, A. R. The fecundity, seed, and seedling ecology of the edible palm *Euterpe edulis* in Southeastern Brazil. **Biotropica**, v. 30, n. 4, p. 595-603, 1998.
- MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.
- OLIVEIRA, M. S. P. *et al.* *Euterpe oleracea* Martius: Açaizeiro, manicola palm, assai, palmier pinot, euterp palm, manacá, morroque, uassi, pina, prasara, qapoe, qasei. **PROCISUR**, p. 1-32, 2017.
- Projeto MapBiomias – **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 25 jan. 2021.
- REIS, M. S. D. *et al.* Management and Conservation of Natural Populations in Atlantic Rain Forest: The Case of Study of Palm Heart (*Euterpe edulis* Martius). **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 894-902, 2000.
- REZENDE, C. L. *et al.* From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 16, n. 4, p. 208-214, 2018.
- RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot. **Biodiversity Hotspots**, p. 405-434, 2011.
- RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009.
- ROBERTO, G. G.; HABERMANN, G. Morphological and physiological responses of the recalcitrant *Euterpe edulis* seeds to light, temperature and gibberellins. **Seed Science And Technology**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 367-378, 1 jul. 2010.
- SÃO PAULO (Estado). Instituto Florestal. **Plano de Manejo do Parque Estadual Carlos Botelho**. São Paulo, p. 1-546, 2008.
- SILVA, J. Z.; REIS, M. S. Consumption of *Euterpe edulis* fruit by wildlife: implications for conservation and management of the southern brazilian atlantic forest. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 91, n. 1, 2019.

- SILVA, J. Z. da; REIS, M. S. Fenologia reprodutiva e produção de frutos em *Euterpe edulis* (Martius). **Ciência Florestal**, v. 28, p. 295-309, 2018.
- SOARES, Leiza Aparecida Souza Serafim *et al.* Anthropogenic disturbances eroding the genetic diversity of a threatened Palm tree: A multiscale approach. **Frontiers in genetics**, p. 1090, 2019.
- STILES, E. W. Chapter 5: Animals as seed dispersers. In: FENNER, M. **Seeds: the ecology of regeneration in plant communities**. 2 ed. CABI Publishing, Oxon, United Kingdom, 2000. p. 111-120.
- VALVERDE, J. *et al.* Large herbivores regulate the spatial recruitment of a hyperdominant Neotropical palm. **Biotropica**, [S.L.], v. 53, n. 1, p. 286-295, 25 out. 2020.
- WENDLING, J. L. G; SANQUETTA, C. R.; AHRENS, S. Modelos matemáticos para crescimento e produção de peso de creme comestível de palmito, em árvores individuais de *Euterpe edulis* Mart. **Floresta**, v. 28, n. 1/2, 1998.