

USO DA BIOLOGIA MOLECULAR PARA ESTUDOS GENÉTICOS EM AÇAÍZEIROS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Hellen Sandra Freires da Silva Azêvedo¹, José Marlo Araújo de Azevedo², Lucielio Manoel da Silva³, Karina Martins⁴, Tatiana de Campos^{1,5}

1. Fundação Oswaldo Cruz, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal (Rede Bionorte), Porto Velho, Rondônia, Brasil;
2. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre;
3. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Rio Branco, AC, Brasil;
4. Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Sorocaba, São Paulo, Brasil;
5. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia (PPG CITA), Rio Branco, AC, Brasil.

RESUMO

Populações de açaizeiros na Amazônia são abundantes, possuem importância econômica e têm sido foco de diferentes estudos. Os açaizeiros destacam-se por produzir um importante alimento: a “polpa de açaí” extraída dos frutos. Nos últimos anos, a demanda pela polpa aumentou de forma expressiva por possuir características energéticas, nutritivas e altos teores de fibras e antioxidantes. A extração dos frutos é baseada no extrativismo e por isso, práticas de manejo têm sido recomendadas para uma coleta sustentável. Para se recomendar taxas sustentáveis de coleta dos frutos, é fundamental o levantamento de informações sobre a variabilidade genética das populações naturais, além do monitoramento sobre o recrutamento e a dinâmica populacional. A transferibilidade dos microssatélites tem trazido bons resultados entre locos desenvolvidos para *Euterpe edulis* e aplicados para estudos em *Euterpe oleracea* e *Euterpe precatoria*. Foi caracterizada ampla diversidade genética entre os acessos do banco ativo de germoplasma de *E. oleracea* situado na Embrapa Amazônia Oriental. Já nos Estados do Amazonas e do Acre, os valores encontrados foram de diversidade genética intermediários a baixos em populações de *E. precatoria*, com significativa estrutura genética espacial. Dados moleculares foram usados para identificação de uma coleção nuclear e para direcionar estratégias de conservação e coleta de sementes para conservação *in* e *ex situ* em *E. precatoria*. A genética molecular é uma ferramenta valiosa e está disponível para diversas aplicações em açaizeiro. A estimativa de parâmetros genéticos tem contribuído a cada dia para o conhecimento da genética da cultura.

Palavras-chave: açaí, diversidade molecular, *Euterpe*

ABSTRACT

Populations of açai palm in the Amazon are abundant, have economic importance and have been the focus of different studies. The açai palm stands out for producing an important food: the "açai pulp" extracted from the fruits. In recent years, demand for pulp has increased significantly because it has energy, nutritional characteristics and high levels of fiber and

antioxidants. The extraction of the fruits is based on the extractivism and therefore, management practices have been recommended for a sustainable collect. In order to recommend sustainable rates of fruit collect, it is essential to collect information on the genetic variability of natural populations, as well as monitoring on recruitment and population dynamics. The transferability of the microsatellites has brought good results among loci developed for *Euterpe edulis* and applied for studies in *Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*. It was characterized a wide genetic diversity between the accesses of the active germplasm bank of *E. oleracea* located in Embrapa. In the states of Amazonas and Acre, the values found were of intermediate to low genetic diversity in populations of *E. precatoria*, with a significant spatial genetic structure. Molecular data were used to identify a core collection and to direct conservation and seed collect strategies for in situ and ex situ conservation in *E. precatoria*. Molecular genetics is a valuable tool and is available for several applications in açai palm. The estimation of genetic parameters has contributed every day to the knowledge of the genetics of the culture.

Keywords: açai, molecular diversity, *Euterpe*

1. INTRODUÇÃO

As palmeiras estão entre as plantas de maior distribuição, dominância e valor econômico na floresta amazônica, e constituem uma das principais fontes de produtos florestais não madeireiros (PFNM's) (STEEGE et al., 2013; MARTINOT; PEREIRA; SILVA, 2017). Entre as diversas palmeiras, os açazeiros *Euterpe oleracea* Mart. e *E. precatoria* var. *precatoria* Mart. destacam-se devido ao valor agrônomo, econômico, nutricional, social e cultural por produzir um importante alimento: a “polpa de açai” extraída dos frutos (ARANGUREN; GALEANO; BERNAL, 2014; YUYAMA et al., 2011; YAMAGUCHI et al., 2015; CEDRIM; BARROS; NASCIMENTO, 2018). Embora *E. edulis* também produza frutos de açai, o seu principal produto comercial é o palmito (LORENZI, 2010; MONTEIRO, 2017). Devido a isso, a espécie *E. edulis* não será foco nas discussões deste capítulo.

Há muito tempo, indígenas, seringueiros, extrativistas e ribeirinhos realizam a colheita dos frutos de açazeiros. Atualmente, essa atividade é responsável pela sobrevivência de muitas famílias no estuário amazônico. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção de frutos de açazeiro, em 2017 foi de 219.885 mil toneladas, e a maior parte desta produção concentrou-se nos estados do Pará, Amazonas, Maranhão e Acre.

Nos últimos anos, a demanda pela polpa extraída dos frutos de açazeiro aumentou de forma expressiva nos mercados nacional e internacional, principalmente, por possuir características energéticas, nutritivas e alto teores de fibras e antioxidantes (YAMAGUCHI et al., 2015; CEDRIM; BARROS; NASCIMENTO, 2018), o que tem contribuído para o

aumento da exploração intensiva dos frutos, acelerando o processo extrativo em seus ambientes naturais.

Apesar da grande importância econômica do açazeiro *E. precatoria* e *E. oleracea* para o Brasil e dos níveis elevados de exploração, o conhecimento sobre a diversidade e estrutura genética em populações naturais ainda é restrito em várias áreas (KAGEYAMA et al., 2004; LIMA, 2014; AZÊVEDO et al., 2017), o que favorece a erosão genética face a exploração desse recurso sem um adequado plano de manejo (LIMA, 2014).

Estudos sobre a diversidade genética de *E. oleracea* e *E. precatoria* resultaram na caracterização da variabilidade existente nas populações nativas, e podem ser usados para a seleção de matrizes de açazeiro com caracteres agronômicos desejáveis em programas de melhoramento genético (OLIVEIRA et al., 2010; LIMA, 2014). Com as técnicas da biologia molecular, a caracterização pode ser feita com base em regiões do DNA polimórficas (VIEIRA et al., 2016).

Dentro de uma população natural, palmeiras geneticamente divergentes podem ser selecionadas com base no seu genótipo molecular, e podem ser preservadas em coleções de germoplasma, que, por sua vez, são utilizadas como referência para coleta de sementes e em estudos associados a programas de melhoramento genético (DÍEZ et al., 2012; AZÊVEDO, 2019).

Informações sobre a divergência genética entre palmeiras podem ser obtidas com o uso de marcadores moleculares. Os microssatélites são marcadores muito utilizados, pois são multialélicos, codominantes, apresentam elevado conteúdo informativo e alta probabilidade de amplificação heteróloga entre espécies próximas (KALIA et al., 2011; VIEIRA et al., 2016). Os microssatélites têm sido utilizados com sucesso na caracterização da diversidade de diversas espécies de palmeiras, entre elas o palmitero juçara (*E. edulis*) (Gaiotto; Grattapaglia; Vencovsky, 2003; Conte et al., 2008; Carvalho et al., 2015), o dendezeiro (*Elaeis guineensis*) (Hayati et al., 2004) e o tucumanzeiro (*Astrocaryum aculeatum*) (RAMOS et al., 2016).

Dentro do gênero *Euterpe*, estudos com microssatélites têm obtido êxito na amplificação heteróloga, o que amplia a sua utilização para estudos genéticos em espécies que não apresentam marcadores específicos desenvolvidos. Atualmente, existem disponíveis 18 locos microssatélites desenvolvidos para a espécie *E. edulis* (GAIOTTO; BRONDANI; GRATTAPAGLIA, 2001). Estes locos apresentaram polimorfismo e transferibilidade para *E. oleracea* (OLIVEIRA et al., 2010) e *E. precatoria* (KAGEYAMA et

al., 2004; LIMA, 2014; AZÊVEDO et al., 2017) o que permite sua utilização em estudos genéticos inter e intraespecíficos.

Para a espécie *E. precatoria* os microssatélites foram usados para avaliar a diversidade e estrutura genética espacial e o sistema reprodutivo em populações naturais (KAGEYAMA et al., 2004; LIMA, 2014; AZÊVEDO et al., 2017). Porém estes estudos foram realizados em poucas populações e somente em dois estados da região norte (Amazonas e Acre). Já para a espécie *E. oleracea* foram realizados estudos maiores, com germoplasma do Pará, Maranhão e Amapá, e observaram ampla diversidade (OLIVEIRA et al., 2010).

O açazeiro gera um PFM's de grande valor econômico para a região amazônica. A manutenção de suas populações dependerá de estratégias de manejo adequadas para a sua conservação. A intensa extração poderá resultar no estreitamento da variabilidade genética, devido às restrições na disseminação de sementes e, conseqüentemente, com reflexos no sucesso reprodutivo e na regeneração natural do açazeiro.

Para a elaboração de estratégias de manejo eficazes é essencial também que parâmetros genéticos sejam considerados. Assim, a quantificação da diversidade, estrutura genética espacial e da endogamia nas populações, poderão ajudar a determinar as medidas necessárias para a conservação genética *in situ* e *ex situ*, direcionando estratégias de coleta de frutos e sementes visando maximizar a diversidade genética para conservação e melhoramento do açazeiro na Amazônia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DESCRIÇÃO BOTÂNICA E ÁREA DE OCORRÊNCIA

O gênero *Euterpe* pertence à ordem Arecales, família Arecaceae (Palmae) e a subfamília Arecoideae (HENDERSON; GALEANO, 1996). O gênero possui 27 espécies, dentre elas estão as espécies *E. edulis*, *E. precatoria* e *E. oleracea* (HENDERSON; GALEANO 1996; HENDERSON, 2000). De acordo com estudos taxonômicos a espécie *E. precatoria* está dividida em duas variedades sendo *E. precatoria* var. *longevaginata* e *E. precatoria* var. *precatoria* (HENDERSON, 1995; LORENZI, 2010).

Euterpe precatoria apresenta monocaule ereto atingindo de 3 a 23 m de altura e 4 a 23 cm de diâmetro do estipe, sustentando um capitel de 5 a 10 folhas (HENDERSON, 1995;

YAMAGUCHI et al., 2015). Possui raízes adventícias continuamente na base do estipe, nas quais formam um anel espesso, de raízes aéreas (1,5 cm) de cor purpúreas que podem alcançar 80 cm do nível do solo. Produz de 3 a 4 cachos por ano, com uma variação de peso de 3 a 7 kg (ROCHA; VIANA, 2004; FERREIRA; SILVA; SOUZA, 2009). Os frutos são globosos, medindo 1,0-1,3 cm de diâmetro com apenas uma semente por fruto, com endosperma sólido e homogêneo (HENDERSON, 1995; LORENZI, 2010).

A espécie *E. precatória* é amplamente distribuída pela América Central (Belize, Guatemala, Honduras, Nicarágua, Costa Rica e Panamá) e norte da América do Sul (Colômbia, Venezuela, Trinidad, Guianas, Equador, Peru, Brasil e Bolívia) (HENDERSON, 1995). No Brasil, ocorre nos estados do Acre, Rondônia, Amazonas e Pará (HENDERSON, 1995; LORENZI, 2010).

De acordo com o ambiente onde cresce, a palmeira pode apresentar variações significativas em alguns de seus caracteres, especialmente o porte e o hábito. A var. *longevaginata* pode ser encontrada na América Central e Andes, e a var. *precatória* é mais restrita à bacia Amazônica (HENDERSON, 1995; LORENZI, 2010).

A espécie *E. oleracea* é uma palmeira cespitosa, multicaule com até 25 perfilhos por touceira (NASCIMENTO, 2008). As plantas adultas têm estipes de 3 a 20 m de altura e 7 a 18 cm de diâmetro. As folhas são compostas, pinadas com arranjo espiralado de 40 a 80 pares de folíolos. A inflorescência do tipo cacho possui flores estaminadas e pistiladas. A disposição das flores é ordenada em tríades, de tal forma que cada flor feminina fica ladeada por duas flores masculinas. O fruto é uma drupa globosa, de 1 a 2 cm de diâmetro. O sistema radicular é do tipo fasciculado, com raízes emergindo do estipe da planta adulta até 40 cm acima da superfície do solo (HENDERSON, 1995; HENDERSON; GALEANO 1996; NASCIMENTO, 2008).

A espécie *E. oleracea* ocorre no norte da América do Sul (Panamá, Equador, Trinidad, Guiana Francesa, Suriname, Venezuela e Colômbia (HENDERSON; GALEANO, 1996) e no Brasil ocorre nos estados do Pará, Amazonas, Maranhão e no Amapá.

As espécies *E. oleracea* e *E. precatória* são perenes, monóicas, apresentando dicogamia, do tipo protândria, possuindo na inflorescência flores unissexuais sésseis. A polinização é entomófila, com participação do vento e da gravidade na fecundação das flores (OLIVEIRA; MOCHIUTTI; FARIAS NETO, 2009).

2.2 USO E APLICAÇÕES

Os açazeiros *E. precatória* e *E. oleracea*, conhecidos popularmente como açai-solteiro e açai-de-touceira, respectivamente, podem ser aproveitados de forma integral.

A palmeira apresenta potencial de uso em paisagismo e em técnicas de recuperação de áreas degradadas (TEIXEIRA; SILVA, 2010; WADT et al., 2004). A gema apical é usada como palmito para alimentação humana, e pode ser consumida fresca, em saladas e em ração animal (WADT et al., 2004). As folhas são utilizadas em coberturas de casas e as fibras das folhas são utilizadas no artesanato na confecção de cestos, tapetes e chapéus (GALOTTA; BOAVENTURA; LIMA, 2008). O caule é empregado em construção civil rurais, cercas e lenha (TEIXEIRA; SILVA, 2010). As sementes são utilizadas como adubo orgânico e confecção de biojóias (brincos, pulseiras, colares, cortinas) e os cachos são utilizados na confecção de vassouras (WADT et al., 2004).

No entanto, as palmeiras *E. precatória* e *E. oleracea* destacam-se pela extração da polpa dos frutos, produto alimentar economicamente rentável (YAMAGUCHI et al., 2015). As partes mais utilizadas dos frutos são o epicarpo e mesocarpo, de onde é produzido a polpa do açai, que pode ser comercializado *in natura* para a fabricação de sorvete, geleia, cremes, iogurtes, molhos e licores (TEIXEIRA; SILVA, 2010).

A polpa de açai recebeu muita atenção nos últimos anos como uma das novas "superfrutas" (YAMAGUCHI et al., 2015). O consumo desse produto vem aumentando, principalmente devido ao valor nutricional (CEDRIM; BARROS; NASCIMENTO, 2018).

Estudos verificaram que a polpa reúne características essenciais à nutrição humana como fonte de energia, fibra alimentar, minerais (cálcio, potássio, zinco, magnésio), ácidos graxos oleicos e linoleicos e antocianinas (YUYAMA et al., 2011; CEDRIM; BARROS; NASCIMENTO, 2018). Foram identificados também bioatividades anti-inflamatórias e propriedades antioxidantes com diferentes níveis de ações entre as duas espécies (KANG et al., 2012). Kang et al. (2012) constaram que na polpa de *E. precatória* existem atividades antioxidantes superiores à polpa da espécie *E. oleracea*.

A suplementação de polpa de açai, *E. oleracea* e *E. precatória* liofilizada na dieta de ratos ocasionou aumento da memória de trabalho dos animais e reduziu o fator de necrose tumoral (CAREY et al., 2017). Segundo os pesquisadores estes resultados podem estar relacionados com as propriedades antioxidante e anti-inflamatória da polpa.

Pesquisas com a raiz da espécie *E. precatória* identificaram atividade citotóxica, antioxidante e antiofídica (GALOTTA; BOAVENTURA; LIMA, 2008). Conforme relatado pelos pesquisadores, foi justificado o uso da planta na medicina tradicional por brasileiros

e peruanos como anti-inflamatória, para curar doenças renais e hepáticas e contra picadas de cobras.

2.3 ESTUDOS EM POPULAÇÕES DE AÇAIZEIROS

A crescente procura pelos frutos de açazeiros torna a exploração extrativista inviável para suprir a demanda, sendo necessário desenvolver estudos visando à domesticação, ao melhoramento genético e à produção comercial. Graças ao interesse na polpa nos mercados nacional e internacional, alguns estudos têm sido realizados visando a produção comercial de pomares de açazeiro (MARTINOT; PEREIRA; SILVA, 2017; VIEIRA et al., 2018).

No estado do Pará a espécie *E. oleracea* tem sido manejada em áreas de baixio, e o plantio está expandindo-se em áreas de terra firme. Áreas de terra firme de cultivos agrícolas abandonados ou áreas degradadas estão sendo convertidas em áreas de açazeiro cultivado (FARIAS NETO; RESENDE; OLIVEIRA, 2011). Nas áreas inundáveis está ocorrendo o processo de transformação da floresta em quase monocultivo da espécie (HOMMA, 1993). Nestas áreas, os extratores mantêm elevada densidade de indivíduos de açai (200 estipes.ha⁻¹) (FREITAS et al., 2015).

A expansão de áreas plantadas de terra firme de açazeiro (*E. oleracea*) em algumas regiões do país deve-se ao lançamento da cultivar BRS-Pará. Esta cultivar foi selecionada no programa de melhoramento genético da Embrapa Amazônia Oriental. A cv. BRS-Pará apresentou produtividade de frutos de 10 t/ha/ano e rendimento de polpa de 15% a 25% (OLIVEIRA; FARIA NETO, 2004). O peso médio de 100 frutos foi de 158 g e a produção média por planta foi de 3 kg e 1.952 frutos (COSTA et al., 2014). O retorno econômico gerado desde a adoção da tecnologia foi estimado em R\$ 36 milhões a cadeia produtiva (EMBRAPA, 2015). Já existem áreas plantadas com esta cultivar nos estados de Rondônia, Acre, São Paulo e Maranhão.

Para a espécie *E. precatoria* a colheita dos frutos é baseada ainda no extrativismo nas florestas nativas do Acre, Amazonas e Rondônia (MARTINOT; PEREIRA; SILVA, 2017; VIEIRA et al., 2018). Segundo Martinot, Pereira e Silva (2017) para esta espécie já está ocorrendo mudança da dominância do extrativismo para a combinação do extrativismo com o plantio.

Segundo o IBGE (2017), as palmeiras *E. oleracea* e *E. precatoria* produziram 219.885 mil toneladas de frutos, considerando ambos os cultivos plantados e extrativista. O Pará é o principal estado produtor, seguido pelo Amazonas, Maranhão, Acre e Rondônia. O

açazeiro apresentou o maior valor entre os PFM's, participando com 69,4% do valor total obtido, o fruto de açazeiro destacou-se também com relação ao valor da produção, sendo gerado um valor de R\$ 480,6 milhões (IBGE, 2016).

Na floresta nativa, o açazeiro produz fruto o ano todo (JARDIM; KAGEYAMA, 1994). Na Ilha do Combu no Pará o pico de floração do açazeiro *E. oleracea* ocorre nos meses de fevereiro a maio correspondendo ao período da estação mais chuvosa. Já a frutificação apresenta o pico de produção de junho a outubro e de fevereiro a abril (JARDIM; KAGEYAMA, 1994).

Para a espécie *E. precatoria* é possível observar variação no período de frutificação dependendo do local de ocorrência da palmeira (terra firme ou baixio). No município de Xapuri, o período de frutificação ocorre de abril a setembro e em junho a frutificação está no final na área de baixio e iniciando-se na terra firme (ROCHA, 2002). No município de Feijó, o período de frutificação em áreas de baixio ocorre nos meses de janeiro a maio, e em terra firme o pico de produção ocorre mais tarde, de maio até agosto (SILVA, 2011).

Embora tenha ocorrido a expansão comercial dos frutos de açazeiro *E. oleracea* e *E. precatoria* nas últimas décadas, estudos moleculares com populações naturais e bancos de germoplasma ainda são raros (SOUZA, 2002; KAGEYAMA et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2010; LIMA, 2014; AZÊVEDO et al., 2017; AZÊVEDO, 2019), quando comparados com os estudos moleculares já realizados com a espécie *E. edulis* (GAIOTTO; BRONDANI; GRATTAPAGLIA, 2001; GAIOTTO; GRATTAPAGLIA; VENCOSKY, 2003; CONTE; REIS; VENCOSKY, 2006; CONTE et al., 2008; MARTINS-CORDER et al., 2009; VIEIRA et al., 2010; CARVALHO et al., 2015).

Pesquisadores interessados na conservação da espécie *E. edulis* desenvolveram 18 marcadores microssatélites (GAIOTTO; BRONDANI; GRATTAPAGLIA, 2001). Com estes marcadores foi possível observar em duas populações de *E. edulis* no Parque Nacional de Brasília, uma alta probabilidade de parentesco dentro de famílias de polinização aberta, variação genética interpopulacional e a ocorrência de fluxo gênico a longas distâncias (GAIOTTO; GRATTAPAGLIA; VENCOSKY, 2003). Conte, Reis e Vencovsky (2006) comparando duas populações não perturbadas com duas populações exploradas de *E. edulis* no sul do Brasil utilizando 10 microssatélites, observaram altos valores de diversidade genética e similares entre as diferentes populações, no entanto, valores mais expressivos de endogamia foram observados nas duas populações exploradas.

A conservação de sítios de microssatélites entre espécies relacionadas torna possível a transferência destes para outras espécies. Oliveira et al. (2010) transferiu sete dos

microsatélites desenvolvidos por Gaiotto, Brondani e Grattapaglia (2001) em 116 acessos de açaizeiro (*E. oleracea*) conservados *in vivo* no banco de germoplasma da Embrapa Amazônia Oriental no Pará, e confirmaram a transferibilidade e diversidade genética. Os autores acreditam que a ampla diversidade genética observada pode estar relacionada aos ambientes de coleta que estavam localizados no centro de diversidade da espécie (OLIVEIRA et al., 2010). Eles observaram a formação de seis grupos geneticamente distintos dentro do banco de germoplasma e puderam indicar acessos para compor programas de melhoramento, com características desejáveis para frutos.

O sucesso da transferibilidade dos microsatélites de *E. edulis* também foi observado para *E. precatoria*. Os trabalhos realizados por Kageyama et al. (2004), Lima (2014) e Azêvedo et al. (2017) verificaram diversidade nas populações estudadas. Porém estes estudos foram realizados em poucas populações da região norte.

Recentemente, Azêvedo (2019) realizou estudo com 96 indivíduos, provenientes de floresta ombrófila aberta de baixio (8° 20' 31" S, 45° 37' 41" W, altitude média de 231 m), localizada na Terra Indígena Kaxinawá de Nova Olinda, no município de Feijó, Acre (FIGURA 1). A densidade populacional era de 42 palmeiras/hectare. As coletas tiveram autorização da FUNAI 451/2014, SISBIO 50570/2015 e SISGEN A6A46CC.

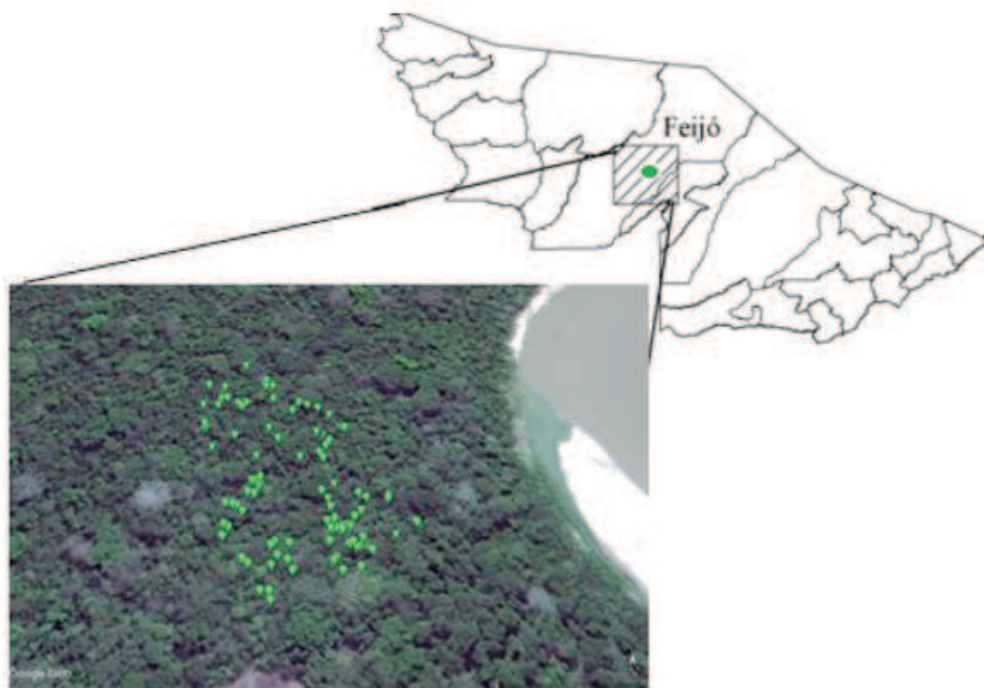


Figura 1. Localização geográfica da população de *Euterpe precatoria*, na Terra Indígena Kaxinawá de Nova Olinda, município Feijó, Estado do Acre.

O uso de microssatélites heterólogos revelou baixo valor de diversidade genética na população estudada, com média de 4,3 alelos por loco (AZÊVEDO, 2019). Resultado similar (4,75 alelos/loco) foi observado por Kageyama et al. (2004) ao testar quatro locos desenvolvidos para *E. edulis* em 170 indivíduos de duas populações nativas de *E. precatória*. Lima (2014) observou valor médio de 6,4 alelos/loco avaliando 63 palmeiras de três populações de *E. precatória*.

Foram observados também baixos valores médios de heterozigosidade esperada (0,292) e observada (0,291). Observa-se que diferentes espécies de palmeiras avaliadas com locos específicos apresentaram estimativas de heterozigosidades em torno de 0,5 (CONTE et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2014; RAMOS et al., 2016). Quando foram utilizados locos transferidos de outras espécies, apresentaram valores inferiores a 0,3 (OLIVEIRA et al., 2017). Portanto, é possível sugerir que o baixo polimorfismo observado por Azêvedo (2019) esteja associado ao uso de locos heterólogos.

Ao analisar a estrutura genética espacial, Azêvedo (2019) verificou que foi significativa até a distância aproximada de 50 metros, o que significa que indivíduos que ocorrem próximos entre si até esta distância são mais relacionados geneticamente (FIGURA 2A). O baixo valor de estruturação encontrado (coancestria = 0,0118) parece ser característico da espécie *E. precatória*, provavelmente devido à alta densidade de indivíduos adultos (ROCHA; VIANA, 2004; STEEGE et al., 2013; LIMA, 2014) e a eficiência de dispersão do pólen e da semente por longa e curta distância (LIMA, 2014; CARVALHO et al., 2015).

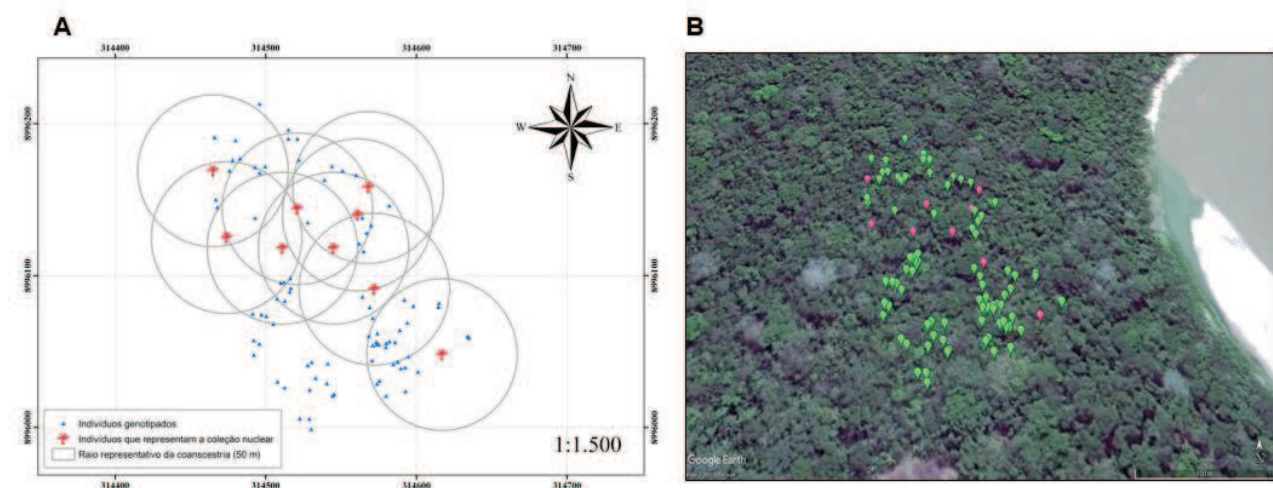


Figura 2. Distribuição espacial 96 indivíduos de *Euterpe precatória* genotipados. **A)** Identificação dos indivíduos que compõem a coleção nuclear e o raio representativo da análise de coancestria. **B)** Localização espacial 96 indivíduos de *Euterpe precatória* na floresta de baixo e indivíduos (cor rosa) que compõem a coleção nuclear.

Lima (2014) no estudo com populações naturais de *E. precatoria* nos municípios de Codajás, Manacapuru e Manaquiri, no baixo rio Solimões no estado do Amazonas verificou que a análise de estrutura espacial com o coeficiente de coancestria por classes de distância identificou maior grau de parentesco até 53 km.

Com o objetivo de identificar os indivíduos que representassem toda a diversidade da população total estudada, Azêvedo (2019) realizou a análise de coleção nuclear. A coleção nuclear identificada foi composta por nove palmeiras, dentre as 96 analisadas e dispersas numa área de 4,5 ha, com a conservação de 100% dos alelos da população (FIGURA 2B). As coleções nucleares são ferramentas valiosas para conservar e avaliar os recursos genéticos de forma mais eficaz (DÍEZ et al., 2012). Sendo assim, as nove palmeiras identificadas podem ser referências de manutenção da variabilidade da população. Dentro de um programa de conservação, como forma de prevenção de erosão genética, seus frutos não devem ser coletados para consumo, mas podem ser usados para a conservação *ex situ*.

A conservação *in situ* dos indivíduos da coleção nuclear de *E. precatoria* é uma estratégia relevante que objetiva conservar a diversidade genética de toda a população, e também preserva os habitats onde a espécie ocorre, visando a manutenção das interações entre os organismos e os processos evolutivos associados (SIMON, 2010).

A exploração intensiva de *E. edulis* sem plano de manejo adequado desde a década de 40, resultou na eliminação de várias populações e em grave alteração de populações remanescentes (REIS et al., 2000). Por esses motivos, a espécie encontra-se na Lista Brasileira das Espécies Ameaçadas de Extinção (BRASIL, 2008).

Assim, as populações sob intenso processo extrativista precisam de monitoramento e estratégias de uso consciente do recurso genético. Outro parâmetro genético que pode contribuir para o plano de conservação é a incorporação da análise de coancestria. Azêvedo (2019) aponta que a coletas de sementes para conservação da espécie *E. precatoria* não deve ocorrer entre palmeiras distantes a menos de 50 metros entre elas, a fim de evitar a coleta de sementes entre indivíduos aparentados. Portanto, verifica-se que a definição da coleção nuclear, juntamente com a coancestria são análises robustas e que podem ser utilizadas em conjunto para a elaboração de estratégias de conservação *in* e *ex situ* de *E. precatoria*.

Conhecer geneticamente populações de açazeiros pode contribuir para o aumento da produtividade e para a conservação efetiva, sem comprometer o uso do recurso. A partir de dados moleculares, os parâmetros genéticos podem servir como ferramentas práticas

de identificação de matrizes em uma população natural e para identificar a distância mínima entre elas recomendada para coleta. Assim é possível selecionar indivíduos com variabilidade genética minimizando a endogamia e evitando a erosão genética.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O açaizeiro contribui diretamente com a segurança alimentar dos povos da floresta, devido ao seu valor econômico, além de contribuir com a geração de renda e, conseqüentemente com a melhoria da vida dos extrativistas. Neste sentido é essencial avançar em estudos que possam ser aplicados para a manutenção da produção extrativista e a conservação genética dos açaizeiros. Estudos já identificaram como uma população natural pode ser conservada, sem comprometer o extrativismo. Hoje, o uso consciente dos recursos genéticos pode ser feito graças aos avanços a nível molecular associados a parâmetros estatísticos.

4. REFERÊNCIAS

ARANGUREN, C.I.; GALEANO, G.; BERNAL, R. Manejo actual del asaí (*Euterpe precatoria* Mart.) para la producción de frutos en el sur de la amazonia colombiana. **Colombia Forestal.**, v. 17, n. 1, p. 77-99, 2014.

AZÊVEDO, H.S.F.S. **Estudo da diversidade genética de populações naturais de açaizeiro (*Euterpe precatoria* Mart.)**. 2019. (Tese) Doutorado em Biotecnologia e Biodiversidade – Fundação Oswaldo Cruz, Brasil, 2019.

AZÊVEDO, H.S.F.S.; BENVINDO, F.D.; CAVALCANTE, L.N.; HAVERROTH, M.; WADT, L.H.O.; CAMPOS, T. Transferability of heterologous microsatellite loci between species of *Euterpe* genus. **Genetics and Molecular Research.**, v. 16, n. 4, p. 1-7, 2017.

BRASIL. **Instrução Normativa Nº 6, de 23 de setembro de 2008**. Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção. Diário Oficial da União, Brasília, n. 185, (Seção 1), p. 75-83. 2008.

CAREY, A.N.; MILLER, M.G.; FISHER, D.R.; BIELINSKI, D.F.; GILMAN, C.K.; POULOSE, et al. Dietary supplementation with the polyphenol-rich açai pulps (*Euterpe oleracea* Mart. and *Euterpe precatoria* Mart.) improves cognition in aged rats and attenuates inflammatory signaling in BV-2 microglial cells. **Nutritional Neuroscience.**, v. 20, n. 4, p. 238-245. 2017.

CARVALHO, C.S.; RIBEIRO, M.C.; CÔRTEZ, M.C.; GALETTI, M.; COLLEVATTI, R.G. Contemporary and historic factors influence differently genetic differentiation and diversity in a tropical palm. **Heredity.**, v. 115, n. 3, p. 1-9, 2015.

CEDRIM, P.C.A.S.; BARROS, E.M.A.; NASCIMENTO, T.G. Propriedades antioxidantes do açaí (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica. **Brazilian Journal of Food Technology**., v. 21, p. e2017092, 2018.

CONTE, R.; REIS, M.S.; MANTOVANI, A.; VENCovsky, R. Genetic Structure and Mating System of *Euterpe edulis* Mart. Populations: A Comparative Analysis Using Microsatellite and Allozyme Markers. **Journal of Heredity**., v. 99, n. 5, p. 476-482, 2008.

CONTE, R.; REIS, M.S.; VENCovsky, R. Effects of management on the genetic structure of *Euterpe edulis* Mart. populations based on microsatellites. **Scientia Forestalis**., n. 72, p. 81-88, 2006.

COSTA, P.S.; MORAES, K.K.S.; BELO, F.C.; CIPRIANI, H.N.; BATISTA, E.R.N.; CAMELO, J.C. Produção inicial de frutos num plantio de açaí em porto velho, Rondônia. **Revista Farociência**., v. 1, p. 1-5, 2014.

DÍEZ, C.M.; IMPERATO, A.; RALLO, L.; BARRANCO, D.; TRUJILLO, I. Worldwide Core collection of Olive cultivars based on simple sequence repeat and Morphological Markers. **Crop Science**., v. 52, n. 1, 2012.

EMBRAPA. **Cultivar de açaizeiro BRS pará já gerou R\$ 36 milhões de benefícios**. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/amazonia-oriental/busca-de-noticias/-/noticia/8248817/cultivar-de-acaizeiro-brs-para-ja-gerou-r-36-mi-de-beneficios>> acesso em 20/02/2019.

FARIAS NETO, J.T.; RESENDE, M.D.V.; OLIVEIRA, M.S.P. Seleção simultânea em progênies de açaizeiro Irrigado para produção e peso do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**., v. 33, n. 2, p. 532-539, 2011.

FERREIRA, E.J.L.; SILVA, R.F.; SOUZA, R.A.P.H.E. Aspectos extrativistas e mercadológicos da cadeia produtiva do açaí-solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.) em Rio Branco, Acre. **VII Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais**, 2009.

FREITAS, M.A.B.; VIEIRA, I.C.G.; ALBERNAZ, A.L.K.M.; MAGALHÃES, J.L.L.; LEES, A.C. Floristic impoverishment of Amazonian floodplain forest managed for açaí fruit production. **Forest Ecology and Management**., v. 351, n. 1, p. 20-27, 2015.

GAIOTTO, F.A.; BRONDANI, R.P.V.; GRATTAPAGLIA, D. Microsatellite markers for heart of palm *Euterpe edulis* and *E. oleracea* Mart. (Palmae). **Molecular Ecology Notes**., v. 1, p. 86-88, 2001.

GAIOTTO, F.A.; GRATTAPAGLIA, D.; VENCovsky, R. Genetic structure, mating system, and long-distance gene flow in heart of palm (*Euterpe edulis* Martius). **Journal of Heredity**., v. 94, n. 5, p. 399-406, 2003.

GALOTTA, A.L.Q.A.; BOAVENTURA, M.A.D.; LIMA, L.A.R.S. Antioxidant and cytotoxic activities of 'açaí' (*Euterpe precatoria* Mart.). **Química Nova**., v. 31, n. 6, p. 1427-1430, 2008.

HAYATI, A.; WICKNESWARI, R.; MAIZURA, I.; RAJANAIDU, N. Genetic diversity of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) germoplasm collections from Africa: implications for 54

improvement and conservation of genetic resources. **Theoretical Applied Genetic.**, v. 108, n. 7, p. 1274-1284, 2004.

HENDERSON, A. The genus *Euterpe* in Brazil. In: REIS, M.S.; REIS, A. (Eds.) *Euterpe edulis Martius – (Palmitheiro) biologia, conservação e manejo*. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 2000.

HENDERSON, A. **The palms of the Amazon**. University Press, 1995.

HENDERSON, A.; GALEANO, G. *Euterpe, Prestoea, and Neonicholsonia (Palmae: Euterpeinae)*. New York Botanical Garden, 1996.

HOMMA, A.K.O. **Extrativismo vegetal na Amazônia: limites e oportunidades**. EMBRAPA, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2016. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Disponível em: <[http/ www.ibge.gov.br/](http://www.ibge.gov.br/)> acesso em: 11/01/2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2017. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Disponível em: <[http/ www.ibge.gov.br/](http://www.ibge.gov.br/)> acesso em: 07/11/2018.

JARDIM, M.A.G.; KAGEYAMA, P.Y. Fenologia de floração e frutificação em população natural de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no estuário amazônico. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais.**, n. 47, p. 62-65, 1994.

KAGEYAMA, P.Y.; CARON, D.; GANDARA, F.B.; MARTINS, K.; WADT, L.H.O.; LACERDA, C.M.B.; et al. Genetic and ecological aspects of nonwood forest product exploitation in two western Amazonian settlements. In: VINCETI, B.; AMARAL, W.; MEILLEUR, B. (Org.). **Challenges in managing forest genetic resource for livelihoods: examples from Argentina and Brazil**. International Plant Genetic Resources Institute, 2004.

KALIA, R.K.; RAI, M.K.; KALIA, S.; SINGH, R.; DHAWAN, A.K. Microsatellite markers: an overview of the recent progress in plants. **Euphytica.**, v. 177, n. 3, p. 309-334, 2011.

KANG, J.; THAKALI, K.M.; XIE, C.; KONDO, M.; TONG, Y.; OU, B.; et al. Bioactivities of açai (*Euterpe precatoria* Mart.) fruit pulp, superior antioxidant and antiinflammatory properties to *Euterpe oleracea* Mart. **Food Chemistry.**, v. 133, p. 671-677, 2012.

LIMA, P.P. **Caracterização da variabilidade genética, sistema de cruzamento e parâmetros de germinação e emergência de *Euterpe precatoria* Martius em populações do baixo rio Solimões**. 2014. (Dissertação) Mestrado em Ciências Agrárias, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 2014.

LORENZI, H. **Flora brasileira: Arecaceae (palmeiras)**. Plantarum, 2010.

MARTINOT, J.F.; PEREIRA, H.S.; SILVA, S.C.P. Coletar ou Cultivar: as escolhas dos produtores de açai-da-mata (*Euterpe precatoria*) do Amazonas. **Revista de Economia e Sociologia Rural.**, v. 55, n. 4, p. 751-766, 2017.

MARTINS-CORDER, M.P.; FIALHO, L.E.B.; ZAMBIAZI, D.C.; KONZEN, E.R. Diversidade genética em populações de *Euterpe edulis* Martius do Rio Grande do Sul, através de marcadores isoenzimáticos. **Revista Ceres.**, v. 56, n. 1, p. 204-213, 2009.

MONTEIRO, R.B. **Estrutura e distribuição espacial de *Euterpe edulis* em um fragmento florestal no município de Alegre-ES.** (Monografia) Graduado em Engenheiro Florestal - Universidade Federal do Espírito Santo, 2017.

NASCIMENTO, W.M.O. **Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). Informativo técnico Rede de sementes da Amazônia.** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2008.

OLIVEIRA, L.D.S.; RAMOS, S.L.F.; LOPES, M.T.G.; DEQUIGIOVANNI, G.; VEASEY, E.A.; MACÊDO, J.L.V.; et al. Genetic diversity and structure of *Astrocaryum jauari* (Mart.) palm in two Amazon river basins. **Crop Breeding and Applied Biotechnology.**, v. 14, n. 3, p. 166-173, 2014.

OLIVEIRA, M.S.P.; FARIAS NETO, J.T. **Cultivar BRS-Pará: Açaizeiro para Produção de Frutos em Terra Firme.** Embrapa Amazônia Oriental, 2004. (Comunicado Técnico, 114).

OLIVEIRA, M.S.P.; MOCHIUTTI, S.; FARIAS NETO, J.T. Domesticação e melhoramento do Açaizeiro. In: BORÉM A, LOPES, M.T, CLEMENT, C.R. **Domesticação e Melhoramento – Espécies Amazônicas.** Universidade Federal de Viçosa, 2009.

OLIVEIRA, M.S.P.; SANTOS, J.B.; AMORIM, E.P.; FERREIRA, D.F. Variabilidade genética entre acessos de açaizeiro utilizando marcadores microssatélites. **Ciência e Agrotecnologia.**, v. 34, n. 5, p. 1253-1260, 2010.

OLIVEIRA, N.P.; OLIVEIRA, M.S.P.; DAVIDE, L.C.; KALISZ, S. Population genetic structure of three species in the genus *Astrocaryum* G. Mey. (Arecaceae). **Genetics and Molecular Research.**, v. 16, n. 3, p. 1-13, 2017.

RAMOS, S.L.F.; DEQUIGIOVANNI, G.; SEBBENN, A.M.; LOPES, M.T.G.; KAGEYAMA, P.Y.; MACÊDO, J.L.V.; et al. Spatial genetic structure, genetic diversity and pollen dispersal in a harvested population of *Astrocaryum aculeatum* in the Brazilian Amazon. **BMC Genetics.**, v. 17, p. 63-73, 2016.

REIS, M.S.; FANTINI, A.C.; NODARI, R.O.; REIS, A.; GUERRA, P.M.; MANTOVANI, A. Management and Conservation of Natural Populations in Atlantic Rain Forest: The Case Study of Palm Heart (*Euterpe edulis* Martius). **Biotropica.**, v. 32, n. 4, p. 894-902, 2000.

ROCHA, E. **Aspectos ecológicos e sócio-econômicos do manejo de *Euterpe precatoria* Mart. (Açaí) em áreas extrativistas no Acre, Brasil.** (Dissertação) Mestrado em Engenharia Ambiental - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

ROCHA, E.; VIANA, V.M. Manejo de *Euterpe precatoria* Mart. (açaí) no seringal Caquetá, Acre, Brasil. **Scientia Florestalis.**, n. 65, p. 59-69, 2004.

SILVA, M.G. **Relatório Técnico: Mapeamento da cadeia produtiva da polpa do açaí (WWF).** 2011.

SIMON, M.F. **Manual de curadores de germoplasma – vegetal: conservação *in situ*.** Embrapa Recursos genéticos e biotecnologia, 2010. (Documentos 322).

SOUZA, P.C.A. **Aspectos ecológicos e genéticos de uma população natural de *Euterpe oleracea* Mart. no estuário amazônico.** (Dissertação) Mestrado em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2002.

STEEGE, T.H.; PITMAN, N.C.; SABATIER, D.; BARALOTO, C.; SALOMÃO, R.P.; GUEVARA, J. E.; et al. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. **Sciencev.**, 342, p. 1243092-1243097, 2013.

TEIXEIRA, G.A.; SILVA, J.N. A morfologia e o uso da espécie *Euterpe precatoria* Mart. na Amazônia. **61º Congresso Nacional de Botânica**, 2010.

VIEIRA, A.H.; RAMALHO, A.R.; ROSA NETO, C.; CARARO, D.C.; COSTA, J.N.M.; VIEIRA JÚNIOR, J.R.; et al. **Cultivo do Açaizeiro (*Euterpe oleracea* Martius) no Noroeste do Brasil.** Embrapa Rondônia, 2018. (Sistemas de produção/ Embrapa Rondônia, 36).

VIEIRA, F.A.; CARVALHO, D.; HIGUCHI, P.; MACHADO, E.L.M.; SANTOS, R.M. Spatial pattern and fine-scale structure indicating recent colonization of the palm *Euterpe edulis* in a Brazilian Atlantic Forest fragment. **Biochemical Genetics.**, v. 48, n. 1, p. 96-103, 2010.

VIEIRA, M.L.C.; SANTINI, L.; DINIZ, A.L.; MUNHOZ, C.F. Microsatellite markers: what they mean and why they are so useful. **Genetics and Molecular Biology.**, v. 39, n. 3, p. 312-328, 2016.

WADT, L.H.O.; RIGAMONTE-AZEVEDO, O.C.; FERREIRA, E.J.L.; CARTAXO, C.B. C. **Manejo de açaí solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.) para produção de frutos.** Embrapa Amazônia Oriental-Folhetos /Folhetos/Cartilhas (INFOTECA-E), 2004.

YAMAGUCHI, K.K.L.; PEREIRA, L.F.R.; LAMARÃO, C.V.; LIMA, E.S. Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. **Food Chemistry.**, v. 179, p. 137-151, 2015.

YUYAMA, L.K.O.; AGUIAR, J.P.L.; SILVA FILHO, D.F.; YUYAMA, K. Caracterização físico-química do suco de açaí de *Euterpe precatoria* Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. **Acta Amazonica.**, v. 41, n. 4, p. 545-552, 2011.