INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BOTÂNICA)

DISTINÇÃO DE SEMENTES, FRUTOS E PLÂNTULAS DAS TRÊS ESPÉCIES DO GENÊRO *Carapa* Aubl. NA AMAZÔNIA CENTRAL

ITAMARA GONÇALVES DA GAMA

Manaus, Amazonas

Julho, 2019

ITAMARA GONÇALVES DA GAMA

DISTINÇÃO DE SEMENTES, FRUTOS E PLÂNTULAS DAS TRÊS ESPÉCIES DO GENÊRO *Carapa* Aubl. NA AMAZÔNIA CENTRAL

Orientadora: Dra. Isolde Dorothea Kossmann Ferraz

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Botânica.

Manaus, Amazonas

Julho, 2019

RELAÇÃO DA BANCA JULGADORA

Dra. Ângela Maria da Silva Mendes
Universidade Federal do Amazonas

Dra. Maria Anália Duarte de Souza
Universidade Federal do Amazonas

Dra. Yêda Maria Boaventura Corrêa Arruda
Universidade Federal do Amazonas

SEDAB/INPA © 2019 - Ficha Catalográfica Automática gerada com dados fornecidos pelo (a) autor (a)
Bibliotecário responsável: Jorge Luiz Cativo Alauzo - CRB11/908

G184d Gama, Itamara Gonçalves da
DISTINÇÃO DE SEMENTES, FRUTOS E PLÂNTULAS DAS TRÊS ESPÉCIES DO GENÊRO *Carapa* Aubl. NA AMAZÔNIA CENTRAL / Itamara Gonçalves da Gama; orientador Isolde Dorothea Kossmann Ferraz. -- Manaus: [s.l], 2019.
60 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Botânica) -- Coordenação do Programa de Pós-graduação, INPA, 2019.

1. Morfologia foliar. 2. Plântulas. 3. Sementes. 4. Óleo. 5. Andiroba. I. Ferraz, Isolde Dorothea Kossmann, orient. II. Título.

CDD: 580

Sinopse: Avaliou-se a morfologia foliar desde o desenvolvimento inicial até plantas juvenis, em comparação com plantas adultas de três espécies de *Carapa*. Foram registrados dados morfobiométricos de frutos e sementes, analises de imagens digitais de sementes com equipamento Groundeye® e comparadas às características físico-químicas do óleo de sementes e a calorimetria das reservas de sementes.

Palavras-chave: morfologia foliar, sementes, plântulas, GroundEye®, óleo, calorimetria, andiroba

À minha avó Raimunda Gonçalves,

a qual dedico a minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

É com grande satisfação que agradeço a todas as pessoas e Instituições que, de alguma forma, possibilitaram a realização desta dissertação.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e ao Programa de Pós-Graduação em Botânica (PPG-Botânica) pela infraestrutura e apoio recebido durante a realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de mestrado.

À minha orientadora Isolde Ferraz, que me apoiou desde quando entrei no laboratório pela primeira vez. Agradeço pela paciência, oportunidades e por toda dedicação. Tenho um enorme respeito e admiração, que durante essa fase eu aprendi e cresci muito profissionalmente e pessoalmente.

Aos pesquisadores que contribuíram na avaliação do projeto e os que participaram na aula de qualificação, com sugestões e comentários construtivos, que enriqueceram o meu trabalho.

À Dra. Maria Laene e Dra. Dayliane Andrade por todo apoio e paciência recebido nas minhas idas a UFLA para a realização das análises das sementes no equipamento GroundEye.

Ao Laboratório de Química da UFLA pela realização das análises do óleo das sementes de andiroba.

Ao Msc. Douglas Pelegrini da UFLA pelo auxílio e apoio nas correções da metodologia da análise do óleo das sementes.

Ao Dr. Sidney Ferreira por ter me cedido um espaço em seu viveiro.

Ao Dr. João Ferraz pelos empréstimos dos equipamentos para as coletas de campo.

Ao seu Raimundo Luz e Alricélia Luz por todas as coletas de frutos e sementes que me foram doadas e por toda ajuda ao longo desses anos de amizade, minha eterna gratidão.

Aos escaladores arbóreos e coletores de sementes: Edmilson Souza (Movido), Lucas Mergulhão e Gleison Viana, pessoas que foram fundamentais para a realização das coletas de campo.

À secretaria do PPG-Botânica e a todos os funcionários do INPA que de alguma forma estiveram envolvidos com este trabalho. Em especial a Neide que sempre se dispôs a resolver a burocracias quando eu ligava desesperada, obrigada também pelos cafés a cada ida à secretaria (risos).

À minha turma do PPG-BOT 2017 pelas trocas de experiências, companheirismo em sala de aula e pelas amizades que levarei para a vida toda.

A toda equipe do laboratório de sementes pela ajuda indispensável, atenção, carinho, bom humor, alegria e amparo. Em especial à Semirian Amoêdo, Caroline Vasconcelos, Geângelo Calvi, Gisele Santos, Diana Bentes, Lorena Figueira, Paulo Piovesan, Bruna Barbosa, Paulo Silva, pessoas que me ajudaram ao longo desses dois anos. Obrigada pelas risadas, pelos cafés descontraídos, pelos conselhos, pela paciência e principalmente pela amizade.

Não poderia esquecer-me dos Pibics e as estagiárias do IFAM, que foram ajuda indispensável para a realização deste trabalho. Obrigada, Hebert, Samela, Thalita, Aline e Danielle, Gratidão!

Às minhas amigas da faculdade, Samanta Gabriela e Raquel Dias que sempre estiveram ao meu lado em cada conquista minha. Obrigada por tudo!!

Aos meus familiares, em especial a minha avó, Raimunda Gonçalves, minha mãe Claudia Fernanda e minha tia Claudia Gama pelo apoio incondicional quanto às minhas decisões pessoais e profissionais e, claro, pela força em todos os momentos que foram necessários.

Por fim, agradeço a Deus e a Nossa Senhora por me guiarem, iluminarem e me darem tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos e não desanimar com as dificuldades ao longo do caminho.

"Ando devagar porque já tive pressa e levo esse sorriso porque já chorei demais. Hoje me sinto mais forte, mais feliz, quem sabe; só levo certeza de que muito pouco sei, ou que nada sei. "

Almir Sater e Renato Teixeira

RESUMO

Na região Amazônica brasileira ocorrem três espécies de *Carapa*. Todas são conhecidas popularmente como andiroba e geralmente não são diferenciadas quando usadas. As árvores são de múltiplo uso, exploradas devido à madeira e principalmente ao óleo extraído das sementes. O presente estudo procurou caracteres distintos dessas espécies. Esta dissertação possui dois capítulos. O primeiro trata da morfologia foliar desde o desenvolvimento inicial até plantas juvenis, em comparação com plantas adultas. No segundo capítulo, foram registrados dados morfobiométricos de frutos e sementes, analisadas imagens digitais de sementes com Groundeye® e comparadas às características físico-químicas do óleo de sementes e a calorimetria das reservas de sementes. Sementes de três espécies foram coletadas nos estados brasileiros do Amazonas e Pará. De cada espécie foram coletados dados de 18 plantas e 115 sementes. Utilizou-se estatística descritiva para dados morfológicos e, quando possível, análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação de médias (probabilidade de 5%). No capítulo 1, o desenvolvimento das mudas foi avaliado até o 25º nó foliar, o desenvolvimento de catáfilos ou folhas, o comprimento dos internódios e a altura total das plantas. Todas as três espécies apresentaram um catáfilo no primeiro nó foliar. Não houve padrão na sequência de catáfilos e folhas com lâmina expandida ao longo dos 25 nós, nem dentro da espécie nem entre as espécies. Até o 5º nó foliar, os entrenós eram mais longos que as posteriores, nas três espécies. É possível distinguir as espécies pela morfologia das primeiras catáfilos. Com o desenvolvimento posterior, os catáfilos se tornam semelhantes. Folhas e o número de folíolos por folha têm características distintas em mudas e adultos, e são úteis para distinguir as espécies. No capítulo 2, os dados biométricos de frutos e sementes se sobrepuseram entre *C. guianensis* e *C. surinamensis*. No entanto, todas as variáveis biométricas de *C. vasquezii* diferiram das outras duas espécies. O comprimento e a largura do hilo das sementes foram úteis para diferenciar as três espécies. Também foi possível distinguir as sementes por imagens das texturas capturadas com o GroundEye®. O conteúdo de água das sementes recém-dispersas foi significativamente maior em *C. vasquezii* e, consequentemente, a extração de óleo com base no peso fresco é reduzida. Avaliando a massa seca das sementes, a quantidade de calorias foi menor em *C. vasquezii*, o que pode indicar uma composição química diferente. Para estudos adicionais, recomendamos uma análise comparativa e mais detalhada dos óleos de sementes das três espécies. Numa primeira avaliação, as sementes de *C. surinamensis* apresentam o conjunto de características mais favoráveis (teor de óleo, iodo, saponificação) para extração e uso do óleo.

Palavras-chave: morfologia foliar, biometria, GroundEye®, óleo, calorimetria e teor de água.

ABSTRACT

In the Brazilian Amazon region occur three species of *Carapa*. All are popularly known as andiroba and are generally not differentiated when used. The trees are of multipurpose, exploited due to their wood and mainly the oil extracted from the seeds. The present study looked for distinctive characters of these species. This dissertation has two chapters. The first deals with leaf morphology from early development to juvenile plants in comparison with adult plants. In the second chapter, morphobiometric data on fruits and seeds were registered, digital seed images were analysed with Groundeye®, and compared physico-chemical characteristics of seed oil and the calorimetry of the seed reserves. Seeds of three species were collected in the Brazilian states of Amazonas and Pará. From each species data on 18 plants and 115 seeds were collected. Descriptive statistic was used for morphological data and when possible, an analysis of variance (ANOVA) and Tukey test for comparison of means (5% probability). In Chapter 1, the development of seedlings was assessed until the 25th leaf node, the development of cataphylls or leaves, the length of the internodes and total plant height were registered. All three species had a cataphyll at the first leaf node. There was no pattern in the sequence of cataphylls and leaves with an expanded blade along the 25 nodes, neither within the species nor between the species. Until the 5th leaf node, the internodes were longer than afterwards, in all three species. It is possible to distinguish the species by the morphology of the first cataphylls. With further development cataphylls turn similar. Leaflets and the number of leaflets per leaf have distinct characteristics in seedlings and adults and are helpful to distinguish the species. In Chapter 2, the biometric data of fruits and seeds overlapped between *C. guianensis* and *C. surinamensis.* However, all biometric variables of *C. vasquezii* differed from the other two species. The length and width of the seed hilum were useful to differentiate the three species. It was also possible to distinguish the seeds by images of the textures captured with GroundEye®. Seed water content of freshly dispersed seeds was significant higher in *C. vasquezii*, and consequentely oil extraction based on fresh weight is reduced. Evaluating seed dry mass, the amount of calories was lower in *C. vasquezii*, which may indicate a different chemical composition. For further studies, we recommend a comparative and more detailed analysis of the seed oils of the three species. In a first evaluation, *C. surinamensis* seeds have the most favourable set of characteristics (oil content, iodine, saponification) for extraction and use of the oil.

Keywords: leaf morphology, biometrics, GroundEye®, oil, calorimetry and water content.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....vi

RESUMO.....ix

ABSTRACT.....x

LISTA DE FIGURAS.....xii

LISTA DE TABELAS.....xiii

INTRODUÇÃO.....14

CAPÍTULO 1.....18

Morfologia foliar de três espécies de *Carapa* Aubl. (*C. guianensis*, *C. surinamensis*, *C. vasquezii*) da Amazônia brasileira: um estudo comparativo na fase inicial do desenvolvimento e de adultas

RESUMO.....18

ABSTRACT.....19

INTRODUÇÃO.....20

MATERIAL E MÉTODOS.....22

RESULTADOS.....26

DISCUSSÃO.....36

CONCLUSÕES.....39

REFERÊNCIAS.....40

CAPÍTULO 2.....43

Características morfológicas dos frutos e sementes e aspectos físico-químicas do óleo das sementes de três espécies de *Carapa* da Amazônia Central

RESUMO.....43

ABSTRACT.....44

INTRODUÇÃO.....45

MATERIAL E MÉTODOS.....48

RESULTADOS.....54

DISCUSSÃO.....60

CONCLUSÕES.....65

CONCLUSÃO GERAL.....66

REFERÊNCIAS.....68

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. Frequência de folíolos por folha a cada nó foliar (1º ao 25º) ao longo do desenvolvimento das plantas de *C. vasquezii*, *C. surinamensis* e *C. guianensis* (n = 18 para cada espécie). Cores: folhas compostas com apenas um folíolo (azul), dois folíolos (amarelo), três (cinza), quatro (laranja), cinco (verde) e seis (preto).....27

Figura 2. Série de catáfilos (laranja) ou folhas (verde) na sequência do 1º ao 25º nó foliar em *C. vasquezii*, *C. surinamensis* e *C. guianensis* e percentagem de catáfilos de cada nó foliar indicada no segundo eixo X. Identificação das 18 plantas avaliadas no eixo Y (ver Tabela 1), marcada em amarelo as plantas herborizadas apresentadas na Figura 3a, 3b, 3c.....29

Figura 3a. Planta herborizada de *C. vasquezii* (n° 278 identificada em amarelo na Figura 2) após 283 dias de desenvolvimento no viveiro. A localização dos catáfilos nas folhas é indicada pela letra C e a sequência dos nós foliares numeradas. Folhas abortadas são indicadas em cinza. 30

Figura 3b. Planta herborizada de *C. surinamensis* (n° 54 identificada em amarelo na Figura 2) após 344 dias de desenvolvimento no viveiro. A localização dos catáfilos nas folhas é indicada pela letra C e a sequência dos nós foliares numerada. Folhas abortadas são indicadas em cinza. 31

Figura 3c. Planta herborizada de *C. guianensis* (n° 414 identificada em amarelo na Figura 2) após 472 dias de desenvolvimento no viveiro. A localização dos catáfilos nas foljhas é indicada pela letra C e a sequência dos nós foliares númerada. Folhas abortadas são indicadas em cinza. 32

Figura 4**.** Crescimento em altura de *C. vasquezii*, *C. surinamensis* e *C. guianensis* ao longo do desenvolvimento das plantas do 1° ao 25° nó foliar. 33

Figura 5. Comparação da morfologia e venação foliar entre um folíolo de um indivíduo na fase adulta e de um indivíduo juvenil (9° ou 10° nó foliar) para *C. vasquezii*, *C. surinamensis* e *C. guianensis*. Identificando a planta conforme a Tabela 1. Imagens de raios-x.....35

Figura 6. Comparação da morfologia de catáfilos entre indivíduos nas fases de plântula (1° nó foliar) e de juvenil (13° nó foliar) para *C. vasquezii*, *C. surinamensis* e *C. guianensis.* Identificando a planta conforme a Tabela 1.....36

Capítulo 2

Figura 7. Variáveis biométricas dos frutos de três espécies de *Carapa* (Meliaceae) da Amazônia Central. Os boxplots representam a massa úmida (g), comprimento (mm), largura (mm), espessura (mm) e nº sementes/fruto. Letras diferentes indicam diferenças significativas pela ANOVA, seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância. 55

Figura 8. Variáveis biométricas das sementes de três espécies de *Carapa* (Meliaceae) da Amazônia Central. Os boxplots representam a massa úmida (g), comprimento (mm), largura (mm), espessura (mm), comprimento do hilo (mm) e largura do hilo (mm). Letras diferentes indicam diferenças significativas pela ANOVA, seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância. 56

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1. Áreas de coleta, n° de coleta e do herbário INPA. Identificando se foram coletados frutos (F) ou sementes (S) e as plântulas resultantes dessa coleta com seus respectivos n° e idade com 25° nós foliares. 23

Tabela 2. Caracteres vegetativos analisados para a descrição das três espécies de *Carapa*.....25

Capítulo 2

Tabela 3. Informações das áreas de coleta, n° de coleta e herbário INPA. Indicando as análises realizadas. 49

Tabela 4. Características de texturas Laws e Run Length das três espécies de *Carapa*, baseado na avaliação das duas faces das sementes com hilo (semente com hilo para cima e hilo para baixo). Indicando pela coloração possibilidade de distinção. 57

Tabela 5. Características físico-químico do óleo das sementes e análise calorimétrica das reservas das sementes de três espécies de *Carapa* (Meliaceae) da Amazônia Central. Letras diferentes indicam diferenças significativas pela ANOVA, seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância. 59

Tabela 6. Teor de água, peso seco da semente, número de sementes por quilo e número de sementes por litro de três espécies de *Carapa* (Meliaceae) da Amazônia Central. Letras diferentes indicam diferenças significativas pela ANOVA, seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância. 59

INTRODUÇÃO

Meliaceae Jussieu é uma família com distribuição pantropical. A maioria das espécies dessa família encontra-se em florestas tropicais úmidas. Possui cerca de 600 espécies, em 120 gêneros, dos quais oito ocorrem nas Américas (*Carapa, Cedrela, Cabralea, Guarea, Melia, Swietenia, Trichilia, Toona*). As espécies são arbóreas ou arbustivas, que podem ser identificadas por meio de caracteres das folhas compostas e seus folíolos pilosos ou glabros de margem inteiras e às vezes com glândulas; a presença de nectários extraflorais nos pecíolos e ráquis são características dessa família. Suas flores, geralmente pequenas, apresentam cheiro aromático e oferecem néctar que atraem insetos, como abelhas (Pennington *et al.*,1981). É uma família com espécies de grande interesse econômico e de alto potencial madeireiro.

Carapa Aublet. é um dos oito gêneros de Meliaceae, que ocorrem nos neotropicos, e apresenta distribuição pantropical. *Carapa* possui flores sésseis ou subsséis, glabras, sub-globosas, de cor branca a creme e levemente perfumadas, e as folhas são compostas e os folíolos possuem ápice predominantemente ou levemente acuminado a raramente arredondado (Pennington *et al.*, 1981).

Historicamente cerca de 40 espécies foram reconhecidas para *Carapa*. Na revisão para a Flora Neotropica em 1981, Styles *et al.* reconheceram apenas duas espécies: *C. guianensis* Aubl. com ocorrência somente nas Américas e *C. procera* D.C. com distribuição pantropical, ocorrendo tanto nas regiões central e oeste da África como nos Neotrópicos em habitats similares aos de *C. guianensis* que ocorre na América Central, Colômbia, Venezuela, Suriname, Guiana Francesa, Brasil, Peru e nas ilhas do Caribe. Na revisão do gênero em 2009 por Forget *et al.*, foram reconhecidas mais duas espécies: *C. akuri* Poncy Forget & Kenfack e *C. megistocarpa* A. H. Gentry & Dodson, ambas pertencentes à America do Sul. Contudo, na revisão mais recente em 2011, Kenfack (2011a) ressuscitou várias sinonímias ao nível de espécies e considerou 27 morfoespécies de *Carapa*, sendo 11 na América Central e America do Sul e 16 na África. Na Amazônia brasileira, três espécies de *Carapa* foram reconhecidas: *Carapa guianensis* Aubl. *Carapa surinamensis* Miq. e *Carapa vasquezii* Kenfack. *Carapa guianensis* foi a primeira a ser descrita em 1775 por Aublet, seguida de *C. surinamensis* descrita em 1850 por Miquel e *C. vasquezii* recentemente por Kenfack (2011).

C. guianensis ocorre na América Central, Colômbia, Venezuela, Suriname, Guiana Francesa, Brasil, Peru, Paraguai e nas ilhas do Caribe (Styles *et al.*, 1981). As árvores são encontradas em florestas sazonalmente inundades de várzeas (água branca) e igapós (água

preta), como também, em florestas de terra firme (Kenfack, 2011b). *C. surinamensis* apresenta distribuição na região norte do Brasil, Guiana, Guiana Francesa e Suriname. As árvores são encontradas ao longo dos rios da várzea e dos igapós e, também, em florestas de terra firme (Kenfack, 2011a). *C. vasquezii* ocorre na Colômbia, Peru e no Brasil no estado do Amazonas, na região de Manaus, é encontrada principalmente em florestas de igapó (Kenfack, 2011a).

As sementes podem flutuar e são dispersas através da correnteza dos cursos d'água (McHargue & Hartshorn, 1983). No período de frutificação, as sementes são fontes de alimento para roedores, tatus, cutias, etc. Os roedores além de predadores podem contribuir para a dispersão ao enterrar as sementes (McHargue & Hartshorn, 1983).

As espécies de *Carapa* são conhecidas popularmente no Brasil como andiroba, andirobinha, andiroba-branca entre outros (Ferraz *et al.*, 2002). Embora, mais do que uma espécie do gênero *Carapa* ocorra na mesma região, todas são conhecidas popularmente pelo mesmo nome e, por possuírem características similares, são pouco diferenciadas quanto a sua utilização.

A andiroba é de múltiplo uso e de grande importância econômica; apresenta madeira nobre, sucedânea do mogno (Ferraz *et al.*, 2002), entretanto é mais conhecida pelo óleo extraído das sementes. Desta forma, é plantada em sistemas agroflorestais e para o enriquecimento de capoeiras (Yared & Carpanezzi,1981).

O óleo de andiroba é utilizado na medicina popular, por exemplo, como cicatrizante, repelente e anti-inflamatório também é aplicado em cosméticos, na fabricação de sabão, xampus e cremes (Enriquez, 2007; Mendonça & Ferraz, 2007). No Brasil, o óleo de andiroba é exportado para mais de 50 destinos internacionais e os quatro estados do norte do país (RO, AM, MA e PA) produziram 196 toneladas em 2015 (IBGE, 2015). Os incentivos de crédito se direcionaram nos últimos anos para a criação de fábricas de beneficiamento do óleo, sem nenhum registro para incentivar plantios de andiroba (Enriquez, 2007).

No comércio, os óleos geralmente são misturados e não existe nenhuma certificação de qual espécie de *Carapa* o óleo foi extraído. (Silva *et al.*, 2012). Entretanto, estudos sobre o rendimento de *C. guianensis* e *C. surinamensis*, pelo método tradicional indicam maior rendimento à *C. surinamensis* (Mendonça & Ferraz, 2006). Maior rentabilidade para esta espécie foi confirmada também pela extração com a prensa (Mendonça, 2015). Contudo, o índice de acidez do óleo (3,37 a 12,52 mg KOH g-1) foi maior em relação a *C. guianensis* (2,14 a 4,74 mg KOH g-1) (Mendonça, 2015). Não há estudo comparativo avaliando as três espécies pela mesma metodologia, nem quantitativo e nem qualitativo. Isso se deve provavelmente ao

fato de haver dificuldade em distinguir as espécies de andiroba por não botânicos e, a ocorrência das três espécies em habitats similares. As coletas para a extração do óleo são geralmente feitas em áreas de ocorrência naturais e em árvores plantadas, sobre as quais não tem conhecimento da origem (Mendonça & Ferraz, 2007). O que reforça a importância de estudos detalhados para cada espécie.

Kenfack (2011a) utilizou caracteres morfológicos e moleculares. Morfologicamente, *C. guianensis* se diferencia principalmente pelo ápice da folha acuminado (vs. arredondado nas demais espécies), pelas sementes através do hilo maior (comprimento: 15–33 mm enquanto as outras duas espécies possuem um hilo menor do que 16 mm). *C. surinamensis* se distingue pela merosidade floral com prioritariamente 5 meras em comparação de 4 meras nas demais. *C. vasquezii* apresenta 6 óvulos por lóculo na flor em comparação de 4 óvulos nas demais. Estes descritores morfológicos não são de fácil visualização para não botânicos e a contagem do número de óvulos nas flores pequenas necessitam habilidade e um microscópio.

Em seu trabalho Kenfack, também não trata sobre a morfologia das plântulas, entretanto, a morfologia de plântulas pode facilitar a identificação mais precisa das espécies (Camargo *et al.*, 2008). O trabalho de Fisch *et al.* (1995) foi o primeiro a comparar plântulas de *C. guianensis* e *C. surinamensis* (nesta época a *C. surinamensis* foi conhecida como *C. procera* e a *C. vasquezii* não estava ainda descrita). Na fase inicial do desenvolvimento foram encontradas diferenças na quantidade de catáfilos e no número de folíolos das folhas compostas. Apesar de um grande número de mudas avaliadas (89 ou 120 indivíduos por espécie), as mesmas não tinham alcançadas o mesmo estádio de desenvolvimento (por exemplo, a mesma altura ou a mesma quantidade de folhas) e a idade das plantas variou entre 45 e 90 dias. Não há estudos morfológicos comparativos entre as três espécies da região amazônica brasileira.

Pela importância comercial da andiroba, é necessário buscar descritores, não somente nas flores, mas também nos frutos, sementes e mudas para garantir a identidade botânica do material coletado. Caso haja diferenças na composição nos óleos das espécies, será importante de conseguir distinguir frutos e sementes para possibilitar o controle de qualidade e permitir um uso mais racional da espécie.

A análise de imagens computadorizada pode facilitar a diferenciação de cores e tamanhos de sementes e a identificação de cultivares. Por não ser destrutivo, a técnica é aplicada na indústria de alimentos e na agricultura (Brosnan & Sun, 2004). O equipamento GroundEye® da firma TBIT® foi desenvolvido especificamente para sementes e plântulas. O software coleta cerca de 453 características incluindo a textura, cor, forma geométrica e uniformidade

(Andrade, 2014). Vários trabalhos mostraram que é possível distinguir variedades de sementes, por exemplo, de soja e até características ligadas ao vigor de sementes (Brandani, 2017). Surge então, a possibilidade de distinguir as sementes das três espécies de *Carapa*, por uma separação computadorizada.

Outra forma de analisar as três espécies de *Carapa* é o valor calórico das reservas das sementes. A quantidade de reservas disponível para o crescimento das mudas aliada ao valor calórico pode ser uma informação importante para o produtor, além de fornecer informações de interesse ecológico, pois as sementes são muito apreciadas pela fauna.

Contudo, este trabalho se propõe em distinguir as três espécies de *Carapa* ocorrentes na Amazônia brasileira. Foram elaborados dois capítulos cada um com introdução, materiais e métodos, resultados e discussão. No primeiro capítulo, é abordada a morfologia foliar durante o desenvolvimento inicial até a fase juvenil em comparação das plantas adultas. No segundo capítulo, são comparados dados morfo-biométricos e análises de imagens, o valor calórico das sementes e características físico-químicas do óleo.

CAPÍTULO 1

Morfologia foliar de três espécies de *Carapa* Aubl. (*C. guianensis, C. surinamensis, C. vasquezii*) da Amazônia brasileira: um estudo comparativo na fase inicial do desenvolvimento e de adultas

RESUMO

Embora, mais do que uma espécie de *Carapa* ocorra na região Amazônica, as espécies deste gênero são conhecidas popularmente como andiroba, andirobinha, andiroba-branca entre outros. As árvores e seus propágulos possuem características similares e são pouco diferenciadas quanto à sua utilização. O objetivo do presente estudo foi comparar o desenvolvimento e crescimento inicial das três espécies até o 25° nó foliar, descrevendo a sequência das folhas e catáfilos e sua morfologia. Ramos férteis, fruto e sementes das três espécies foram coletados no Brasil nos estados do Pará e Amazonas. Após a germinação, as plântulas foram mantidas em um viveiro coberto sob condições naturais de Manaus. Ao longo do desenvolvimento do 1° ao 25° nó foliar, foi registrada a presença de catáfilos ou de folhas indicando o número de folíolos por folha. Além disso, foram medidos o comprimento de cada entrenó e o comprimento total das plantas. Utilizou-se um estereomicroscópio para detalhes. Imagens de raio x, foram tiradas dos folíolos das plantas adultas e dos juvenis do 12º nó foliar. Estatística descritiva foi aplicada na comparação dos dados morfológicos das três espécies. Observou-se um catáfilo no primeiro nó foliar nas três espécies. Os próximos nós foliares desenvolveram catáfilos ou folhas expandidas em uma sequência irregular. As três espécies diferiam na morfologia das catáfilos nos primeiros nós, entretanto, as mesmas se tornaram similares com o avanço do desenvolvimento. As folhas podem ser paripinadas ou imparipinadas. Os folíolos das plântulas e das plantas juvenis se diferenciam dos adultos. O número de folíolos por folhas aumenta durante o desenvolvimento. Em árvores adultas foram contados até 28 folíolos em *C. guianensis*, 24 folíolos em ambas *C. surinamensis e C. vasquezii*. *C. surinamensis* e *C. vasquezii* possuem ápice mucronado, não sendo observado essa característica em *C. guianensis*.

Palavras-chave: morfologia foliar, catáfilos, plântulas

ABSTRACT

Although more than one species of *Carapa* occurs in the Amazon region, the species of this genus are popularly known as andiroba, andirobinha, andiroba-branca, among others.The trees and the propagules look similar and are poorly differentiated in their use. The objective of the present study was to compare the development and initial growth of three species up to the 25th leaf node, describing the sequence of leaves and cataphylls and their morphology. Fertile branches, fruits and seeds of the three species were collected in Brazil in the states of Pará and Amazonas. After germination, seedlings were maintained in an open green house under natural environmental conditions in Manaus. During development from 1st to the 25th leaf node, the presence of cataphylls or leaves were assessed and the number of leaflets per leaf.The length of each internode and total plant length was measured. For details, a stereomicroscope was used. X-Ray images were taken of adult leaves and of juvenile leaves from the 12th node. Descriptive statistics was applied to compare the morphological data of the three species. The three species had a cataphyll on the first leaf node. The next leaf nodes had cataphylls or developed leaves in an uneven sequence throughout development. The three species differed in the morphology of the cataphylls; however these structures became similar with further development. The compound leaves can be paripinnate or imparipinnate. Leaflets of seedlings and juvenils are different from adult leaves.The number of leaflets per leaf increases during development. In mature trees, up to 28 leaflets were counted in *C. guianensis* and 24 leaflets in both *C. surinamensis* and *C. vasquezii* leaf apex in *C. surinamensis* and *C. vasquezii* is mucronate different to *C. guianensis.*

Keywords: leaf morphology, cataphylls, seedlings

INTRODUÇÃO

Na Amazônia brasileira, três espécies de *Carapa* foram reconhecidas por Kenfack (2011a) em sua revisão do gênero: *Carapa guianensis* Aublet, *Carapa surinamensis* Miquel e *Carapa vasquezii* Kenfack. *Carapa guianensis* foi a primeira a ser descrita em 1775 por Aublet, seguida de *C. surinamensis* descrita em 1850 por Miquel e *C. vasquezii* foi descrita recentemente em 2011 por Kenfack.

Carapa guianensis se diferencia principalmente pelo ápice da folha acuminado (vs. arredondado nas demais espécies), hilo 15–33 mm compr. (vs. ≤ 16 mm nas demais); *C. surinamensis* pela merosidade floral, prioritariamente de 5 (vs. 4 nas demais); e *C. vasquezii* pelo número de óvulos por lóculo com 6 (vs. 4 nas demais) (Kenfack, 2011a).

Na América do Sul, as três espécies apresentam sobreposição geográfica. Árvores de *C. guianensis* e *C. surinamensis* são encontradas ao longo de grandes rios e em florestas inundadas (várzeas e igapós) da Amazônia, sendo registradas também em florestas de terra firme (Kenfack, 2011a, 2011b), enquanto que *C. vasquezii* ocorre principalmente em florestas inundadas por água preta (igapó) (Kenfack, 2011a). Popularmente, recebem o mesmo nome popular, andiroba, devido às semelhanças morfológicas e à indistinção quanto aos seus usos na extração do óleo das sementes. Às vezes são diferenciadas com base no porte da árvore ou na ocorrência, como andiroba, andirobinha e andiroba-do-igapó.

Em geral, os caracteres reprodutivos e vegetativos da planta adulta são considerados na taxonomia e sistemática. Plântulas são raramente avaliadas e, com poucas exceções, são incluídas nos herbários, como por exemplo, no herbário MFS da Universidade do Estado do Pará-UEPA (speciesLink). Entretanto, nos últimos anos verificou-se que estudos sobre a morfologia de plântulas podem trazer contribuições valiosas e apoiar estudos filogenéticos e sistemáticos entre espécies do mesmo gênero, como por exemplo, *Protium* spp. (Melo *et al.*, 2007), *Micropholis* spp., *Chrysophyllum* spp. e *Pouteria* spp. (Vasconcelos, 2017), *Couepia* spp., *Hymenopus* spp., *Licania* spp. (Isacksson, 2018).

O estudo da morfologia de plântulas e juvenis pode fornecer uma fonte valiosa de caracteres que aprimoram a identificação e podem facilitar a distinção entre espécies do mesmo gênero p. ex. em *Acosmium* spp. (Rodrigues & Tozzi, 2007), *Protium* spp. (Melo *et al.*, 2007), *Micropholis* spp., *Chrysophyllum* spp. e *Pouteria* spp. (Vasconcelos, 2017), *Couepia* spp., *Hymenopus* spp., *Licania* spp., (Isacksson, 2018). Estes estudos, além da contribuição

taxonômica, possuem aplicação direta na avaliação da regeneração natural e na produção de mudas.

Não existem ainda estudos comparativos sobre as características dos produtos destas espécies. Caso diferenças forem detactadas, uma identificação correta poderá acresentar valor botânico. Atualmente há uma demanda crescente do óleo das sementes e o plantio de árvores é recomendado também em sistemas agroflorestais. Desta forma é importante que as mudas e plantas juvenis possam ser diferenciadas.

O trabalho de Fisch *et al.* (1995), foi o primeiro comparar plântulas de *C. guianensis* e *C. surinamensis* (naquela época denomeada *Carapa procera*). Em mudas entre 45 e 90 dias foram encontradas diferenças na quantidade de catáfilos e no número de folíolos das folhas compostas. Apesar do grande número de mudas avaliadas (89 e 120 indivíduos) os estudos não foram conclusivos, pois as plantas não tinham alcançado um desenvolvimento comparável (como o mesmo número de nós foliares). Além disso, sobre a terceira espécie recentemente descrita (*C. vasquezii*), não existem informações morfológicas sobre a fase inicial do desenvolvimento.

Espera-se que uma avaliação por um período maior, pode fornecer subsídios para apoiar a distinção entre as espécies. Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi comparar o desenvolvimento das três espécies até o 25° nó foliar, descrevendo a sequência das folhas e catáfilos e sua morfologia.

MATERIAL E MÉTODOS

Áreas de coleta

Ramos férteis de *C. guianensis*, *C. surinamensis* e *C. vasquezii* foram coletados nos estados do Pará e Amazonas, Brasil (Tabela 1). No Pará, as coletas foram realizadas no município de Juruti, PA-257 km 36, Comunidade Jabuti, (02º 09' 08" S, 56º 05' 32” O). As amostras do Amazonas foram coletadas nos municípios de Rio Preto da Eva (AM-010 km 61; 92°41' 55" S, 59°42' 3"O), Estrada da Várzea (AM-010 km 64; 02° 47’ 32,2” S, 58° 24’ 21,9”) e no município de Manaus (AM-010 km 47; 02°45’19’’S, 59°55’ 58’’), BR-174 km 28, Ramal São João (02º 44’ 58, 66” S, 60º 03’ 58,78” W), BR-174 km 45, Estação de Silvicultura Tropical – EEST (02º 35' 55,5"S, 60º 02'14,8" O) e na AM-010 km 25, Reserva Florestal Adolpho Ducke – RFAD (02º 55’ S, 59º 59’ W), sendo estas duas últimas, áreas administradas pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), ambas localizadas ao norte da cidade de Manaus.

Coletas botânicas

Ao longo dos meses de dezembro a março, que correspondem ao período de floração das três espécies, as matrizes foram georreferenciadas e identificadas com placas ou fitas enumeradas. O material fértil, coletado de cada matriz, foi prensado, secado em estufa (65 ºC) e encaminhado para o herbário do INPA e depositado como material testemunho (Tabela 1). Além disso, chaves taxonômicas baseadas em Styles (1981) e Kenfack (2011a,b) foram utilizadas para a confirmação da identificação dos espécimes.

Na época de frutificação (março a julho), frutos e sementes foram coletados e acondicionados em sacos de plásticos fechados devido ao caráter recalcitrante das sementes (Connor *et al.*, 1998) e conduzidos ao Laboratório de Sementes.

Beneficiamento

A etapa de beneficiamento consistiu na retirada manual das sementes dos frutos, para tal as valvas dos frutos (do tipo cápsula) foram abertas com um leve impacto. Sementes mortas ou deterioradas (i.e. brocadas) foram eliminadas e as sementes em boas condições foram submersas em água por 24 h para eliminação de larvas do gênero *Hypsipyla* spp. por afogamento (Ferraz & Sampaio, 1996).

Tabela 1. Áreas de coleta, n° de coleta e do herbário INPA. Identificando se foram coletados frutos (F) ou sementes (S) e as plântulas resultantes dessa coleta com seus respectivos n° e idade com 25° nós foliares.

Local de coleta	Data de coleta	Nº de coleta	Herbário INPA	Fruto/Sem	Nº pla	Idade (d)
Carapa vasquezii						
Reserva Adolpho Ducke	08/02/2018	IDKF 1369	280733	S	v245	283
Reserva Adolpho Ducke	08/02/2018	IDKF 1369	280733	S	v241	283
Reserva Adolpho Ducke	08/02/2018	IDKF 1369	280733	S	v278	283
Reserva Adolpho Ducke	08/02/2018	IDKF 1369	280733	S	v241	283
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1242		S	v243	522
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1242		S	v121	522
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1238		S	v090	522
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1238		S	v076	522
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1239		S	v298	522
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1239		S	v224	522
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1241		S	v181	522
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1241		S	v074	522
AM-10 (km 61) Rio Preto da Eva	03/03/2018	IDKF 1376	280734	S	v219	268
AM-10 (km 61) Rio Preto da Eva	03/03/2018	IDKF 1376	280734	S	v236	268
AM-10 (km 61) Rio Preto da Eva	03/03/2018	IDKF 1376	280734	S	v238	268
AM-10 (km 61) Rio Preto da Eva	03/03/2018	IDKF 1376	280734	S	v218	268
AM-10 (km 61) Rio Preto da Eva	03/03/2018	IDKF 1376	280734	S	v247	268
AM-10 (km 61) Rio Preto da Eva	03/03/2018	IDKF 1376	280734	S	v246	298
Carapa surinamensis						
EEST	07/12/2017	IDKF 1340	280731	F1	s262	356
EEST	12/05/2017	IDKF 1197		F1	s286	575
EEST	12/05/2017	IDKF 1198		F2	s282	575
EEST	07/12/2017	IDKF 1340	280731	F2	s263	356
BR-174 (km 28)	18/05/2017	IDKF 1208		S	s007	565
BR-174 (km 28)	18/05/2017	IDKF 1209		S	s020	565
BR-174 (km 28)	18/05/2017	IDKF 1208		S	s013	565
BR-174 (km 28)	18/05/2017	IDKF 1209		S	s297	565
BR-174 (km 28)	18/05/2017	IDKF 1209		S	s292	565
BR-174 (km 28)	18/05/2017	IDKF 1209		S	s296	565
AM-010 (km 47)	18/05/2017	IDKF 1206		S	s053	560
AM-010 (km 47)	18/05/2017	IDKF 1205		S	s023	560
AM-010 (km 47)	18/05/2017	IDKF 1205		S	s024	344
AM-010 (km 47)	18/05/2017	IDKF 1205		S	s029	560
AM-010 (km 47)	18/05/2017	IDKF 1206		S	s056	560
AM-010 (km 47)	18/05/2017	IDKF 1205		S	s026	402
AM-010 (km 47)	18/05/2017	IDKF 1205		S	s028	574
AM-010 (km 47)	18/05/2017	IDKF 1206		S	s054	344
Carapa guianensis						
EEST	12/05/2017	IDKF 1200		F2	g416	497
EEST	12/05/2017	IDKF 1200		F2	g412	497
EEST	12/05/2017	IDKF 1199		S	g415	494
EEST	07/12/2017	IDKF 1343	280737	F1	g251	339
EEST	12/05/2017	IDKF 1199		S	g414	472
EEST	12/05/2017	IDKF 1200		F1	g334	560
EEST	12/05/2017	IDKF 1200		F3	g300	539
EEST	07/12/2017	IDKF 1343	280737	F1	g280	337
EEST	07/12/2017	IDKF 1343	280737	F4	g276	337
Est. Vázea (km 64)	19/05/2017	IDKF 1213		F4	g413	445
Est. Vázea (km 64)	19/05/2017	IDKF 1210		F2	g411	445
Est. Vázea (km 64)	19/05/2017	IDKF 1210		F1	g209	446
Est. Vázea (km 64)	19/05/2017	IDKF 1210		F3	g301	443
Reserva Adolpho Ducke	14/04/2018	IDKF 1381		F1	g307	232
Reserva Adolpho Ducke	14/04/2018	IDKF 1379	280740	F1	g310	205
Reserva Adolpho Ducke	14/04/2018	IDKF 1379	280740	F1	g303	232
Reserva Adolpho Ducke	14/04/2018	IDKF 1382		F2	g308	231
Reserva Adolpho Ducke	14/04/2018	IDKF 1382		F2	g312	223

Semeadura e avaliação das plântulas

A semeadura foi realizada em bandejas de polietileno (55 x 25 x 15 cm) contendo vermiculita de granulometria média (Brasil Minérios ®) como substrato. As bandejas foram enumeradas e receberam etiquetas com a identificação de cada matriz. O experimento foi mantido na Casa de Sementes (INPA Campus III). A germinação foi acompanhada até a formação da plântula com o alongamento do epicótilo (≥ 5 cm) e o primeiro par de eófilos em expansão, segundo a definição de Amoêdo (2015). Em seguida, as plântulas foram transplantadas para vasos de 3,8 L contendo vermiculita e terra preta como substrato com proporção de 2:1. O experimento foi irrigado todos os dias.

Os vasos foram alocados na casa de vegetação, os valores médios das condições ambientais variaram entre 29,4ºC (estação chuvosa) e 30ºC (estação seca) para temperatura e entre 73,2% e 79,9% para umidade relativa do ar. Sendo acompanhadas até o 25° nó foliar ou até as primeiras folhas compostas com mais de 4 folíolos.

Foram selecionadas apenas plantas que não apresentavam nenhuma anormalidade. Uma planilha de acompanhamento foi elaborada para a avaliação do desenvolvimento no qual foram registradas a presença de catáfilos ou de folhas indicando o número de folíolos por folha do 1° ao 25° nó foliar. Além disso, foram medidos o comprimento dos entrenós e o comprimento total das plantas, com uma régua graduada em milímetros.

Descrição morfológica

A descrição das características morfológicas baseou-se em 38 caracteres vegetativos (Tabela 2). Os caracteres morfológicos foram medidos com auxílio de régua (cm; para estruturas maiores), paquímetro digital (mm; estruturas menores) e estruturas minúsculas (não vistas a olho nu) observadas com um estereomicroscópio Leica, modelo S8APO (com camêra digital Leica DFC295 acoplada).

Devido ao grande tamanho das folhas de *Carapa* (0,55 m a 1,41 m), apenas os folíolos das plantas adultas foram inseridos em sacos de papel e armazenados sobre sílica gel até a obtenção dos folíolos das plântulas para a comparação morfológica.

Nas descrições morfológicas foram utilizadas chaves taxonômicas de Styles (1981), Kenfack (2011a, b) e o Guia de Propágulos e Plântulas da Amazônia de Camargo *et al* (2008).

Tabela 2. Caracteres vegetativos analisados para a descrição das três espécies de *Carapa*.

Folha adulta	**Plântula**
Tamanho da folha	Tamanho da folha
Forma folha	Forma folha
Ápice folha	Ápice folha
Base folha	Base folha
Filotaxia das folhas	Filotaxia das folhas
Tipo de margem	Tipo de margem
Textura foliar	Textura foliar
Coloração foliar	Coloração foliar
Tipo indumento	Tipo indumento
Tipo venação	Tipo venação
Número de pares nervura secundária	Número de pares nervuras secundária
Tipo venação terciária	Tipo venação terciaria
Nervuras face adaxial	Nervuras face adaxial
Nervuras face abaxial	Nervuras face abaxial
Tamanho pecíolo	Tamanho pecíolo
Pilosidade pecíolo	Pilosidade pecíolo
Pecíolo em secção transversal	Pecíolo em secção transversal
	Comprimento do caule
	Lenticelas no caule
	Catáfilos ao longo do caule
	Número de catáfilos ao longo do caule

Padrão de venação dos folíolos adultos vs. plântulas

As imagens foram obtidas com a exposição das lâminas foliares ao raio X, com intensidade de 20 Kv por 20 segundos utilizando equipamento FAXITRO®, modelo LX- 60. Para cada espécie, foram selecionados um folíolo de quatro indivíduos da fase adulto e um folíolo de quatro plantas juvenis do 12º nó foliar. Devido ao grande tamanho, os folíolos foram cortados em três partes: ápice, meio e base. Cada folíolo foi colocado sobre uma placa de acrílico para a captura das imagens.

Análise dos dados

Utilizou-se estatística descritiva (média, máximo, mínimo e o desvio-padrão) para comparar as três espécies.

RESULTADOS

Catáfilos ou de folhas compostas com o número de folíolos, se mostraram caracteres úteis para a diferenciação das espécies. A presença de folhas (em percentagem na sequência dos 25 nós foliares) é apresentada na Figura 1 em colunas. Consequentemente, a ausência de folhas indica a presença de catáfilos. Entre as três espécies, *C. vasquezii* foi a que mais diferiu, pois até o 20° nó emitiu apenas folhas compostas unifolioladas. A emissão de folhas compostas com dois até cinco folíolos foi observada somente a partir do 21º nó foliar, entretanto, a maioria das plantas continuavam a emitir folhas unifolioladas (Figura 1). Todas as plantas avaliadas de *C. surinamensis* apresentaram folhas unifolioladas no 3° nó foliar. No 4° e 5° nó, 11% das plantas apresentaram folhas com três folíolos e a partir do 6° nó, o número de folíolos aumentou gradativamente até o 25° nó, quando todas as folhas apresentaram 2 até 5 folíolos; folhas com 6 folíolos foram observadas em 6% das plantas entre o 18° e 21° nó foliar. Desta forma, o número de folíolos aumentou ao longo do desenvolvimento (Figura 1). *Carapa guianensis* diferiu das demais, pelo maior número de folíolos, desde o 3° nó foliar com 2, 4 e 6 folíolos. Foi observada apenas em um dos 18 indivíduos uma folha unifolioladas no 10° nó foliar (Figura 1).

Em relação à ocorrência de folhas por nó foliar, observou-se que *C. vasquezii* apresentou até o 25º nó foliar em média 12 folhas por planta. A frequência por nó foliar variou de no mínimo 11% até 89% no máximo, CV 41%. Das 12 folhas em média 11 folhas foram unifolioladas e em média 1 folha apresentou dois a cinco folíolos, desenvolvidas apenas a partir do 21º nó (no mínimo 6% e máximo 39%, CV 301%), (Figura 1).

C. surinamensis apresentou padrão similar ao de *C. vasquezii*, com em média 11 folhas por planta até o 25º nó foliar. A frequência por nó foliar variou de no mínimo 36% até 78% no máximo, CV 13%. Das 11 folhas, em média, 6 foram unifolioladas (frequência de no mínima 0% e máxima 67%, CV 77%) e em média, 5 folhas desenvolveram dois a seis folíolos desenvolvidas a partir do 4º nó (frequência de no mínimo 0% e máxima 44%, CV 63%). No início do desenvolvimento (até o 10º nó), a frequência de folhas unifolioladas se manteve acima de 30%, e subsequente foi reduzida até zero no 25° nó foliar, (Figura 1).

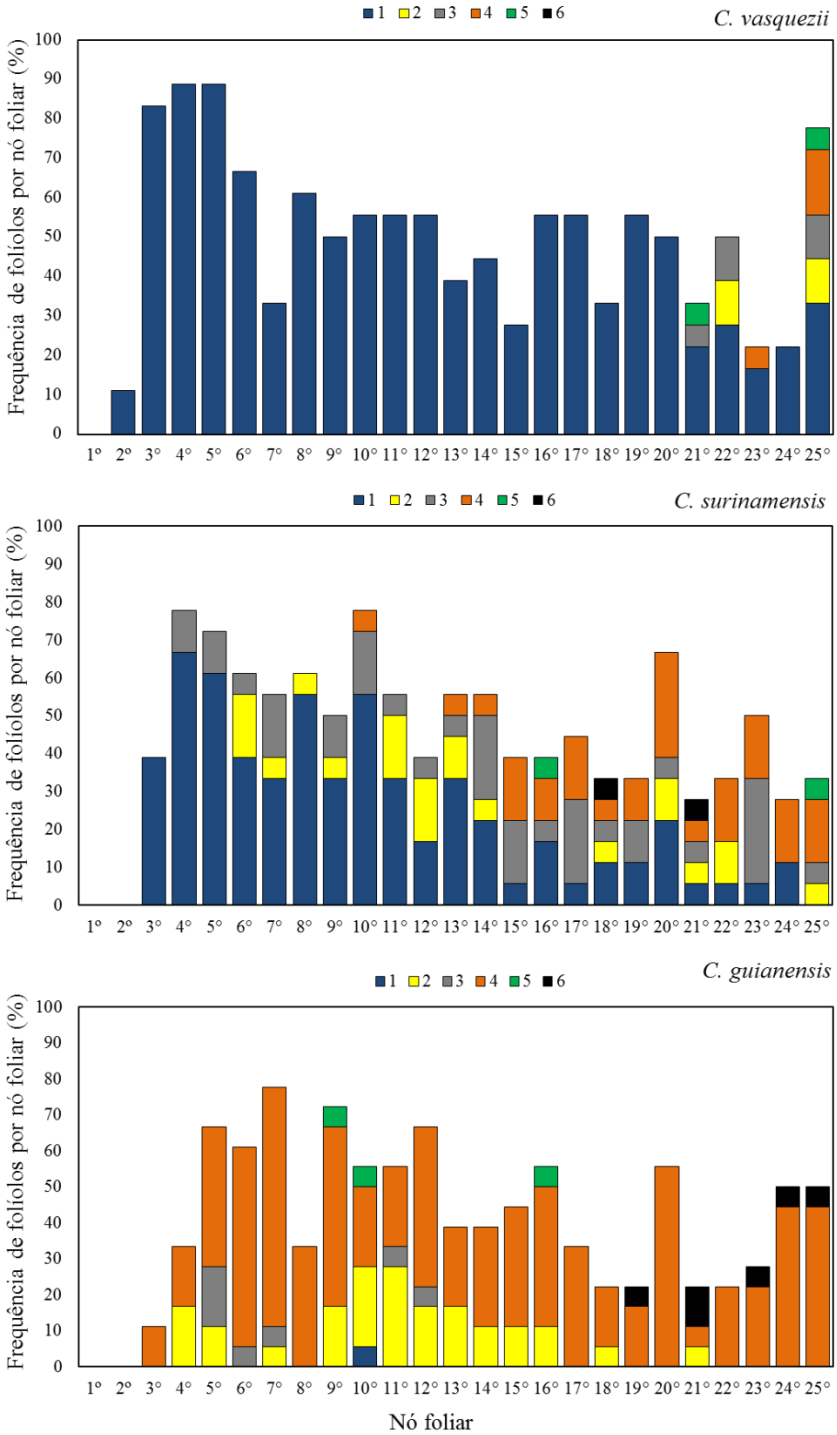

Figura 1. Frequência de folíolos por folha a cada nó foliar (1º ao 25º) ao longo do desenvolvimento das plantas de *C. vasquezii*, *C. surinamensis* e *C. guianensis* (n = 18 para cada espécie). Cores: folhas compostas com apenas um folíolo (azul), dois folíolos (amarelo), três (cinza), quatro (laranja), cinco (verde) e seis (preto).

Plantas de *C. guianensis* apresentaram em média 10 folhas até o 25º nó foliar com dois a seis folíolos. A frequência por nó foliar foi de no mínimo 11% até 83% no máximo, CV 42%. Das 10 folhas, apenas uma planta desenvolveu no 10° nó foliar uma folha unifoliolada (Figura

1). Vale ressaltar, que folhas com 4 folíolos mantiveram alta frequência a partir do 3º nó foliar (mínima 8% e máxima 56%, CV 41%), seguida de folhas com 2 folíolos a partir do 4º até o 21º nó foliar (mínima 6% e máxima 28%, CV 85%), (Figura 1).

Em todas as três espécies, foram observados catáfilos ao longo do eixo principal das plantas, e a frequência do número de catáfilos também se mostrou uma característica diagnóstica para a diferenciação das espécies.

No 1º nó foliar, todas as plantas das três espécies apresentaram catáfilos (Figura 1). No segundo nó, 100% das plantas de *C. surinamensis* e *C. guianensis* mantiveram apenas catáfilos, enquanto que este número foi reduzido para 88,9% em *C. vasquezii*. No 3º nó, a frequência de catáfilos foi 17% em *C. vasquezii*, 61% em *C. surinamensis* e 90 % em *C. guianensis*. A partir do 3º nó, a formação de catáfilos foi reduzida e ao longo do desenvolvimento aumentou a frequência de folhas com lâmina foliar (Figura 1).

Como observado na Figura 1, as plantas de todas as espécies podem formar catáfilos ou folhas expandidas ao longo dos nós foliares. Na Figura 2, cada linha apresenta uma das plantas estudadas, foi avaliado se há um padrão na sequência dos catáfilos e folhas. A formação de catáfilos nos primeiros nós foliares ficou mais evidente. Um padrão na sequência entre catáfilos e folhas, foi observado apenas do 1º ao 3º nó foliar. Algumas plantas apresentaram uma série de uma até sete folhas antes de voltar a formar catáfilos. Outras uma série de um a oito catáfilos entre a formação de folhas expandidas (Figura 2). Observou-se que há variação entre os indivíduos, alguns desenvolvem até quatro (*C. vasquezii*), cinco (*C. surinamensis*) ou sete catáfilos (*C. guianensis*), antes de formar folhas expandidas.

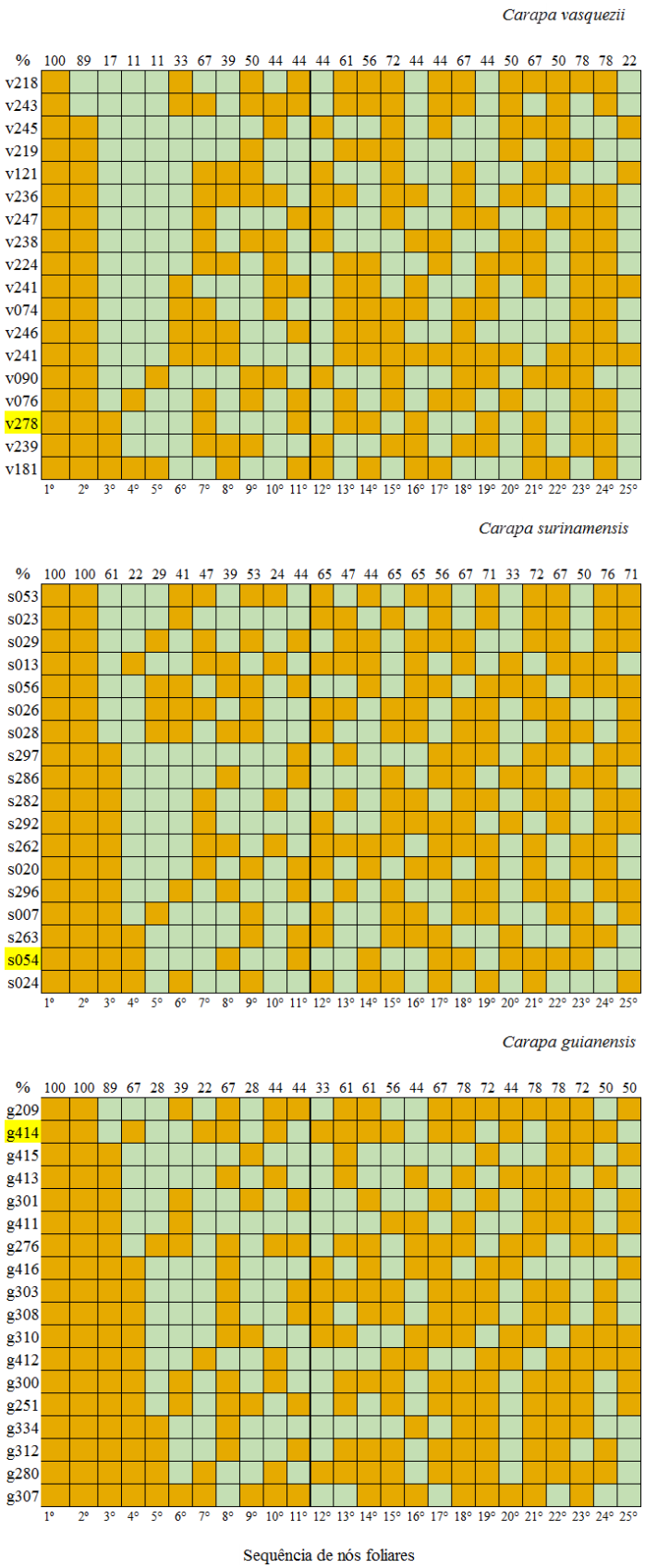

Figura 2. Série de catáfilos (laranja) ou folhas (verde) na sequência do 1º ao 25º nó foliar em *C. vasquezii*, *C. surinamensis* e *C. guianensis* e percentagem de catáfilos de cada nó foliar indicada no segundo eixo X. Identificação das 18 plantas avaliadas no eixo Y (ver Tabela 1), marcada em amarelo as plantas herborizadas apresentadas na Figura 3a, 3b, 3c.

As Figuras 3a, 3b e 3c apresentam uma das plantas herborizadas das três espécies, indicadas em amarelo na Figura 2. A planta de *C. vasquezii*, após 283 dias de desenvolvimento após a germinação e 26 nós foliares, possuía altura de 66 cm (Figura 3a). Nesse indivíduo foi emitido um total de 12 catáfilos, dos quais, nove se desenvolveram após a planta já ter desenvolvido folhas compostas. Folhas expandidas totalizaram 11 de 1-folíolo, uma de 3-folíolos, uma de 4-folíolos e uma de 6-folíolos (Figura 3a). As primeiras folhas (4,3–12,5 cm de comprimento) foram unifolioladas, alternas ou subopostas e as próximas folhas (7,5–16,5 cm de comprimento) compostas, alternas, paripinadas ou imparipinadas, com dois a seis folíolos (11,2–21,7 cm de comprimento) opostos.

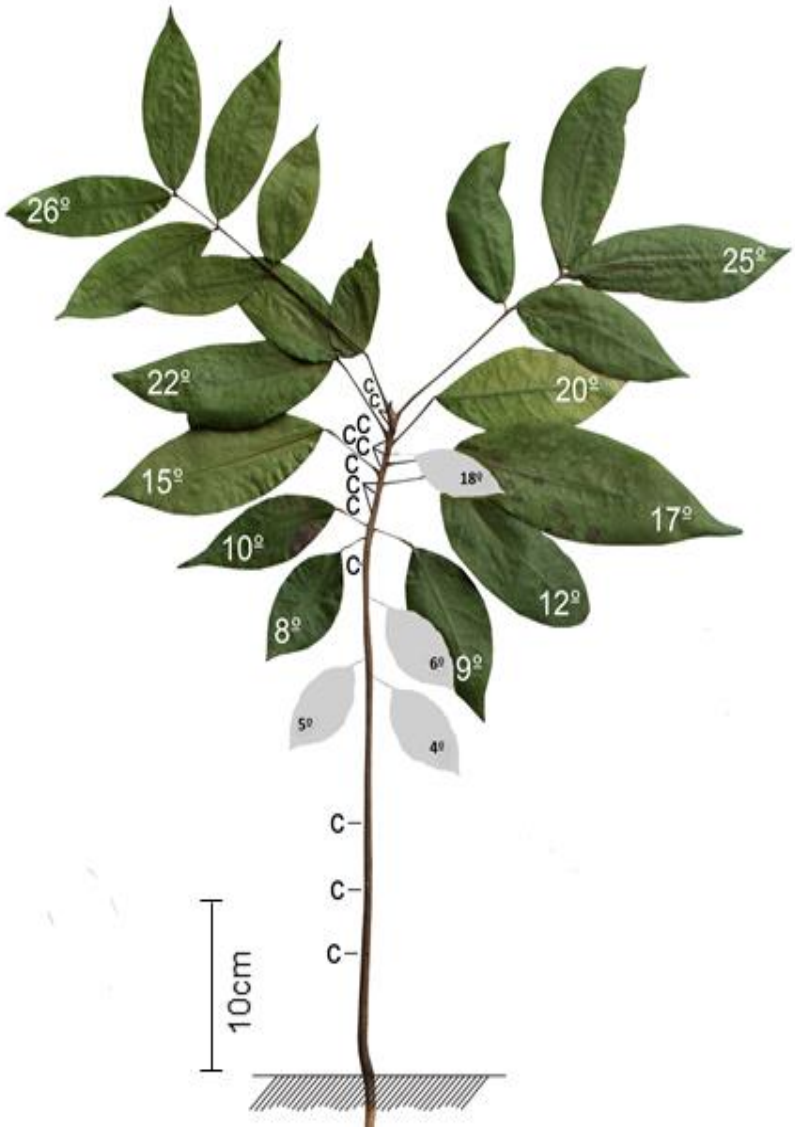

Figura 3a. Planta herborizada de *C. vasquezii* (n° 278 identificada em amarelo na Figura 2) após (283) dias de desenvolvimento no viveiro. A localização dos catáfilos nas folhas é indicada pela letra C e a sequência dos nós foliares numeradas. Folhas abortadas são indicadas em cinza.

A planta de *C. surinamensis* tinha 344 dias de desenvolvimento após a germinação e possuía altura de 74 cm (Figura 3b). Nesse indivíduo foi emitido um total de 13 catáfilos, dos quais, nove se desenvolveram após a planta já ter desenvolvido folhas compostas. Folhas expandidas totalizaram doze, sendo três de 1-folíolo, três de 2-folíolos, uma de 3-folíolos e cinco de 4-folíolos (Figura 3b). As primeiras folhas (4,6–12,7 cm de comprimento) foram unifolioladas, alternas ou subopostas, obovadas ou ovadas e as próximas folhas (15–17,9 cm de comprimento) compostas, alternas, paripinadas ou imparipinadas, com 2 a 6 folíolos (12,5–22,5 cm de comprimento) opostos.

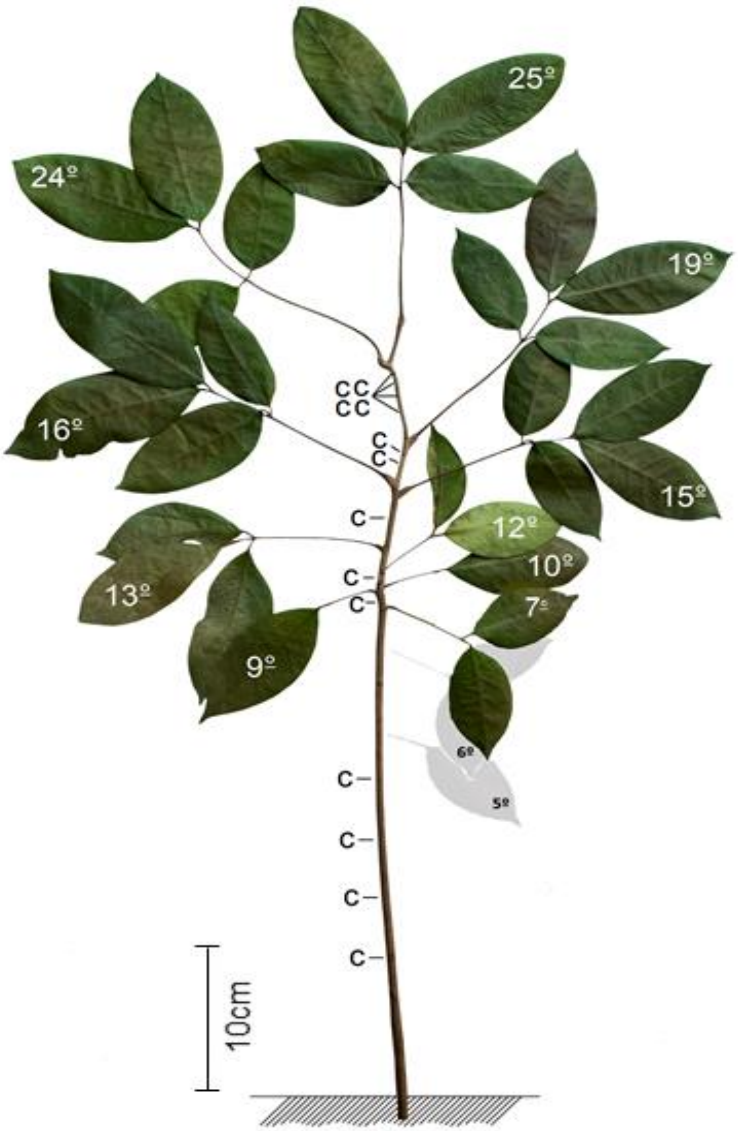

Figura 4b. Planta herborizada de *C. surinamensis* (n° 54 identificada em amarelo na Figura 2) após (344) dias de desenvolvimento no viveiro. A localização dos catáfilos nas folhas é indicada pela letra C e a sequência dos nós foliares numerada. Folhas abortadas são indicadas em cinza.

A planta *C. guianensis* tinha 472 dias de desenvolvimento após a germinação e possuía altura de 78 cm (Figura 3c). Nesse indivíduo foi emitido um total de 16 catáfilos, dos quais, 14 se desenvolveram após a planta já ter desenvolvido folhas compostas. A planta não emitiu folhas unifolioladas. Folhas expandidas totalizaram nove, sendo uma de 3-folíolos, seis de 4-folíolos e duas de 6-folíolos (Figura 3c). As primeiras folhas (23,1–28,5 cm de comprimento) foram compostas, alternas ou subopostas, paripinadas ou imparipinadas, com 2-6 folíolos (12,1–18,1 cm de comprimento), opostos, elípticos a oblanceolados, e as próximas folhas (21,8–37,5 cm de comprimento) compostas, espiraladas, com 2 a 6 folíolos (11,7–20,5 cm de comprimento) elípticos a oblanceolados, opostos.

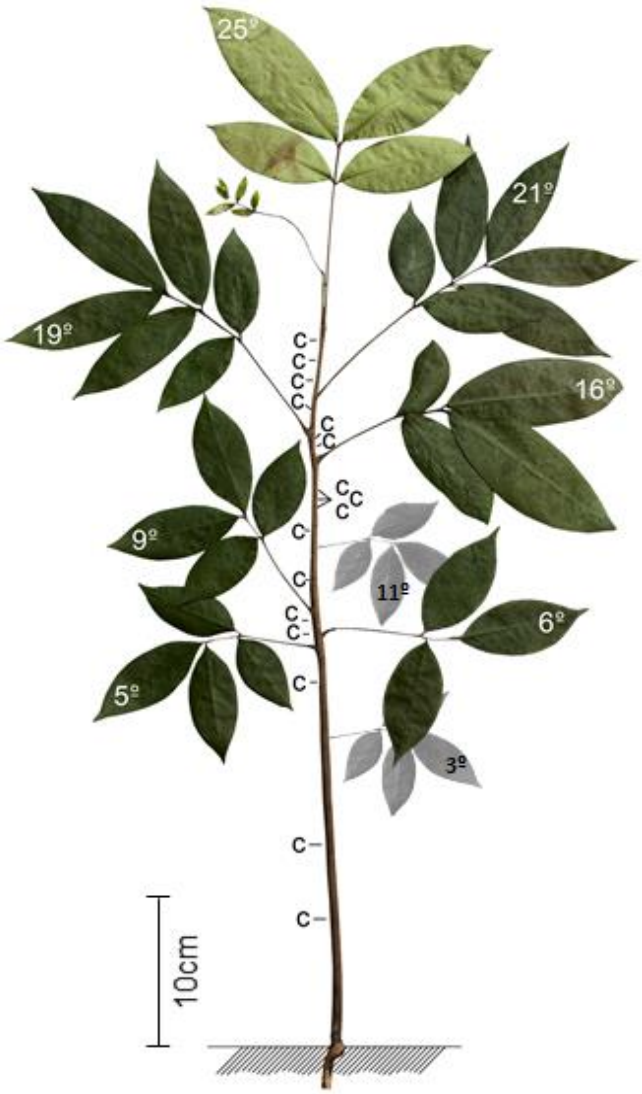

Figura 5c. Planta herborizada de *C. guianensis* (n° 414 identificada em amarelo na Figura 2) após (472) dias de desenvolvimento no viveiro. A localização dos catáfilos nas folhas é indicada pela letra C e a sequência dos nós foliares númerada. Folhas abortadas são indicadas em cinza.

Ao comparar as plantas de *C. vasquezii* (Figura 3a), *C. surinamensis* (Figura 3b) e *C. guianensis* (Figura 3c) os primeiros entrenós foram maiores do que os de estádio mais avançado. Na medição do comprimento dos entrenós foi constatada que o crescimento dos entrenós foi maior em todas as plantas até o 5º nó foliar, quando as três espécies alcançaram uma altura similar em torno de 40 cm (Figura 4). No desenvolvimento posterior (nos próximos 20 nós), o alongamento dos entrenós foi reduzido e *Carapa surinamensis* e *C. vasquezii* alcançaram uma altura média de 64,8 cm e 66,3 cm, respectivamente, enquanto que *C. guianensis* alcançou em média 75,3 cm (Figura 4). Até o 5° nó, as plantas desenvolveram primeiramente catáfilos e em seguida, folhas, em média 2,7 (*C. vasquezii)*, 1,9 (*C. surinamensis*) e 1,2 (*C. guianensis*). O que pode indicar que com a formação de folhas há redução no alongamento dos entre nós.

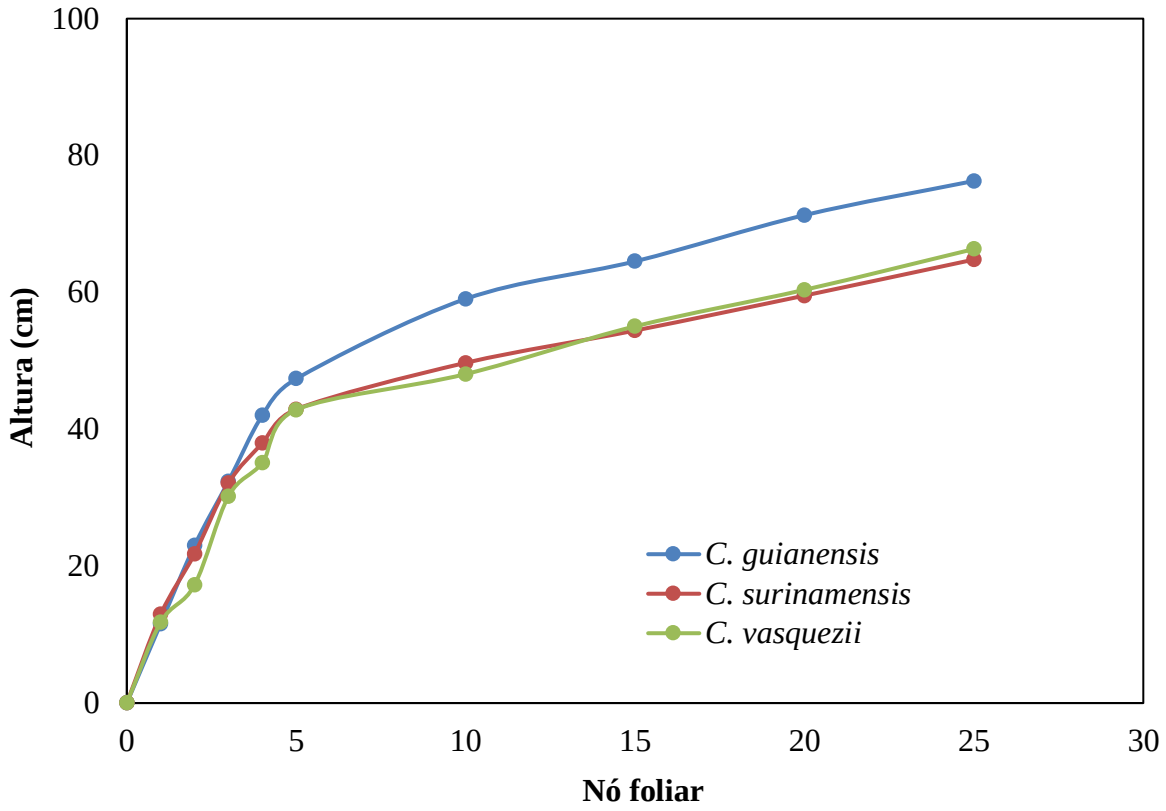

Figura 6. Crescimento em altura de *C. vasquezii*, *C. surinamensis* e *C. guianensis* ao longo do desenvolvimento das plantas do 1° ao 25° nó foliar.

Na comparação da morfologia foliar das plantas adultas, todas as três espécies possuem ápice mucronado, porém diferenciam-se pela forma do ápice e base. *Carapa vasquezii* possui ápice arredondado, base cuneada e assimétrica, *C. surinamensis* possui ápice frequentemente agudo e raramente arredondado com base cuneada e simétrica, e *C. guianensis* apresenta ápice

acuminado e base obtusa e assimétrica. A venação central das três espécies é pinada, com veias secundárias broquidódromas, com 10–12 pares em *C. vasquezii* e *C. surinamensis*, e 12–14 pares em *C. guianensis*; veias intersecundárias abundantes em *C. vasquezii* e *C. surinamensis* e raras em *C. guianensis*; terciárias reticuladas em *C. vasquezii* e *C. guianensis* e percurrentes em *C. surinamensis*; e veias quaternárias incompletas nas três espécies (Figura 5).

Os folíolos das plântulas e das plantas juvenis se diferenciam dos adultos, as três espécies apresentaram base cuneada e simétrica, e ápice acuminado. *C. surinamensis* e *C. vasquezii* possuem ápice mucronado, não sendo observado essa característica em *C. guianensis*. A venação das três espécies é pinada, com veia central saliente convexa em *C. vasquezii* e plana em *C. surinamensis* e *C. guianensis*; veias secundárias broquidódromas; veias intersecundárias presentes, menos abundantes em *C. vasquezii* e *C. surinamensis* e muito abundantes em *C. guianensis*, veias terciárias oblíquas em *C. vasquezii* e *C. surinamensis* e reticuladas em *C. guianensis*; e veias quaternárias areoladas nas três espécies, (Figura 5).

Os primeiros catáfilos e as lenticelas do caule até as primeiras folhas se mostraram úteis para a diferenciação das três espécies (Figura 6 apresenta o 1° catáfilo). Em *C. vasquezii*, os catáfilos (0,93–1,71 mm compr.) são alternos, triangulares e verdes-claros; o caule até as primeiras folhas é avermelhado; apresenta lenticelas esbranquiçadas (visíveis somente sob lente), circulares, proeminentes, muito abundantes, e distribuídas regularmente. Em *C. surinamensis*, os catáfilos (0,76–1,82 mm compr.) são alternos ou subopostos, triangulares; o caule até as primeiras folhas é castanho-claro, glabro e brilhoso, apresenta lenticelas esbranquiçadas (visíveis somente sob lente), circulares e pouco abundantes. Em *C. guianensis*, os catáfilos (0,87–3,90 mm compr.) são alternos ou opostos, triangulares; o caule até as primeiras folhas é glabro; apresenta lenticelas esbranquiçadas (visíveis somente sob lente), circulares e pouco abundantes, (Figura 6).

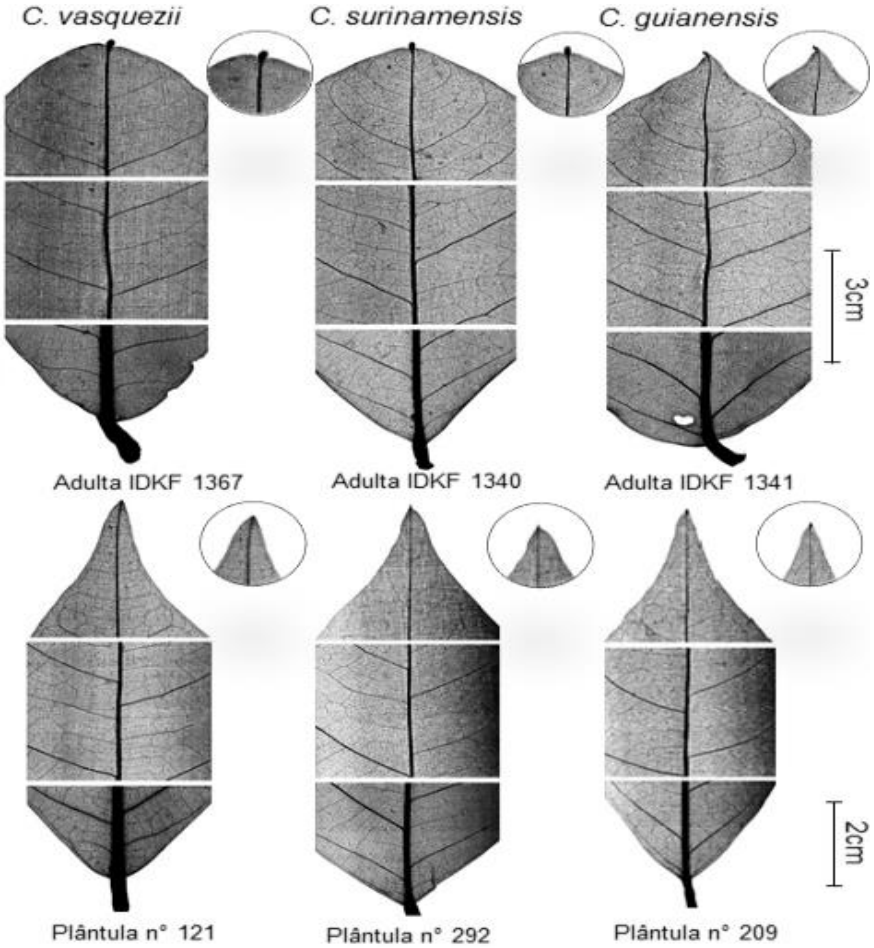

Figura 7. Comparação da morfologia e venação foliar entre um folíolo de um indivíduo na fase adulta e de um indivíduo juvenil (9° ou 10° nó foliar) para *C. vasquezii*, *C. surinamensis* e *C. guianensis*. Identificando a planta conforme a Tabela 1. Imagens de raios-x.

Na fase juvenil, os catáfilos das três espécies são alternos, opostos ou subopostos, triangulares e marrom-escuros (Figura 6, apresentado os catáfilos do 13° nó foliar) e só se diferenciam no tamanho: em *C. vasquezii* medem (1,60–4,14 mm compr.), *C. surinamensis* (0,75–2,85 mm compr.) e *C. guianensis* (0,51–2,33 mm compr.). As três espécies apresentam caule marrom-escuro, levemente estriado e rugoso, glabro e brilhoso (visíveis somente sob lente), possuem estrias ao longo de todo o caule; lenticelas amarronzadas, circulares, proeminentes e muito abundantes, e distribuídas ao longo de todo o caule, (Figura 6).

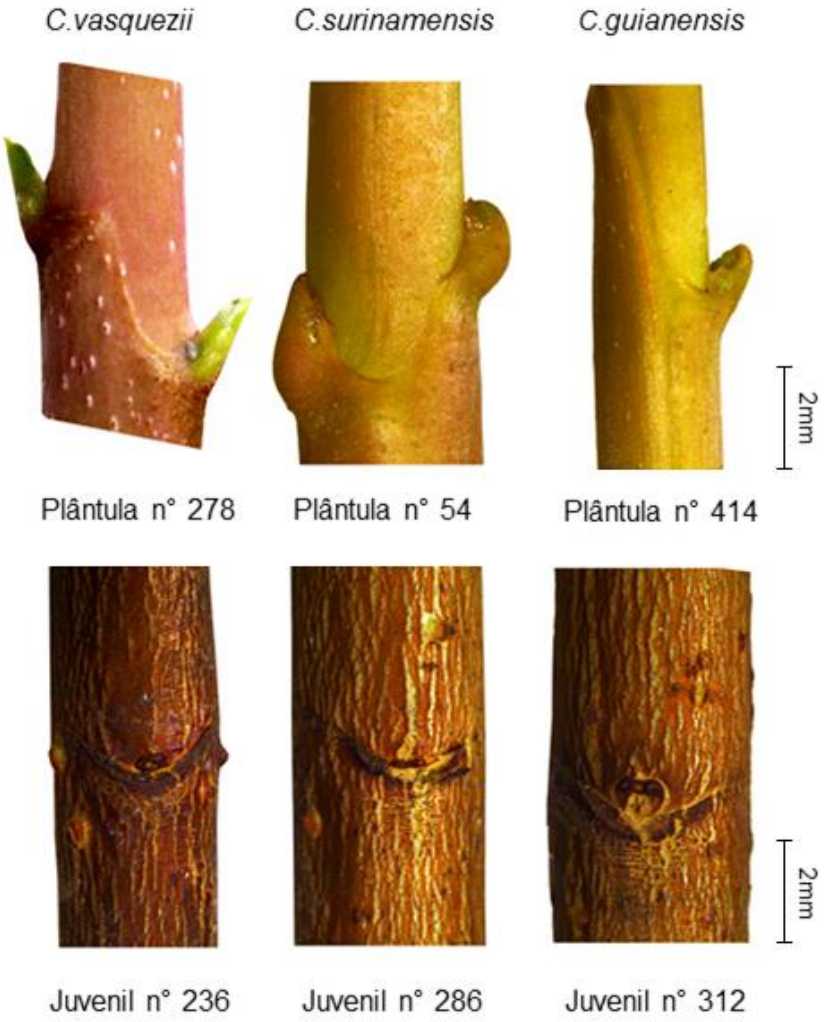

Figura 8. Comparação da morfologia de catáfilos entre indivíduos nas fases de plântula (1° nó foliar) e de juvenil (13° nó foliar) para *C. vasquezii*, *C. surinamensis* e *C. guianensis.* Identificando a planta conforme a Tabela 1.

DISCUSSÃO

As plantas adultas de *C. guianensis* possuem entre 6-8 pares de folíolos, as de *C. surinamensis* entre 7-12 pares e de *C. vasquezii* entre 6-12 pares de folíolos (Kenfack, 2011a.b). Durante o desenvolvimento, o número de folíolos por folhas aumentou em todas as espécies. Descrições morfológicas dos catáfilos, e a comparação de catáfilos entre plântula, juvenil e adulta não foram encontradas para as espécies deste estudo. Foram encontradas aqui que, os catáfilos do 1° nó foliar e as lenticelas do caule até as primeiras folhas se mostraram úteis para a diferenciação das três espécies. Diferente na fase juvenil, onde os catáfilos a partir do 13° nó foliar, só se diferenciaram no tamanho. Em um trabalho sobre plântulas de *Coupeia* spp. e

Licania spp. (Chrysobalanaceae), catáfilos e estípulas foram capazes de diferençar espécies de grupos relacionados (Isacksson, 2018).

O número de catáfilos antes da expansão das primeiras folhas pode ser constante, ou variável. Sempre um catáfilo foi observado, por exemplo, em *Parkia multijuga* e *Parkia pendula* (Camargo *et al.*, 2008); de 1 até 5 em *Trichilia elegans* (Mourão *et al.*, 2002), de 0 a 4 em *Calophyllum* aff. *brasiliense*, de 3 a 10 em *Swartzia recurva*, de 4 a 12 em *S. reticulata* e de 3 a 6 em *S. tessmannii* (Camargo *et al.*, 2008). Catáfilos após a primeira folha ou primeiro par de folhas foram encontrados em *Aniba rosaeodora* e em *Hevea brasiliense* e com menor frequência em *Hevea guianensis* (Camargo *et al.*, 2008).

Neste estudo foi verificado que todas as três espécies apresentam um catáfilo no primeiro nó e se diferenciam a partir do segundo nó foliar. Verificamos que a ocorrência de catáfilos não é restrita nos primeiros nós foliares, mas continua de forma irregular intercalado com folhas expandidas. Desta forma, não se pode confirmar o número de 3 catáfilos para *C. surinamensis* e 4 catáfilos para *C. guianensis* como citado por Fisch *et al.* (1995). O número e a sequência de catáfilos em *C. vasquezii* não foram descritos anteriormente, sendo esta uma característica aqui estudada pela primeira vez.

A emissão foliar de *Theobroma cacao* (Malvaceae) ocorre de maneira rítmica, relativamente independente do clima, o que indica que o ritmo de crescimento está sob controle endógeno (Almeida & Valle, 2007). As vezes, o ritmo de crescimento tem sido usado em explicar diferenças no crescimento devido modificações do ambiente (Peixoto, 1998). Todas as plantas deste estudo foram mantidas no mesmo ambiente com irrigação regular. Na avaliação da sequência entre catáfilos e folhas, não foi observado um padrão de crescimento e na sequência entre catáfilos e folhas expandidas nas plantas das três espécies de *Carapa* spp.

Na comparação das espécies Fisch *et al.* (1995), apresentaram a média dos números de folíolos nas folhas, em plântulas com altura de 15 cm. O presente estudo avaliou a sequência dos tipos de folhas ao longo do desenvolvimento dos nós foliares. Confirmamos que *C. guianensis* desenvolve desde o início folhas com vários folíolos diferente das folhas unifolioladas de *C. surinamensis*. Entretanto, uma comparação quantitativa com o trabalho de Fisch *et al*. (1995), não foi possível, pois o número de nós foliares não foi indicado.

Neste estudo as plântulas e juvenis de *C. vasquezii* se apresentaram mais similar de *C. surinamensis*, pois iniciam o desenvolvimento com folhas unifolioladas. Entretanto, diferente de *C. surinamensis, C. vasquezii* desenvolve este tipo de folha até o 20° nó foliar antes de iniciar a formação de folhas compostas.

Estudos que abordam aspectos taxonômicos na fase de plântulas tendem a revelar a presença de estruturas importantes, que nem sempre permanecem evidentes nos indivíduos adultos (Amorim *et al.*, 2006). As primeiras folhas em espécies florestais durante a fase de plântula podem apresentar morfologia distinta das folhas adultas (Duke & Polhill, 1981; Montoro, 2008). Esta mudança foliar foi observada na comparação de plântulas e adultas em espécies das famílias Euphorbiaceae, Fabaceae e Burseraceae (Camargo *et al.*, 2008). Em Meliaceae, *Guarea carinata* apresenta folhas unifolioladas até a fase juvenil e *Guarea silvatica* aumenta o tamanho e número de folíolos durante o desenvolvimento até alcançar 3 a 4 pares de folíolos opostos na planta adulta.

Os resultados encontrados, neste estudo, incluem mais três espécies de Meliaceae nestas observações e quantificaram as características morfológicas distintas entre plântula e adulto e entre as espécies. Ressaltando, ainda que, todos as observações das plântulas de *C. vasquezii* são novos, não descritas anteriormente.

Um crescimento rápido em altura na fase inicial do desenvolvimento no qual *C. guianensis* e *C. surinamensis* alcançaram uma altura similar no viveiro independente da insolação (pleno luz e 50% de sombreamento) e dos substratos foi relatado anteriormente por Fisch *et al.* (1995), os mesmos autores observaram também, que a partir da expansão das primeiras folhas o crescimento do caule se reduziu. No presente estudo, esta mudança no crescimento em altura foi confirmada e verificamos que o comprimento dos entrenós foi reduzido a partir do 5° nó foliar. Além disso, foi possível incluir *C. vasquezii* neste mesmo padrão. Isso indica, que as plantas investem, em primeiro lugar, não só no crescimento como também na altura e apenas com a expansão das primeiras folhas alteram a estratégia e investem em ganho fotossintético.

As sementes das três espécies apresentam muitas reservas, visto pelo peso entre 6 e 23 g, entretanto se distinguem muito em tamanho. As de *C. guianensis* são significativamente maiores (4,3-6,0 cm) do que *C. vasquezii* (2,7-3,5 cm) e as de *C. surinamensis* possuem peso intermediária 3,7-5,1 cm). Desta forma, o crescimento inicial, não parece ser influenciado pelo tamanho das reservas, pois neste estudo as plantas foram mantidas no mesmo ambiente e o crescimento se manteve similar, como também no estudo de Fisch *et al.* (1995), que relataram o mesmo fenômeno, entretanto com altura menor nas condições oferecidas.

CONCLUSÕES

Todas as espécies formam um catáfilo no primeiro nó foliar. Nos próximos nós foliares, a presença de catáfilos pode variar entre as espécies e na mesma espécie. Foram observadas até 7 catáfilos antes do desenvolvimento de folhas com lâmina foliar. Catáfilos e folhas apresentam uma sequência irregular.

Nas plântulas, os caules são distintos nos primeiros nós. Em *C. vasquezii* catáfilos são triangulares e verdes-claros, o caule até as primeiras folhas é avermelhado, com lenticelas esbranquiçadas. Em *C. surinamensis* os catáfilos são triangulares, o caule até as primeiras folhas é castanho-claro, glabro e brilhoso, apresenta lenticelas esbranquiçadas e em *C. guianensis* eles são triangulares e o caule até as primeiras folhas é glabro.

O número de folíolos por folhas aumenta durante o desenvolvimento podendo ser paripinado ou imparipinado até 28 folíolos em *C. guianensis*, 24 folíolos em *C. surinamensis e C. vasquezii* nas árvores adultas.

Na fase adulta *C. guianensis* se diferencia por ter folhas com ápice acuminado e base obtusa e assimétrica, em *C. vasquezii* o ápice é arredondado com base cuneada e assimétrica e *C. surinamensis* o ápice é agudo e raramente arredondado com base cuneada e simétrica. Um ápice mucronado foi observado nos folíolos das plântulas, juvenis e adultos em *C. surinamensis* e *C. vasquezii*, diferente do ápice acuminada sem mucro de *C. guianensis.*

Nas três espécies, o crescimento inicial até o 5° nó foliar apresentou entrenós mais alongados. Ao longo prazo, *C. guianensis* apresentou crescimento maior em altura do que as outras duas espécies.

REFERÊNCIAS

Almeida, A.A.F.; Valle, R.R. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4): 425-448.

Amoêdo, S.C. 2015. *Avaliação da viabilidade das sementes e amplitude térmica de germinação de duas espécies arbóreas amazônicas (Carapa guianensis Aubl. e Carapa surinamensis Miq.* – Meliaceae - *Capitulo 1: Temperatura de germinação e avaliação da qualidade das sementes de andiroba – Carapa surinamensis Miq*. Dissertação - INPA. Amazonas, Manaus 62p.

Amorim, I.L.; Ferreira, R.A.; Davide, A.C.; Ferreira Chaves, M.M. 2006. Aspectos morfológicos de plântulas e mudas de Trema. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(1): 86-91.

Andrade, D.B. 2014. *Sistemas de análises de sementes (SAS) na detecção de misturas varietais e de sementes esverdeadas em soja*. Dissertação – UFLA. Lavras- MG. 78 p.

Brandani, E.B. 2017. *Análise de imagens na avaliação do vigor de sementes de soja.* Dissertação – UFLA. Lavras – MG. 54 p.

Brosnan, T.; SUN, D.W. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision: a review. *Journal of Food Engineering*, 61(1): 3-16.

Camargo, J.L.C.; Ferraz, I.D.K.; Mesquita, M.R.; Santos, B.A.; Brum, H.D. 2008. *Guia de propágulos e plântulas da Amazônia*. Manaus: INPA, 168p.

Connor, K.F. et al. 1998. Effects of desiccation on seeds of *Carapa guianensis* Aubl. and *Carapa procera* D. C. *Seed Technology*. 20(1): 71-82.

Duke, J. A.; Polhill, R. M. 1981. Seedlings of Leguminosae. *In*: POLHILL, R.M; RAVEN, P. H. *Advances in Legumes Systematics*. Vol. 2. England, Royal Bot. Garden, Kew, Richmond, Surrey, p. 941-949.

Enriquez, G.E.V. 2007. *Sub-rede de Dermocosméticos na Amazônia a partir do uso sustentável de sua biodiversidade com enfoques para as cadeias produtivas da: castanha-do-pará e dos óleos de andiroba e copaíba*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília. 209p.

Ferraz, I. D. K. e Sampaio, P. T. B. 1996. Métodos simples de armazenamento das sementes de andiroba *(Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa procera* D. C. – Meliaceae). – Acta Am. 26: 137 – 144

Ferraz, I.D.K.; Camargo, J.L.C.; Sampaio, P.T.B. 2002. Sementes e plântulas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa procera* D. C.): Aspectos botânicos, ecológicos e tecnológicos. *Acta Amazonica*, 32(4): 647-661.

Fisch, S.T.V.; Ferraz, I.D.K.; Rodrigues, W.A. 1995. Distinguishing *Carapa guianensis* Aubl. From *Carapa procera* D.C. (Meliaceae) by morphology of young seedlings. *Acta Amazonica*, 25(3/4): 193-200.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. *Manual técnico da vegetação Brasileira/ IBGE*. 2° edição, nº 1 - Rio de Janeiro IBGE. Disponível em: (https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf). Acesso: 30/05/2019.

Isacksson, J.G.L. 2018. *Morfologia de frutos, sementes e plântulas de espécies neotropicais de chrysobalanaceae como suporte filogenético*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 138pp.

Kenfack, D. 2011. Resurrection in *Carapa* (Meliaceae): a reassessment of morphological variation and species boundaries using multivariate methods in a phylogenetic context. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 165(2): 186-221.

Kenfack, D. 2011a. *Carapa vasquezii* sp. nov. (Meliaceae) from western Amazon. *Brittonia*. 63(1): 7–10.

Kenfack, D. 2011b. A synoptic revision of *Carapa* (Meliaceae). *Harvard papers in Botany*, 16(2): 171-231.

McHargue, L.A., and Hartshorn, G.S. 1983. Seed and seedling ecology of *Carapa guianensis*. *Turrialba*, 33(4): 399-404.

Melo, M.F.F.; Macedo, S.T.; Daly, D.C. 2007. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de nove espécies de Protium Burm. f. (Burseraceae) da Amazônia Central, Brasil. *Acta Botânica Brasileira*, 21(3): 503-520.

Mendonça, A.P.; Ferraz, I.D.K. 2006. *Efeito do dessecamento de sementes de andiroba (Carapa procera D.C. e Carapa guianensis Aubl.) sobre o rendimento do óleo pelo método extração tradicional no Estado do Amazonas*. Anais do 3º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel – "Biodiesel: Evolução tecnológica e qualidade". Lavras: UFLA. 722-726.

Mendonça, A.P.; Ferraz, I.D.K. 2007. Óleo de andiroba: processo tradicional da extração, uso e aspectos sociais no estado do Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 37(3): 353-364.

Mendonça, A.P. 2015. *Secagem e extração do óleo das sementes de andiroba (Carapa surinamensis Miq. e Carapa guianensis Aubl.)*. Tese - INPA. Amazonas, Manaus. 88p.

Montoro, G.R. 2008. *Morfologia de plântulas de espécies lenhosas do cerrado*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. 104pp.

Mourão, K.S.M.; Dias-Pinto, D.; Souza, L.A.de; Moscheta, I.S. 2002. Morfoanatomia de plântula e do tirodendro de Trichilia catigua A. Juss., T. elegans A. Juss. e T. pallida Sw. (Meliaceae). *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 24: 601-610.

Oliveira, E.C. Morfologia de plântulas florestais. *In*: Aguiar, I.B.; Pinä-Rodrigues, F.C.M.; Figliolia, M.B. (Coord.). *Sementes florestais tropicais*. Brasília, DF: ABRATES, 1993. p.137-174.

Pantoja, T. F. 2007. *Descrição morfológica e análise da variabilidade genética para caractere de frutos, sementes e processo germinativo associado à produtividade de óleo em matrizes de Carapa guianensis Aublet, uma* Meliaceae *da Amazônia*. Jaboticabal, xvii, 82f.

Peixoto, C. P. 1998. *Análise de crescimento e rendimento de três cultivares de soja em três épocas de semeadura e três densidades de plantas*. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 151pp.

Pennington, T.D.; Styles, B.T.; Taylor, D.A.H. 1981. Meliaceae. *Flora Neotropica*, 28: 406-419.

Rodrigues, R.S; Tozzi, A.M.G.A. 2007. Morphological analysis and re-examination of the taxonomic circumscription of Acosmium (Leguminosae, Papilionoideae, Sophoreae). *Taxon*, 56(2):439–452.

Silva, S.G. 2012. *Contribuição ao conhecimento químico e de atividades biológicas dos frutos das espécies Carapa guianensis e Carapa procera (*Meliaceae*).* Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Amazonas. 201p.

Specieslink, 2010. (http://splink.cria.org.br). Acesso em 13/06/19.

Styles, B.T. 1981. Swietenioideae. *In*: Pennington, T.D.; Styles, B.T.; Taylor, D.A.H. Meliaceae. Flora Neotropica. Monograph 28. New York: New York Botanical Garden Press, pp. 359–420.

Vasconcelos, C. C. 2017. *Propágulos e plântulas de Sapotaceae – Chrysophylloideae na Amazônia: uma abordagem filogenética*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 161pp.

Yared, J.A.C.; Carpanezzi, A.A. 1981. *Conversão da capoeira alta da Amazônia em povoamentos de produção madeireira: O método do "recru" e espécies promissoras*. Boletim de Pesquisa 25, CPATU EMBRAPA, Belém, Pará. 27p.

CAPÍTULO 2

Características morfológicas dos frutos e sementes e aspectos físico-químicas do óleo das sementes de três espécies de *Carapa* da Amazônia Central

RESUMO

O óleo das sementes de três espécies de *Carapa* (*C. guianensis, C. surinamensis* e *C. vasquezii* - Meliaceae) é comercializado para fins fitoterapéutico e cosmético. As árvores apresentam aspecto similar e geralmente não existe nenhuma preocupação de qual espécie o óleo foi extraído. O objetivo deste trabalho foi distinguir por diversos meios as sementes e o óleo das três espécies. Nas sementes foram avaliadas as características biométricas, teor de água das sementes, número de sementes por kg e litro, no óleo as características físico-químicas e o valor calorimétrico. Além da possibilidade de uma distinção automática das sementes por imagem pelo equipamento GroundEye®. Sementes foram obtidas de árvores com identificação botânica nos estados do Amazonas e Pará do Brasil. Na análise estatística, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey para comparação de médias (5% de probabilidade). Houve sobreposições nas variáveis biométricas (comprimento, largura, espessura e peso), entre *C. guianensis* e *C. surinamensis*, entretanto, os valores eram distintos dos de *C. vasquezii*. O tamanho do hilo das sementes foi útil na distinção das espécies. Foi possível distinguir as três espécies pelas imagens computadorizadas avaliando a textura do tegumento das sementes com o equipamento GroundEye®. O alto teor de água das sementes de *C.vasquezii* no momento da dispersão deve se refletido no menor rendimento de óleo. O óleo de *C. vasquezii* apresentou significativamente menos calorias do que as outras duas espécies, indicando uma composição química diferenciada. Em uma primeira avaliação, *C. surinamensis* parece ter o conjunto de características mais favoráveis para a extração do óleo das sementes.

Palavras-chave: sementes, hilo da semente, GroundEye ®, óleo, calorimetria, andiroba

ABSTRACT

The seed oil of three species of *Carapa* (*C. guianensis*, *C. surinamensis* and *C. vasquezii* - Meliaceae) is commercialized for phytotherapeutic and cosmetic use.The trees look similar and in general, there is no concern exists from which species the oil has been extracted. The objective of this work was to distinguish by various means the seeds and oil of the three species. In seeds we assessed biometric measurements, seed water content and number of seeds per kg and liter and in seed oil the physical chemical characteristics and gram calorie. Furthermore tested the possibility of automatic discrimination by seed images with GroundEye®. Seeds were obtained from trees with botanical identification in the states of Amazonas and Pará of Brazil. Statistical analysis was performed by analysis of variance (ANOVA) and Tukey test for comparison of means (5% probability). Overlapping values of biometric data (length, width, thickness and weight), were assessed between *C. guianensis* and *C. surinamensis*, however the values were different from those of *C. vasquezii*. The hilo size of the seeds was useful in to discriminate the species. It was possible to distinguish the three species by computerized images evaluating the integument texture of the seeds with GroundEye® high seed moisture content of *C. vasquezii* seeds at dispersal may have resulted in the lowest yield of seed oil. *C. vasquezii* seed had significative lower gram calories than oils from the other two species, which may indicate a distinct chemical composition. In a first evaluation *C. surinamensis* seems to have the most favorable set of characteristics for oil extraction from seeds.

Keywords: seeds, seed hilum, GroundEye ®, oil, calorimetry, crabwood

INTRODUÇÃO

Mais do que uma espécie do gênero *Carapa* ocorre na Amazônia brasileira (*C. guianensis, C. surinamensis* e *C. vasquezii*), entretanto, todas são conhecidas popularmente pelos mesmos nomes com pequenas variações (andiroba, andirobinha, andiroba-branca) e, por possuírem características similares, são pouco diferenciadas quanto à sua utilização. As espécies são de múltiplo uso e de grande importância econômica, apresentam madeira nobre, sucedânea do mogno (Ferraz *et al.*, 2002). Entretanto, as árvores das andirobas são mais conhecidas pelo óleo extraído das sementes, sendo este, entre os produtos florestais amazônicos, de grande interesse econômico. O óleo de andiroba é utilizado na medicina popular, por exemplo, como cicatrizante, repelente e anti-inflamatório, também é um produto aplicado pelas indústrias de cosméticos na fabricação de sabão, xampus e cremes (Enriquez, 2007; Mendonça & Ferraz, 2007).

O óleo é exportado para mais de 50 destinos internacionais e os quatro estados do norte do país (RO, AM, MA e PA) são os produtores mais importantes (IBGE, 2015). A dificuldade de obter dados oficiais de produção mais recentes, mostra que a real dimensão de seu comércio e o potencial econômico são desconhecidos. Apesar da importância econômica do óleo, nenhum registro para incentivar plantios de andiroba foi encontrado; incentivos de crédito se direcionaram nos últimos anos para a criação de fábricas de beneficiamento do óleo (Enriquez, 2007). Isso significa que o extrativismo, ou seja, a coleta em áreas não manejadas é a forma mais usual para obter as sementes.

O óleo de andiroba possui interesse industrial, principalmente para as indústrias de cosméticos, além disso, tem potencial como biocombustível (Galdino, 2007). Há também utilização medicinal, principalmente como repelente de insetos (Miot *et al.*, 2004; Freire *et al*., 2006), inseticida (Prophiro et al., 2012), acaricida (Farias et al., 2010), atividade antimalárico ao *Plasmodium falciparum* (Miranda Júnior, 2010) e vermicida (Farias *et al*., 2010).

Três métodos de extração do óleo das sementes são conhecidos. O método tradicional que é complexo e necessita cerca de um mês para a produção do óleo. Resumidamente, o método inicia com o cozimento das sementes, armazenamento por mais de duas semanas, seguida da retirada da casca e o amassamento das amêndoas, e por último, a extração do óleo pelo gotejamento colocando a massa sobre uma superfície inclinada (Mendonça & Ferraz, 2007). No segundo método, o óleo é extraído pela prensagem das sementes, geralmente em grandes prensas comunitárias. Neste processo, as sementes são dessecadas, trituradas e

prensadas (Mendonça, 2015). E por último, a extração com solventes, o método utilizado em laboratórios, com sementes secas e trituradas. A otimização do processo de extração por solvente, depende do teor de água das sementes e a escolha do solvente (Aquino *et al.*, 2009).

No comércio, os óleos geralmente são misturados e não existe nenhuma certificação de qual espécie de *Carapa* o óleo foi extraído (Silva *et al.*, 2012). Entretanto, estudos sobre o rendimento de *C. guianensis* e *C. surinamensis*, pelo método tradicional indicam maior rendimento à *C. surinamensis* (Mendonça & Ferraz, 2006). Maior rentabilidade para esta espécie foi confirmada também pela extração com a prensa (Mendonça, 2015).

Foram encontradas diferenças na análise química das sementes, tegumento e pericarpo dos frutos de *C. guianensis* e C. *surinamensis*, nos quais foram encontrados seis diferentes limonóides. Quase todos estes limonóides foram encontrados no óleo das sementes, entretanto, o limonóide 7-desacetilgedunina foi apenas encontrado em C. *guianensis* e foi sugerido como marcador químico para a diferenciação entre as espécies (Silva, 2012b). O que reforça a importância de estudos detalhados para cada espécie. De fato, há dificuldade em distinguir as espécies de andiroba por não botânicos e, a ocorrência em lugares próximos e coletas em árvores plantadas, sem conhecimento da origem (Mendonça & Ferraz, 2007). Não há estudos comparativos avaliando as três espécies pela mesma metodologia, nem quantitativo e qualitativo, pois a *C. vasquezii* foi descrita apenas em 2011.

Baseado no conhecimento atual, as três espécies apresentam formato, tamanho e peso das sementes muito variado. O peso das três espécies varia entre 6 e 23 g, e consequentemente se distinguem muito em tamanho. As sementes de *C. guianensis* são maiores (4 – 6 cm) do que *C. vasquezii* (3 - 4 cm) e as de *C. surinamensis* possuem medida intermediária (4 -5 cm). No hilo das sementes, geralmente um dos lados é redondo e o outro agudo além de ser mais plano. O tamanho do hilo foi descrito por Kenfack (2011a). Comprimento do hilo da semente de 15 a 33 mm (≤ 16 mm nos demais).

Kenfack (2011a), em sua revisão mais recente utilizou caracteres morfológicos. *C. guianensis* se destaca pelo ápice da folha acuminada (arredondado nos demais), comprimento do pedicelo da flor (> 2,2mm nos demais); *C. surinamensis* destaca-se em merosidade floral, prioritariamente de 5 (com 4 nos demais); e *C. vasquezii* destaca-se pelo número de óvulos por lóbulo/lóculo com 6 (4 nos demais).

Pela importância comercial da andiroba, é necessário buscar descritores, não somente nas flores, mas também em sementes e mudas para permitir um uso mais racional e garantir a identidade botânica da espécie em plantios comerciais. Caso haja diferenças na composição dos

óleos das espécies, será importante conseguir distinguir as sementes automaticamente por meio de uma separação computadorizada.

A análise de imagem é um método não destrutivo que vem sendo relatado na indústria de alimentos e na agricultura (Brosnan & Sun, 2004). O equipamento GroundEye da firma TBIT, possui um software, que captura e processa as imagens das sementes. O software coleta um número grande de informações de textura, cor, geometria das sementes e uniformidade (Andrade, 2014). Vários trabalhos mostram que foi possível distinguir misturas de variedades de sementes de soja e distinguir algumas características ligadas ao vigor de sementes (Brandani, 2017).

Outra forma de diferenciar as três espécies de *Carapa* é o valor calórico das reservas das sementes. Sementes de andiroba apresentam uma alta variação de tamanho. A quantidade de reservas disponível para o crescimento das mudas aliada ao valor calórico pode ser uma informação importante para o produtor.

Contudo, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de distinguir as três espécies de *Carapa* por meio de imagens capturadas das sementes pelo equipamento GroundEye, confirmar as distinções morfológicas das sementes e frutos, e contribuir na distinção das três espécies baseado nas sementes e a composição do óleo.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e obtenção de amostras

Ramos férteis com flores e frutos de *C. guianensis*, *C. surinamensis* e *C. vasquezii* foram coletados nos estados do Amazonas e Pará, Brasil (Tabela 3). Dessas coletas, foram obtidos em primeiro lugar, a biometria dos frutos, sementes e o teor de água das sementes recém dispersas. As amostras para a análise do valor calorimétrico foram preparadas no laboratório de Sementes do INPA e em seguida no Laboratório de Dinâmica de Populações de Peixes, no INPA campus II. As sementes destinadas para a realização da captura das imagens no equipamento GroundEye e para a análise do óleo, foram acondicionadas em sacos de plásticos fechados e armazenadas a 15 °C, até ser levados por via aérea para a Universidade Federal de Lavras (UFLA). Para estas análises, as sementes foram mantidas com alto teor de água para manter a viabilidade.

Biometria frutos e sementes

Dos frutos e sementes foram obtidos dados biométricos, considerando as dimensões referentes ao comprimento, largura, espessura e peso da matéria fresca, além do comprimento e largura do hilo das sementes. Foram utilizados 52 frutos de *C. guianensis*, 76 frutos de *C. surinamensis* e 5 de *C. vasquezii*. Foram utilizadas 115 sementes para a biometria das três espécies. Para obtenção dos dados morfométricos foram utilizados balança de precisão (0,001 g) e paquímetro digital (0,01 mm).

Teor de água das sementes

O teor de água foi determinado com sementes recém beneficiadas ou recém colhidas. De cada espécie, foram retiradas 30 unidades e pesadas, individualmente com balança de precisão (0,001 g), em seguida, as sementes foram cortadas ao meio, antes da secagem a 105 °C por 24 h, as amostras foram mantidas na estufa e repesadas a cada 24h até que a amostra alcançasse o teor de água estável com a precisão de 0,1 % (Brasil, 2009). O teor de água foi expresso em percentagem da massa seca.

Bomba calorimétrica

As sementes foram armazenadas em sacos de plásticos e congeladas em ultrafreezer (-80 °C) por 48 horas. Após o congelamento, as sementes foram liofilizadas (liofilizador

Modulyod-115, Thermo Fisher®, USA -50 ± 3 °C) por 4 dias para retirada da umidade, e em seguida, armazenadas em vidros hermeticamente fechados contendo sílica gel para garantir que as sementes se mantivessem secas para posterior queima na bomba calorimétrica.

As amostras foram moídas, com a utilização de um pilão de porcelana e transferidas em recipiente específico para queima. Neste, foram pesadas (precisão 0,001g), para verificar se a massa mínima com peso de 0,5 g foi alcançada. A bomba calorimétrica tem um dispositivo composto de um cilindro de aço inoxidável de paredes rígidas e um recipiente. A amostra no recipiente foi posteriormente incendiada por meio de uma centelha elétrica. O cilindro foi lacrado e preenchido com oxigênio gasoso puro, sob alta pressão, em seguida, foi colocado em um recipiente com água com temperatura e volume de água conhecida. Na combustão (queima), a água absorve o calor liberado pela combustão da amostra. De cada espécie, as queimas foram realizadas individualmente de quatro sementes, em seguida, foi feita uma amostra mista das quatro sementes e desta foi determinado o valor calorimétrico em quadrúlica.

Tabela 3. Informações das áreas de coleta, n° de coleta e herbário INPA. Indicando as análises realizadas.

Local de coleta	Data de coleta	Nº de coleta	Herbário INPA	Biometria	GroundEye	Análise do óleo	Bomba calorimétrica
Carapa guianensis							
EEST	12/05/2017	IDKF 1200	b	analisada	analisada	analisada	
EEST	12/05/2017	IDKF 1199	b	analisada	analisada	analisada	
Est. Vázea (km 64)	19/05/2017	IDKF 1213	a	analisada	analisada	analisada	
Est. Vázea (km 64)	19/05/2017	IDKF 1210	a	analisada	analisada	analisada	
Est. Vázea (km 64)	19/05/2017	IDKF 1211	a	analisada	analisada	analisada	
Est. Vázea (km 64)	19/05/2017	IDKF 1212	a	analisada	analisada	analisada	
EEST	07/12/2017	IDKF 1343	280737	analisada			
Reserva Adolpho Ducke	14/04/2018	IDKF 1379	280740	analisada	analisada		
Reserva Adolpho Ducke	14/04/2018	IDKF 1380	b	analisada	analisada		
Reserva Adolpho Ducke	14/04/2018	IDKF 1381	b	analisada			
Reserva Adolpho Ducke	14/04/2018	IDKF 1382	b	analisada	analisada		analisada
Fazenda Santa Helena - Maués	18/07/2018	IDKF 1436	b	analisada	analisada		analisada
Vera Cruz - Maués açu	23/07/2018	IDKF 1435	b	analisada	analisada		analisada
Carapa surinamensis							
EEST	12/05/2017	IDKF 1195	a	analisada	analisada	analisada	
EEST	12/05/2017	IDKF 1196	a	analisada	analisada	analisada	
EEST	12/05/2017	IDKF 1197	a	analisada	analisada	analisada	
EEST	12/05/2017	IDKF 1198	a	analisada			
AM-010 (km 47)	18/05/2017	IDKF 1205	a	analisada	analisada	analisada	
AM-010 (km 47)	18/05/2017	IDKF 1206	a	analisada			
AM-010 (km 47)	18/05/2017	IDKF 1207	a	analisada	analisada	analisada	
BR-174 (km 28)	18/05/2017	IDKF 1208	a	analisada	analisada	analisada	
BR-174 (km 28)	18/05/2017	IDKF 1209	a	analisada			
EEST	07/12/2017	IDKF 1339	280731	analisada			
EEST	07/12/2017	IDKF 1340	280730	analisada			
Reserva Adolpho Ducke	14/04/2018	IDKF 1377	280738	analisada			
AM-010 (km 47)	25/04/2018	IDKF 1387	c	analisada	analisada	analisada	
AM-010 (km 47)	25/04/2018	IDKF 1388	280741	analisada			
AM-010 (km 47)	25/04/2018	IDKF 1389	280742	analisada			
AM-010 (km 47)	25/04/2018	IDKF 1390	280743	analisada	analisada		

AM-010 (km 47)	25/04/2018	IDKF 1391	c	analisada	analisada		
UEA - Presidente Figueiredo	12/06/2018	IDKF 1402	b	analisada	analisada		analisada
Campus INPA V8 - ASSINPA	20/07/2018	IDKF 1441	c	analisada	analisada		analisada
Campus INPA V8 - ASSINPA	20/07/2018	IDKF 1442	c	analisada	analisada		
ICMBIO - 30 km de Novo Airão	24/07/2018	IDKF 1437	c	analisada	analisada		
Reserva Adolpho Ducke	27/07/2018	IDKF 1438	c	analisada			analisada
Carapa vasquezii							
EEST	12/05/2017	IDKF 1193	b	analisada	analisada	analisada	
EEST	12/05/2017	IDKF 1194	b	analisada	analisada	analisada	
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1237	c	analisada	analisada	analisada	
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1238	c	analisada			
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1239	c	analisada			
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1240	c	analisada			
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1241	c	analisada			
Juruti/PA	13/06/2017	IDKF 1242	c	analisada			
Reserva Adolpho Ducke	03/03/2018	IDKF 1369	280733	analisada			
Reserva Adolpho Ducke	03/03/2018	IDKF 1375	280734	analisada	analisada		analisada
AM-010 (km 61) Rio Preto da Eva	03/03/2018	IDKF 1376	b	analisada			analisada

a - amostra separada para NIR
b - depositada na coleção de referência do Guia
c - depositada na carpoteca de referência do Guia

GroundEye®

As análises foram realizadas apenas com sementes viáveis e com alto teor de água de 600 sementes. Foram utilizadas 300 sementes de *C. guianensis*, 200 de *C. surinamensis* e 100 de *C. vasquezii*. Na primeira etapa, para calibração do software do equipamento GroundEye® (S800), as sementes foram postas em uma bandeja de acrílico do equipamento em repetições de 25 sementes e as imagens foram tomadas nas duas faces das sementes (lado do hilo e lado oposto). Por meio dessas imagens, o software do equipamento capturou um total de 453 características geométricas e morfológicas das sementes, como: área, diâmetro, afinamento, perímetro, circularidade, cor, textura, etc. Desta forma, o equipamento foi ajustado a cada uma das espécies, para posteriormente, ter a capacidade de distinguir automaticamente as sementes em uma amostra mista.

Determinação do teor de óleo das sementes (Conforme A.O.C.S., 1990)

Após retirada do tegumento, as sementes foram picadas com facas devido ao grande tamanho, depois moídas em moinho de facas e posteriormente secas em estufa a 105º C por 24h para iniciar as extrações.

O teor de óleo foi determinado com uma amostra de 3 g da massa seca para cada espécie em triplicata pelo extrator de Soxhlet. Inicialmente, o cartucho celulósico foi pesado e, posteriormente, a amostra foi adicionada no interior do cartucho e sua massa foi obtida em

balança analítica (0,0001 g). O cartucho com a amostra foi então colocado no extrator em um balão de fundo chato de 250 ml, ao qual foi adicionado hexano (C_6H_{14}) e pérolas de vidro. O Soxhlet foi aquecido em temperatura a 45 ºC e mantido sob refluxo por 3 horas. Após a extração, os cartuchos com as amostras foram secos e pesados. O teor de óleo foi calculado pela fórmula:

$$\text{Teor de óleo (\%)} = \frac{100 - (\text{massa final cartucho e amostra} - \text{massa do cartucho}) \times 100}{\text{massa amostra inicial}}$$

Acidez (Conforme LUTZ, 1985)

O óleo extraído das sementes foi homogeneizado e, após ficar completamente líquido, 2 g foram pesados em um frasco Erlenmeyer de 125 mL. Foram adicionados 25 mL de uma solução de éter: álcool na proporção de 2:1 com pH7 neutro e 2 gotas do indicador fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$). A titulação foi realizada com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M ou 0,01 M até o aparecimento da coloração rósea persistiu por 30 segundos. Para obtenção do valor de acidez foram utilizados os cálculos abaixo:

$$\frac{v \times f \times 5{,}61}{P} = \text{Índice de acidez mg de KOH (NaOH)/ g de óleo}$$

$$\frac{v \times f \times 100}{P} = \text{Acidez em solução molar, por cento, v/m}$$

$$\frac{v \times f \times M \times 28{,}2}{P} = \text{Acidez em ácido oleico, por cento, m/m}$$

$$f = \frac{v(esperado)}{v(gasto)}$$

v= número de mL de solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação

f= fator de solução de hidróxido de sódio calculado na sua padronização

P= número de gramas da amostra

Índice de peróxido (Conforme A.O.C.S., 1990)

Para determinação do índice de peróxido dos óleos e gorduras normais, pesou-se 5 ± 0,05 g da amostra do óleo extraído das sementes em um frasco Erlenmeyer de 250 mL, onde foi adicionado 30 mL de solução de ácido acético e ácido clorofórmio na proporção de 3:2. O frasco foi agitado até a dissolução da amostra, em seguida, foi adicionada 0,5 ml da solução

saturada de iodeto de potássio (KI) e a amostra foi mantida em repouso ao abrigo da luz por 60 segundos. Após este período, foram acrescentados 30 ml de água e realizou-se a titulação com solução de tiossulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$) 0,01 N em constante agitação, até que a coloração amarelada tenha quase desaparecido. Em seguida, foi adicionado 0,5 ml de solução de amido indicadora dando continuidade à titulação até o completo desaparecimento da coloração azulada. A prova em branco para padrão foi preparada e titulada nas mesmas condições das amostras. O índice de peróxido foi determinado pelo cálculo abaixo:

$$\frac{(A-B)\times N\times f\times 1000}{P} = \text{Índice de peróxido meq por 1000g de amostra}$$

A = n° de mL da solução de tiossulfato de sódio 0,1 (ou 0,01 N) gasto na titulação da amostra.
B = n° de mL da solução de tiossulfato de sódio (ou 0,01 N) gasto na titulação do branco.
N = normalidade da solução de tiossulfato de sódio
F = fator da solução de tiossulfato de sódio
P = n° de g de amostra

Índice de iodo pelo método de Wijs (Conforme A.O.C.S., 1990)

As amostras foram filtradas com papel filtro para remoção de quaisquer impurezas sólidas. Em seguida, foram pesadas de 0,4000 a 0,4990 g da amostra em frasco Erlenmeyer de 250 mL e adicionado 20 mL de Clorofórmio (CHC_{l3}) e 25 mL de solução de Wijs. O frasco foi tampado e cuidadosamente agitado para a homogeneização em movimento de rotação, sendo deixado em repouso ao abrigo da luz e temperatura ambiente por 30 minutos. Depois, foi adicionado 20 mL da solução de iodeto de potássio (KI) a 15% (m/v) e realizada a titulação com solução de tiossulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$) 0,1 M até o aparecimento de uma fraca coloração amarelada. A titulação continuou com a adição de 1 a 2 ml de solução indicadora de amido 1% até o completo desaparecimento da cor azul. A prova em branco para padrão foi preparada e titulada nas mesmas condições das amostras. O índice de iodo foi determinado pelo cálculo abaixo:

$$Iodo = \frac{\text{(volume do branco – volume titulado) x } 0{,}1\times\text{fator de correção}\times 12{,}69}{\text{Massa da amostra}}$$

Índice de saponificação (Conforme A.O.C.S., 1990)

As amostras foram filtradas com papel filtro para remoção de impurezas. Depois das amostras completamente secas, uma amostra de aproximadamente 10 g de óleo foi pesada, e em seguida, adicionado 50 ml da solução de acetona (C_3H_6O). Aguardou-se de 7 a 10 minutos e procedeu-se a titulação com ácido clorídrico (HC_l) 0,5 M até o desaparecimento da cor verde e o aparecimento da cor amarela. Para determinação do índice de saponificação utilizou-se o cálculo abaixo:

$$\textit{Saponificação} = \frac{\text{volume titulado x 304400x0,01}}{\text{Massa da amostra}}$$

Índice de refração (Conforme A.O.C.S., 1990)

O índice de refração foi determinado, à temperatura de 22 °C ± 2 °C, em refratômetro portátil com escala até 90 % Brix. Colocou-se uma gota de álcool comercial no refratômetro. Anotou-se a temperatura indicada do óleo e o valor de refração. O local onde a amostra foi colocada no refratômetro foi limpocom álcool após cada medida com o aparelho.

Análise dos dados

Para comparar os resultados das três espécies de *Carapa*, foi aplicada uma análise de variância (ANOVA) e o teste Tukey para comparação de médias (5% de probabilidade). Utilizou-se o programa R (R Core Team, 2019), e os R script e função disponíveis no website Ecologia e Evolução de Plantas Amazônicas (www.botanicaamazonica.wiki.br/labotam).

RESULTADOS

Dados biométricos dos frutos e sementes

Neste estudo, foram comparadas as três espécies de *Carapa* ocorrentes na Amazônia brasileira. *C. guianensis* apresentou uma amplitude maior de variação para todas as variáveis biométricas dos frutos, mostrando sobreposição com *C. surinamensis*, o que é refletido no fato destas espécies apresentarem médias biométricas estatisticamente iguais. Já *C. vasquezii* não mostrou nenhuma sobreposição de valores em relação às outras duas espécies, diferindo-se significativamente em todas as variáveis. As três espécies se diferiram significativamente apenas quanto à variável largura do fruto (mm). Considerando os dados biométricos de frutos obtidos neste estudo, os frutos de C. *guianensis* são grandes, os de C. *surinamensis* medianos e os de *C. vaquezii* são pequenos, porém, esta última, apresenta frutos com um número maior de sementes (Figura 7).

Os dados biométricos dos frutos das três *Carapa* spp. são representados por boxplots na Figura 7. Os frutos de *C. guianensis* apresentaram massa úmida média de 320 g (variando entre 140–615 g), enquanto que, os frutos de *C. surinamensis* apresentaram média de 282 g (161–470 g), e os de *C. vasquezii* apresentaram média de 130 g (128–132 g). Vale salientar que, o número de frutos a disposição não foi igual para as três espécies (n = 5 *C. vasquezii*; n = 52 *C. guianensis* e n = 76 *C. surinamensis*), (Figura 7a).

Em relação ao comprimento dos frutos, *C. guianensis* apresentou média de 83 mm (56–106 mm) e *C. surinamensis* de 80 mm (59–96 mm), não diferindo estatisticamente entre as espécies. Já *C. vasquezii* diferiu significativamente das outras duas espécies com comprimento médio de 67 mm (61–71 mm), (Figura 7b). Quanto à largura dos frutos, as três espécies diferiram significativamente, pois *C. guianensis* apresentou média de 87 mm (64–109 mm), *C. surinamensis* de 8 mm (65–105 mm) e *C. vasquezii* de 69 mm (68–70 mm), (Figura 7c). Quanto à espessura dos frutos, *C. guianensis* apresentou média de 81 mm (59–100 mm), *C. surinamensis* 77 mm (57–102 mm) e *C. vasquezii* média de 56 mm (54–58 mm), a qual foi a única a mostrar diferença estatística significativa para esta variável, (Figura 7d).

Quanto ao número de sementes por fruto, *C. vasquezii* foi a que apresentou número maior de sementes com média de 14 sementes (variando entre 13–15), enquanto que, o número de sementes não diferiu significativamente entre *C. guianensis* (média de 11 com variação de 6–16) e *C. surinamensis* (média de 11, variando de 7–16), (Figura 7e).

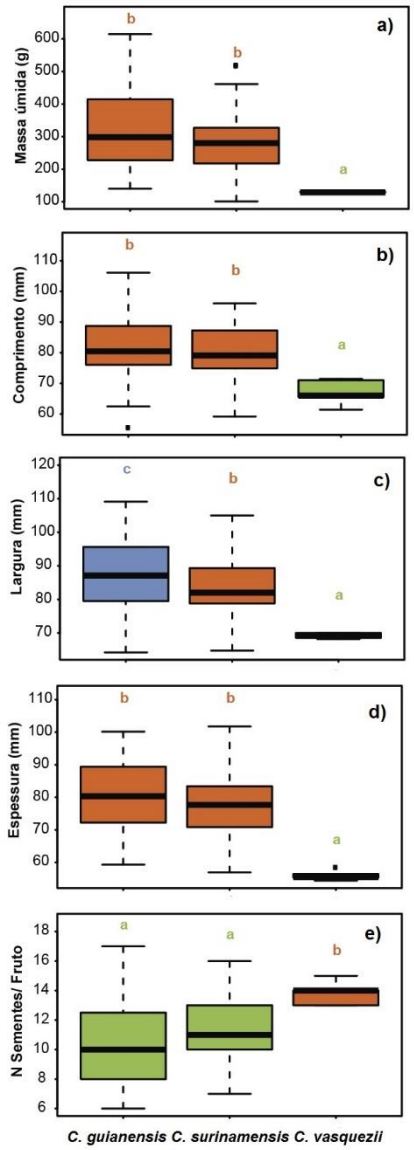

Figura 9. Variáveis biométricas dos frutos de três espécies de *Carapa* (Meliaceae) da Amazônia Central. Os boxplots representam a massa úmida (g), comprimento (mm), largura (mm), espessura (mm) e nº sementes/fruto. Letras diferentes indicam diferenças significativas pela ANOVA, seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na comparação das sementes, as três espécies se diferiram estatisticamente em todas as variáveis biométricas (Figura 8 a-f). A massa úmida das sementes (Figura 8a) de *C. guianensis* apresentou em média 23 g (8 – 41 g) e as de *C. surinamensis* 17,2 g (9,0 – 29,0 g), ao passo que as de *C. vasquezii* foram significativamente menores em relação às outras duas espécies, com média de 6 g (3 – 10 g). No comprimento das sementes (Figura 8b), *C. guianensis* foi maior em

relação às outras duas espécies, apresentando média de 44 mm (22–61 mm), enquanto que *C. surinamensis* 38 mm (30–51 mm) e *C. vasquezii* em média 28 mm (19–35 mm).

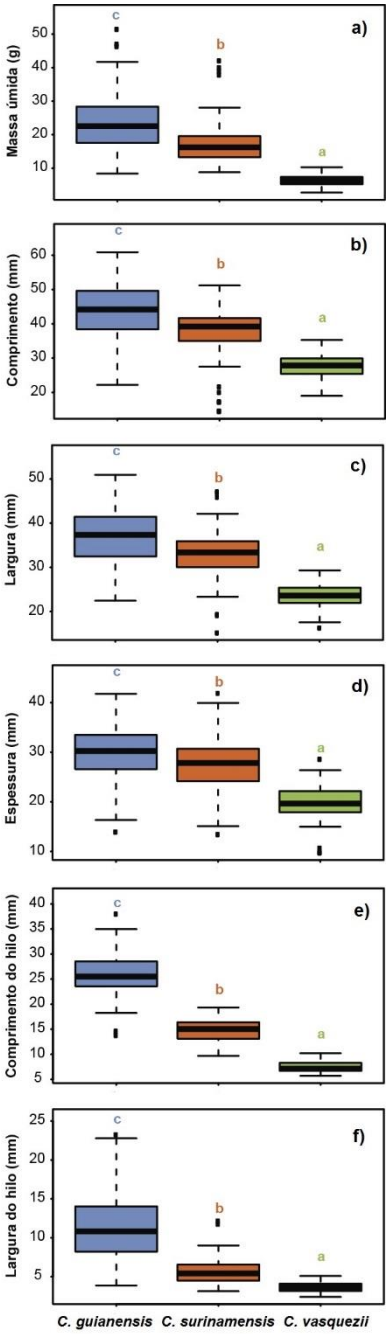

Figura 10. Variáveis biométricas das sementes de três espécies de *Carapa* (Meliaceae) da Amazônia Central. Os boxplots representam a massa úmida (g), comprimento (mm), largura (mm), espessura (mm), comprimento do hilo (mm) e largura do hilo (mm). Letras diferentes indicam diferenças significativas pela ANOVA, seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na largura das sementes (Figura 8c), *C. guianensis* apresentou em média 37 mm (22–51 mm), as de *C. surinamensis* em média de 33 mm (22–41 mm), e as sementes de *C. vasquezii*,

foram menores com média de 23 mm (16,3 – 29 mm). Na espessura das sementes, *C. guianensis* apresentou em média 30 mm (15–42 mm), *C. surinamensis* 28 mm (13–39 mm) e as sementes de *C. vasquezii* foram mais espessas com média de 56 mm (54–58 mm), (Figura 8d).

O hilo das sementes de *C. guianensis* se diferencia por conter restos de tecidos da columela do fruto. No beneficiamento, os hilos precisam ser raspados com faca, enquanto que, os hilos de *C. surinamensis* e *C. vasquezii*, são sempre livres destes tecidos. O comprimento e largura do hilo das sementes de *C. guianensis* são maiores em relação aos de *C. surinamensis* e *C. vasquezii*. No comprimento do hilo, (Figura 8e), *C. guianensis* apresentou em média 25 mm (18–35 mm), *C. surinamensis* 15 mm (10–19 mm) e *C. vasquezii* apresentou medidas menores, com 7,5 mm (5–10 mm). O hilo foi mais largo em *C. guianensis* com média de 11 mm (4–23 mm), em comparação com *C. surinamensis* 6 mm (3–9 mm), os menores foram obtidos em *C. vasquezii* com média de 3 mm (2–5 mm), (Figura 8f).

GroundEye® como uma ferramenta discriminante

No geral, o equipamento GroundEye® avalia um total de 453 descritores de textura, cor, geometria e uniformidade das sementes. Dos 32 descritores relacionados à textura, um total de 12 se mostraram informativos e conseguiram diferenciar significativamente as três espécies de *Carapa* (Tabela 4). Entretanto, a diferenciação dependia da posição da semente no equipamento. Na posição de hilo para cima, apenas textura Laws LE não conseguiu discriminar entre as três espécies e na posição de hilo para baixo, apenas Run Length: HGRE não consegue diferenciar *C. surinamensis* das outras duas espécies.

Tabela 4. Características de texturas Laws e Run Length das três espécies de *Carapa*, baseado na avaliação das duas faces das sementes com hilo (semente com hilo para cima e hilo para baixo).

Variáveis GroundEye	**Espécies**		
	C. guianensis	***C. surinamensis***	***C. vasquezii***
Sementes com hilo para cima			
Laws_ER	274111.9 c	242246.2 b	200531.8 a
Laws_ES	253231.9 c	222812.2 b	187736.3 a
Laws_EW	259637.8 c	229032.5 b	190607.0 b
Laws_LE	- 51691.3 a	7948.8 ab	39616.0 b
Laws_LR	310675.1 c	273677.0 b	226222.2 a
Laws_LS	274700.6 c	254197.2 b	198115.9 a
Laws_LW	304792.5 c	269147.4 b	218005.3 a
Laws_RW	276544.2 c	242809.7 b	204246.6 a
Laws_SR	263103.7 c	233550.9 b	192545.9 a
Laws_SW	253308.8 c	224547.5 b	186509.2 a
Textura_Run Length_GDL	46269.9 c	30115.0 b	15854.5 a

Textura_Run Length_HGRE	1557.2 a	1944.7 b	2192.6 c
Sementes com hilo para baixo			
Laws_ER	315858.1 c	232558.1 b	201828.0 a
Laws_ES	294027.7 c	215602.5 b	189076.0 a
Laws_EW	299954.2 c	220847.2 b	191794.1 a
Laws_LE	- 33648.2 a	28783.4 ab	59743.9 a
Laws_LR	350864.5 c	260593.2 b	225901.1 a
Laws_LS	332360.5 c	249747.9 b	188843.2 a
Laws_LW	346162.7 c	255088.7 b	217127.2 a
Laws_RW	318739.2 c	234071.2 b	205070.8 a
Laws_SR	304741.3 c	224549.2 b	194297.7 a
Laws_SW	294875.3 c	217096.5 b	188658.1 a
Textura_Run Length_GDL	48337.4 c	31331.8 b	17376.4 a
Textura_Run Length_HGRE	1723.6 a	1818.2 ab	1940.5 b

Análise dos óleos

As características físico-químicas do óleo das sementes das três espécies de *Carapa* são apresentadas na Tabela 5. Houve diferença significativa no teor do óleo, *C. guianensis* obteve 35,93 %, C. *surinamensis* com 46,11% e *C. vasquezii* com 38,57%.

No índice de peróxido, *C. guianensis* apresentou valores mais altos (11,6 meq/kg) do que as outras duas espécies (4,5 – 3,0 meq/kg). O índice de iodo apresentou valores mais altos em *C. guianensis* e *C.vasquezii* (68,6 – 71,1 ml/g, respectivamente), com diferença significativa em *C. surinamensis* (49,8 ml/g). Na saponificação, o óleo de *C. surinamensis* (47,6 mg/g) se destacou das outras duas espécies com valores similares (C. *guianensis* 60,8 e *C. vasquezii* 75,9mg/g). Em relação à densidade, o óleo de *C. vasquezii* foi menos denso (0,89 g/ml) do que as outras (0,96 – 0,90 g/ml). Com respeito aos resultados dos índices de refração à temperatura de 22 ºC não houve diferença significativa entre as três espécies, sendo observados 1,46 de refração.

Os dados de calorimetria das reservas das sementes mostram que *C. vaquezii* se difere significativamente das demais espécies. A quantidade de caloria em C. *vasquezii* foi menor (11,26 kcal/g) em relação a *C. guianensis* (15,33 kcal/g) e *C. surinamensis* (14,67 kcal/g), Tabela 5.

Tabela 5. Características físico-químico do óleo das sementes e análise calorimétrica das reservas das sementes de três espécies de *Carapa* (Meliaceae) da Amazônia Central. Letras diferentes indicam diferenças significativas pela ANOVA, seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Variáveis		*C. guianensis*	*C. surinamensis*	*C. vasquezii*
Teor de óleo	(%)	35,93 c	46,11 a	38,57 b
Peróxido	meq/kg	11,60 a	4,52 b	3,01 b
Iodo	ml/g	68,67 a	49,87 b	71,14 a
Saponificação	mg/g	60,81 ab	47,63 b	75,99 a
Acidez	mg/KOHg	6,18	2,69	N.D
Densidade	g/ml	0,96 a	0,90 a	0,89 b
Refração	nD	1,46 a	1,46 a	1,46 a
Calorimetria da semente	kcal/g	15,33 a	14,67 a	11,26 b

O teor de água e o peso seco das sementes foram significativamente diferentes entre as três espécies, com um teor de água mais alto em *C. vasquezii* com 69,7% em relação às outras duas espécies, em que *C. surinamensis* apresentou 58,1% e *C. guianensis* 46,7%, (Tabela 6). O peso seco das sementes foi maior em *C. guianensis* com média de 13,8 g, em comparação de 9,1g *C. surinamensis* e 2,1g em *C. vasquezii*.

Devido ao tamanho das sementes, o número de sementes por quilo para as três espécies foi diferente. *Carapa vasquezii* possui sementes menores, necessitando de 173 sementes por quilo, enquanto que, *C. surinamensis* necessita 66 sementes e *C. guianensis* 29 sementes por quilo. Consequentemente, ao avaliar o número de sementes por litro, foram contadas 19 sementes para *C. guianensis*, 44 sementes para *C. surinamensis* e 122 sementes por litro para *C. vasquezii*, (Tabela 6).

Tabela 6. Teor de água, peso seco da semente, número de sementes por quilo e número de sementes por litro de três espécies de *Carapa* (Meliaceae) da Amazônia Central. Letras diferentes indicam diferenças significativas pela ANOVA, seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Variáveis		*C. guianensis*	*C. surinamensis*	*C. vasquezii*
Teor de água da semente recém dispersa	**(%)**	46,6 (±4,3) a	58,1 (±6,4) b	69,7 (±9,2) c
Peso seco da semente	**(g)**	13,8 (±4,0) c	9,3 (±3,6) b	2,1 (± 0,8) a
Sementes/kg	**n**	29	66	173
Sementes/l	**n**	19	44	122

DISCUSSÃO

A caracterização biométrica de frutos e sementes pode fornecer importantes subsídios para a diferenciação de espécies do mesmo gênero (Cruz *et al*., 2001; De-Carvalho *et al.*, 2005), importante principalmente para aquelas que ocorrem na mesma região, como as espécies de *Carapa* aqui estudadas. Além disso, a biometria dos frutos pode fornecer informações sobre aspectos ecológicos como o tipo de dispersão, agentes dispersores e estabelecimento das plântulas (Oliveira, 1993; Carvalho *et al.*, 2003; Matheus e Lopes, 2007).

Em um estudo realizado por Ferraz *et al*., (2002) foram comparados biometricamente frutos e sementes de *C. guianensis* e *C. surinamensis* (antes conhecida como *C. procera*). Os dados de frutos de *C. guianensis* são similares aos dados do presente estudo, porém, os frutos de *C. surinamensis* observados por Ferraz *et al.*, (2002), apresentaram peso da massa úmido menores com média de 198 g (71-340 g), do que as observadas neste estudo com massa média de 281 g (101 – 519 g). Essa variação pode estar relacionada a uma possível mistura de frutos, pois *C. surinamensis* e *C. vasquezii* são semelhantes e esta última só foi descrita em 2011. As demais variáveis foram similares às encontradas neste estudo.

Os dados biométricos dos frutos neste estudo corroboram com a revisão de Kenfack (2011b), que encontrou frutos com comprimento de 7-10 cm para *C. guianensis*, e 6-7 cm para *C. vasquezii*. Entretanto, os frutos de *C. surinamensis* diferem de Kenfack (2011b), que relatou frutos menores entre 8-10 cm (Figura 2) em comparação de 10-12 cm deste estudo. Os demais valores foram similares. Pennington *et al*., (1981), em sua descrição das espécies *C. guianensis* e *C. surinamensis* (anteriormente como *C. procera*), não avaliou dados biométricos dos frutos.

O número de valvas por fruto não diferiu entres as espécies neste estudo, sendo observadas quatro valvas para as três espécies, o que corrobora com os dados observados por Kenfack (2011a, b). Porém, Pennington *et al*., (1981) e Ferraz *et al*., (2002) observaram de quatro a seis valvas em frutos de *C. guianensis* e *C. surinamensis* que pode de novo indicar uma possibilidade de amostras misturadas de várias espécies.

Na comparação das sementes, todas as variáveis biométricas apresentaram diferenças significativas entre as três espécies. Os resultados de Ferraz *et al.*, (2002), foram similares com os resultados encontrados neste estudo, porém, os autores não realizaram medidas do hilo. Pennington *et al*., (1981) em sua descrição, avaliaram somente o comprimento das sementes de *C. guianensis* e *C. surinamensis*, e apresentaram resultados similares com os do presente trabalho.

As diferenças biométricas do hilo das sementes entre as três espécies de *Carapa* foram avaliadas pela primeira vez por Kenfack (2011a), sendo que *C. guianensis* apresentou hilo com 15–33 mm de comprimento, *C. surinamensis* com 10-16 mm e *C. vasquezii* 3-7 mm. Essas características foram similares com os resultados deste estudo para *C. guianensis* e *C. surinamensis*. As sementes de *C. vasquezii* apresentaram comprimento do hilo maior que o obtido por Kenfack (2011a), variando de 6 a 10 mm, (Figura 2). O tamanho e a largura do hilo das sementes, se mostraram ser características muito úteis para distinguir as três espécies.

A análise computadorizada de imagens se destaca por ser rápida, objetiva e não destrutiva, e permite extrair informações sobre tamanho, forma, textura e cor das sementes (Krause *et al.*, 2017). Em um estudo realizado por Torres (2018), caracterizando genótipos e cruzamentos entre populações de *Passiflora*, através da fenotipagem digital, observou que, as características de maior contribuíção foram as variáveis de textura. Devido à grande variação no tamanho e forma das sementes de andiroba e a coloração similar, apenas as características relacionadas com a textura forneceram a possibilidade de distinção. Dentro as 12 opções oferecidas pelo equipamento, a Textura Laws e Textura Run length diferiram as três espécies.

Os descritores de textura estão relacionados com propriedades da superfície como a rugosidade e contrastes criados pela variação tonal ou pela repetição de padrões visuais sobre uma região. As texturas, Laws e Run Length são texturas que não apresentam regularidade geométrica (Chierici, 2015).

O rendimento do óleo pode estar relacionado aos procedimentos de extração, ao período de armazenamento das sementes antes da extração ou ao tamanho das sementes (Mendonça & Ferraz, 2007; Menezes, 2005). Em estudos anteriores, foi comparado apenas a quantidade de óleo das sementes de *C. guianenis* e *C. surinamensis*. Pelo método tradicional, a quantidade de óleo extraível foi maior para *C. surinamensis* (Mendonça & Ferraz, 2007), como também pela extração por prensa (Mendonça, 2015). Este estudo confirmou o maior rendimento em *C. surinamensis*, seguido pelo *C. guianensis* e atestou a menor rentabilidade para *C. vasquezii*.

As propriedades físico-químicas do óleo podem mudar de acordo com a espécie e o método de extração. Neste estudo, os óleos das sementes foram extraídos simultaneamente com os mesmos procedimentos, desta forma supõe-se que as diferenças encontradas dependem principalmente das espécies. O índice de peróxidos é um indício de deterioração, o que resulta na alteração do sabor e odor do óleo (Moretto *et al.*, 2002; Reda, 2004; Adolfo Lutz, 2008). Um valor inferior aos 15 meq/kg é estabelecido pelos órgãos regulamentadores de qualidade de óleos vegetais (Brasil, 2005). O índice de peróxidos encontrado no óleo de *C. guianensis* foi

de 1,96 meq kg^{-1} (Silva, 2018), e de 3,84 meq kg^{-1} (Marques *et al.*, 2016). Neste estudo, quanto aos óleos, foram recém extraídos de sementes frescas, os índices de peróxido dos óleos foram sempre inferiores do limite permitido. O menor valor foi encontrado em *C. vasquezii* (3,0 meq kg^{-1}) e *C. surinamensis* (4,5 meq kg^{-1}) e maior em *C. guianensis* (11,6 meq kg^{-1}).

O índice de iodo está relacionado com reações químicas de halogenação presente em ácidos graxos insaturados, no entanto, tem sido utilizado também como estimativa do grau de insaturação de óleos vegetais (Silva, 2018). Neste estudo, o índice de iodo dos óleos de *C. vasquezii* e *C. guianensis* foram maiores (71,1ml g^{-1}, e 68,67ml g^{-1}, respectivamente), em relação a *C. surinamensis* (49,87 ml g^{-1}). Provavelmente, deve-se ao maior grau de insaturação das cadeias carbônicas do óleo da *C. vasquezii* e *C. guianensis*. Os dados confirmam também os resultados de Mendonça (2015), que obteve índice de iodo maior em C. *surinamensis* (69,66 a 83,88 mg I2 100 g^{-1}) do que em *C. guianensis* (59,03 a 76,26 mg I2 100 g^{-1}). Os valores mais altos podem ser relacionados com método de extração pela prensa. Já Silva (2018), encontrou valores ainda mais altos em *C. guianensis* com índice de iodo de 89,77 ml g^{-1} e classificou o óleo como semi-seco, devido à faixa de 80 a 140 ml g^{-1} (Cecchi, 2003). No entanto, neste estudo, a extração foi feita no laboratório com solventes. A comparação dos resultados pode indicar que o método de extração afeta o índice de iodo.

A saponificação está relacionada com as características de cada óleo vegetal, como comprimento de cadeias e números de insaturações (Moretto & Fett, 1998). O índice de saponificação é um parâmetro importante da qualidade de óleos vegetais. Marques *et al.*, (2016), encontraram valor de 172,0 mg/g KOH g^{-1} em *C. guianensis*. Mendonça (2015), observou valores similares para *C. guianensis* (168,12 a 211,02 mg/g KOH g^{-1}), entretanto, os valores foram maiores em C. *surinamensis* (204,99 a 218,54 mg/g KOH g^{-1}). O óleo das sementes de *C. guianensis* analisadas por Silva (2018), apresentou um alto índice de saponificação de 238,84 mg/g KOH g^{-1}. Todos estes valores foram muito superiores ao deste estudo, que em *C. guianensis* apresentou 60,81 mg/g KOH g^{-1}, em *C. surinamensis* o índice foi menor com 47,63 mg/g KOH g^{-1} e *C. vasquezii* obteve maior índice de saponificação em relação às outras duas espécies, com 75,99 mg/g KOH g^{-1}.

A determinação do índice acidez pode fornecer um dado importante na avaliação do estado de conservação do óleo. De acordo com Angelucci *et al*., (1987), o aumento da acidez de um óleo bruto aumenta a perda da neutralização, podendo ser também indicador de sementes de baixa qualidade, de armazenamento e de manuseio das mesmas. O índice de acidez do óleo das sementes de C. *surinamensis* (3,37 a 12,52 mg KOH g^{-1}) foi maior em relação a *C.*

guianensis (2,14 a 4,74 mg KOH g^{-1}), (Mendonça, 2015). No presente estudo, o índice de acidez em *C. guianensis* foi (6,18 mg KOH g^{-1}), maior em comparação a *C. surinamensis* com (2,69 mg KOH g^{-1}). No entanto, os valores estão dentro do que é permitido (4,0 mg KOH g^{-1}) pelos órgãos regulamentadores de identidade e qualidade de óleos vegetais (Brasil, 2005). Em *C. guianensis* o índice de acidez foi superior ao estabelecido pelos órgãos regulamentares. Devido a pouca quantidade de sementes de *C. vasquezii* neste estudo, não foi possível analisar o índice de acidez para esta espécie.

A composição dos óleos vegetais, em sua maior parte, é formada por triglicerídeos, a densidade aumenta com a massa molecular da cadeia dos ácidos graxos e o grau de saturação. Tratando-se de óleos vegetais, a quantidade de ácidos graxos insaturados é maior, assim a, densidade torna-se menor do que em óleos de origem animal (Ribeiro e Seravalli, 2004). Através da densidade, é possível verificar se houve adulteração no óleo pela adição de água ou substâncias dissolvidas dentro das amostras (Almeida *et al.,* 2011). Na determinação da densidade dos óleos das três espécies, neste trabalho, verificamos que *C. guianensis* e *C. surinamensis* não possuem diferenças significativas (0,96 – 0,90 g/ml), diferente de *C. vasquezii* (0,89 g/ml), que foi significativamente menos denso. As densidades foram um pouco superiores aos de Melo *et al*., (2014), no qual encontraram 0,86 e 0,88 g/ml.

O índice de refração se diferencia da densidade, pois, o valor aumenta com a quantidade de insaturações na cadeia carbônica, e vem sendo muito utilizado como critério de qualidade e identidade dos óleos vegetais (Almeida *et al.,* 2013). Isso pode explicar o porquê dos três óleos apresentarem os mesmos valores.

O teor calórico das reservadas das sementes das três espécies estudadas mostrou que *C. guianensis* (15,33 kcal/g) e *C. surinamensis* (14,67 kcal/g) apresentam valores similares e mais altos do que *C. vasquezii* (11,26 kcal/g). A quantidade das calorias é uma indicação que a composição química das reservas desta espécie deve diferir das demais, pois, as calorias estão expressas em cal/g, independentemente do tamanho das sementes.

Na determinação do teor de água das sementes recém coletadas, as três espécies foram significativamente diferentes. *C. vasquezii* possui um alto teor de água (69,7 %), seguido por *C. surinamensis* (58,1%) e *C. guianensis* (46,6 %). A comparação de dados com estudos anteriores foi possível com *C. surinamensis*. Amôedo (2015), observou que sementes de *C. surinamensis* apresentaram teor de água entre 46,6% e 53,4%, valores de 40% foram determinados por Connor *et al.,* (1998) e 51% por Ferraz *et al.,* (2002). Desta forma, há uma grande variação nos resultados para a mesma espécie, que pode estar relacionada com a

procedência, as condições climáticas durante a frutificação, ou na metodologia da determinação do teor de água.

Em estudos com a *Bertholletia excelsa*, Bentes *et al*., (2018), observaram que o teor de água do tegumento foi sempre maior do que do embrião e esta diferença aumentou em sementes mais secas; utilizando sementes inteiras, o teor de água do embrião pode-se superestimado em até 2,6 vezes. Desta forma, os autores recomendam que, para fins de uma avaliação fisiológica das sementes, o teor de água deve ser avaliado do embrião e não da semente inteira. Apesar deste estudo foi feito com uma outra espécie, a abordagem pode ser aplicada também nas sementes de andiroba. O tegumento destas sementes é duro e lenhoso, e pode afetar o valor do peso das sementes. No presente estudo, o teor de água foi determinado com sementes inteiras, sem a retirada do tegumento. Desta forma, o teor de água da semente pode ser superestimado. Recomenda-se outros estudos para verificar se as discrepâncias entre os resultados podem ser esclarecidas.

CONCLUSÕES

Os resultados ratificam a importância de dados biométricos de frutos para a distinção de espécies. Os diásporos de *C. vasquezii* se distinguiram em todas as variáveis de *C. guianensis* e *C. surinamensis*. Na comparação das sementes, todas as variáveis biométricas apresentaram diferenças significativas entre as três espécies. Principalmente, as características do hilo como os resíduos dos tecidos da columela e o comprimento e largura do hilo, são de fácil observação individual. A análise computadorizada das imagens das sementes, se mostrou promissor para uma distinção mecanizada. A análise dos óleos, especificamente, o valor calórico, a saponificação e a densidade indicam que há diferenças entre as espécies. Desta forma, recomenda-se um estudo mais detalhado na análise destes óleos. Se há interesse comercial de explorar no futuro os óleos por espécie, os resultados deste estudo podem fornecer os subsídios de distinguir os frutos e sementes.

CONCLUSÃO GERAL

O trabalho abordou no primeiro capítulo, a morfologia do desenvolvimento das plântulas até juvenis com 25 nós foliares e comparou com plantas adultas das três espécies de andiroba com ocorrência na Amazônia brasileira. Os resultados revelam que tanto plantas adultas como juvenis podem ser distintas pela forma do ápice e a presença de mucro, o formato dos catáfilos é útil na fase de plântula. Todas as espécies formam um catáfilo no primeiro nó foliar. Nos próximos nós foliares a presença de catáfilos pode variar entre as espécies e na mesma espécie. Foram observadas até 7 catáfilos antes do desenvolvimento de folhas com lâmina foliar. Catáfilos e folhas com lâmina foliar apresentam uma sequência irregular ao longo do desenvolvimento. Em geral, *C.guianensis* apresentou mais catáfilos do que *C. surinamensis* e *C. vasquezii* antes da primeira folha expandida. O número de folíolos por folhas aumenta durante o desenvolvimento podendo ser paripinado ou imparipinado. Entretanto, as folhas expandidas apresentaram mais folíolos em *C. guianensis* do que em *C. surinamensis* e *C. vasquezii*. Foi denotado nas juvenis, que *C. surinamensis* desenvolve inicialmente folhas unifolioladas que facilita a distinção, observado neste estudo até o 25 nó foliar, apenas após esta fase são desenvolvidos mais folíolos por folha. O crescimento inicial até o 5° nó foliar apresentou nas três espécies, entrenós mais alongados, em seguida, os entrenós foram mais curtos. Baseado na altura total, *C. guianensis* apresentou crescimento maior em altura do que as outras duas espécies.

O segundo capítulo visou a distinção morfológica dos frutos e sementes e apresentou a calorimetria e características físico químico dos óleos.

Em relação à biometria dos frutos e sementes, *C. guianensis* apresentou os maiores frutos e sementes, entretanto, a variação foi muito grande e houve muita sobreposição com a *C. surinamensis* nas variáveis estudadas. No entanto as de *C. vasquezii* foram em todos os aspectos diferentes. O tamanho e a largura do hilo das sementes, sendo a largura estudado aqui pela primeira vez, foram muito úteis para distinguir as três espécies. A análise computadorizada de imagens pelo GroundEye® conseguiu distinguir as sementes das três espécies em doze aspectos de textura.

Na análise dos óleos detectou-se diferenças na rentabilidade dos óleos entre as três espécies. Também detectou-se diferenças qualitativas, como no teor de calorias, na saponificação e densidade, o que pode indicar uma composição química diferenciada. Outras características físico-químico que distinguiram sempre uma das três espécies. Baseado nestes

dados, *C. surinamensis* apresenta o conjunto das características mais favoráveis para extração do óleo das sementes. Entretanto, os resultados recomendam um estudo com maior detalhamento dos óleos das três espécies.

Espera-se que este trabalho possa contribuir no desenvolvimento de estratégias de conservação e gestão sustentável dos recursos genéticos florestais amazônicos, podendo agregar valor aos produtos florestais não madeireiros e trazer benefícios para aprimorar o uso das sementes de andiroba ao nível local, regional e internacional.

REFERÊNCIAS

Almeida, K.M.; Medeiros, E.P.; Gomes, J.P.; Sousa, E.P e Santos, J.W. 2013. *Caracterização físico-química de misturas de óleos vegetais para fins alimentares.* Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. 8 (1): 218 – 222.

American Oil Chemists' Society. Official methods and recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. 4th ed. Champaign, USA, A.O.C.S., 1990. [A.O.C.S. Official method Cc 7-25].

Amoêdo, S.C. 2015. *Avaliação da viabilidade das sementes e amplitude térmica de germinação de duas espécies arbóreas amazônicas (Carapa guianensis Aubl. e Carapa surinamensis Miq.* – Meliaceae - *Capitulo 1: Temperatura de germinação e avaliação da qualidade das sementes de andiroba – Carapa surinamensis Miq*. Dissertação - INPA. Amazonas, Manaus 62p.

Andrade, D.B. 2014. *Sistemas de análises de sementes (SAS) na detecção de misturas varietais e de sementes esverdeadas em soja*. Dissertação – UFLA. Lavras- MG. 78 p.

Angelucci E.; Carvalho L.R.; Carvalho N.R.P.; Figueiredo B.I.; Mantovani B.M.D.; Moraes M.R. 1987. *Análise química de alimentos*. Campinas, São Paulo. 123p (Manual Técnico).

Aquino, L.P.; Ferrua, F.Q.; Borges, S.V.; Antoniassi, R.; Correa, J.L.G.; Cirillo, M.A. 2009. Influência da secagem do pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) na qualidade do óleo extraído. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, 29(2): 354-357.

Brasil. Resolução RDC/ANVISA/MS nº 270, de 22 setembro de 2005. Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395 p.

Bentes et al, 2018. Physiologically meaningful moisture content determination for Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) seeds. *African Journal of Agricultural Research*, 13(51): 2898-2903.

Brosnan, T.; SUN, D.W. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision: a review. *Journal of Food Engineering*, 61(1): 3-16.

Caravalho, J.E.U.; Nazaré, R.F.R.; Oliveira, W.M. 2003. Características físicas e físicoquímicas de um tipo de bacuri (Platonia insignis Mart.) com rendimento industrial superior. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(2): 326-328.

Cecchi, H. M. 2003. *Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos*. Editora da UNICAMP: 2º Ed. rev.- Campinas, SP, editora da UNICAMP. 207p.

Chierici, C. E. de Oliveira. 2015. Classificação de texturas com diferentes orientações baseada em descritores locais. Dissertação – USP. São Carlos- SP. 180p.

Connor, K.F. et al. 1998. Effects of desiccation on seeds of *Carapa guianensis* Aubl. and *Carapa procera* D. C. *Seed Technology*. 20(1): 71-82.

Cruz, E. D.; Martins, F. O.; Carvalho, J. E. U. 2001. Biometria de frutos e sementes e germinação de jatobácuruba (*Hymenaea intermedia* Ducke, leguminosae – Caesalpinioideae). *Revista Brasileira de Botânica*, 24(2): 161-165.

De-Carvalho, P. S.; Miranda, S. C.; Santos, M. L. 2005. Germinação e dados biométricos de *Hymenaea stigonocarpa* Mart. Ex Hayne (Leguminosae – Caesalpinoideae) – Jatobá-do-Cerrado. *Revista Anhanqüera*, 6(1): 101-116.

Enriquez, G.E.V. 2007. *Sub-rede de Dermocosméticos na Amazônia a partir do uso sustentável de sua biodiversidade com enfoques para as cadeias produtivas da: castanha-do-pará e dos óleos de andiroba e copaíba*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília. 209p.

Farias, M.P.O., Wanderley, A.G., Teixeira, W.C., Alves, L.C., Faustino, M.A.G. 2010. Avaliação in vitro dos efeitos do óleo da semente de *Carapa guianensis* Aubl. sobre larvas de nematóides gastrintestinais de caprinos e ovinos. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 12(2): 220-226.

Ferraz, I.D.K.; Camargo, J.L.C.; Sampaio, P.T.B. 2002. Sementes e plântulas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa procera* D. C.): Aspectos botânicos, ecológicos e tecnológicos. *Acta Amazonica*, 32(4): 647-661.

Freire, D.C.B.; Brito-Filha, C.R.C.; Carvalho-Zilse, G.A. 2006. Efeito dos óleos vegetais de andiroba (*Carapa* sp.) e Copaíba (Copaifera sp.) sobre forídeo, pragas de colméias, (Diptera: Phoridae) na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 36(3): 365-368.

Galdino, A.P.P. 2007. *Estudos de mercado: andiroba, buriti/ muriti, murumuru*. Gurupá [s.n.]. Relatório técnico.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. *Manual técnico da vegetação Brasileira/ IBGE*. 2° edição, nº 1 - Rio de Janeiro IBGE. Disponível em: (https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf). Acesso: 30/05/2019.

Instituto Adolfo Lutz. 2008. *Métodos físico-químicos para análises de alimentos*. 1ª Edição digital. 1020p.

Kenfack, D. 2011. Resurrection in *Carapa* (Meliaceae): a reassessment of morphological variation and species boundaries using multivariate methods in a phylogenetic context. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 165(2): 186-221.

Kenfack, D. 2011a. *Carapa vasquezii* sp. nov. (Meliaceae) from western Amazon. *Brittonia*. 63(1): 7–10.

Kenfack, D. 2011b. A synoptic revision of *Carapa* (Meliaceae). *Harvard papers in Botany*, 16(2): 171-231.

Krause, W.; Viana, A. P.; Cavalcante, N. R.; Ambrósio, M.; Santos, E. A.; Vieira, H. D. 2017. Digital phenotyping for quantification of genetic diversity in inbred guava (*Psidium guajava*) families. *Genetic and Molecular Research*, 16(1): gmr16019474.

Marques, A.L.B. 2016. Estudo viscosimétrico de polióis a base do óleo de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.). *Revista Virtual de Química*, 8(3): 926-944.

Matheus, M.T.; Lopes, J.C. 2007. Morfologia de frutos, sementes e plântulas e germinação de sementes de *Erythrina variegata* L. *Revista Brasileira de Sementes*, 29(3): 08-17.

Melo, M.A.M.F.; Melo, M.A.R.; Pontes, A.S.G.C.; Farias, A.F.F.; Dantas, M.B.; Calixto, C.D.; Souza, A.G.; Filho, J.R.C. 2014. Non-conventional oils for biodiesel production: a study of thermal and oxidative stability. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 117(2): 845-849.

Mendonça, A.P. 2015. *Secagem e extração do óleo das sementes de andiroba (Carapa surinamensis Miq. e Carapa guianensis Aubl.)*. Tese - INPA. Amazonas, Manaus. 88p.

Mendonça, A.P.; Ferraz, I.D.K. 2006. *Efeito do dessecamento de sementes de andiroba (Carapa procera D.C. e Carapa guianensis Aubl.) sobre o rendimento do óleo pelo método extração tradicional no Estado do Amazonas*. Anais do 3º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel – "Biodiesel: Evolução tecnológica e qualidade". Lavras: UFLA. 722-726.

Mendonça, A.P.; Ferraz, I.D.K. 2007. Óleo de andiroba: processo tradicional da extração, uso e aspectos sociais no estado do Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 37(3): 353-364.

Menezes, A. J. E. A. de. *O histórico do sistema extrativo e a extração de óleo de andiroba cultivado no município de Tomé-Açu, Estado do Pará*. XLIII Congresso da Sober. 2005.

Miot, H.A.; Batistella, R.F.; Batista, K. A.; Volpato, D.E.C.; Augusto, L.S.T.; Madeira, N.G.; Haddad Jr, V.; MIOT, L.D.B. 2004. Comparative study of the topical effectiveness of the andiroba oil (*Carapa guianensis*) and deet 50% as repelent for Aedes sp. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 46(5): 253-256.

Miranda Júnior, R. N. C.; Dolabela, M. F.; S., Milton, N. da; Póvoa, M. M.; Maia, J. G. S. 2012. Antiplasmodial activity of the andiroba (*Carapa guianensis* Aubl., Meliaceae) oil and its limonoid-rich fraction. *Journal of Ethnopharmacology*, 142(3): 679-83.

Moretto, E.; Fett, R.; Gonzaga, L.V. et al. 2002. Introdução à Ciência de Alimentos. Florianópolis: UFSC. 255pp.

Nascimento, G. O. et al. 2019. Lipidomic profiles from seed oil of *Carapa guianensis* Aubl. and *Carapa vasquezii* Kenfack and implications for the control of phytopathogenic fungi. *Industrial Crops & Products*, 129 (2019) 67–73.

Neves, O.S.C. et al. 2004. Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fósforo. *Revista Árvore*, 28(3): 343-9.

Oliveira, E.C. Morfologia de plântulas florestais. *In*: Aguiar, I.B.; Pinä-Rodrigues, F.C.M.; Figliolia, M.B. (Coord.). *Sementes florestais tropicais*. Brasília, DF: ABRATES, 1993. p.137-174.

Pennington, T.D.; Styles, B.T.; Taylor, D.A.H. 1981. Meliaceae. *Flora Neotropica*, 28: 406-419.

Prophiro, J.; Silva, M. A. N. da; Kanis, L.; Rocha, L. C. B. P. da; Duque-Luna, J.; Silva, O. 2012. Evaluation of time toxicity, residual effect, and growth-inhibiting property of *Carapa guianensis* and Copaifera sp. in Aedes aegypti. *Parasitology Research*, 110(2): 713-719.

Ramalho, H. F.; Suarez, P. A. Z. 2013. A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino. *Revista Virtual de Química*, 5(1): 2-15.

Reda, S.Y. 2004. *Estudo comparative de óleos vegetais submetidos a estresse térmico*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Ribeiro, E.P., Seravalli, E.A.G. *Química de alimentos*. São Paulo: Edgard Blücler, Instituto Mauá de Tecnologia, 2004. 184 p

Silva, L.R. 2018. Propriedades físico-químicas e perfil dos ácidos graxos do óleo da andiroba. *Nativa*, 6(2): 147-152.

Silva, S.G. 2012. *Contribuição ao conhecimento químico e de atividades biológicas dos frutos das espécies Carapa guianensis e Carapa procera (*Meliaceae*)*. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Amazonas. 201p.

Silva, S.G.; Nunomura, R.C.S.; Nunomura, S.M. 2012. Limonoides isolados dos frutos de *Carapa guianensis* Aublet (Meliaceae). *Química Nova*, 35(10): 1936-1939.

Torres, G.X. 2018. *Diversidade genética em população segregante de passiflora via características de sementes*. Dissertação. Universidade Estadual Do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 82p.

Vasconcelos, C. C. 2017. *Propágulos e plântulas de Sapotaceae – Chrysophylloideae na Amazônia: uma abordagem filogenética*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 161pp.

Apêndice 01 – Cópia da ata de defesa púlica da dissertação de mestrado

INPA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA

PÁTRIA AMADA BRASIL
GOVERNO FEDERAL

Curso de Pós-Graduação em Botânica • INPA

ATA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BOTÂNICA) DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA.

Aos vinte e seis dias do mês de julho de 2019 às 09:00 horas, no auditório da Biblioteca do INPA-Campus I, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Dra. Angela Maria da Silva Mendes, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Dra. Maria Anália Duarte de Souza, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Dra. Yêda Maria Boaventura Corrêa Arruda, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), tendo como suplentes: Dra. Maria Gracimar Pacheco de Araújo, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Dr. Michael John Gilbert Hopkins, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, intitulada: **"DISTINÇÃO DE SEMENTES, FRUTOS E PLÂNTULAS DAS TRÊS ESPÉCIES DO GÊNERO *Carapa* Aubl. NA AMAZÔNIA CENTRAL"** discente: **Itamara Gonçalves da Gama**, sob orientação: Dra. Isolde Dorothea Kossmann Ferraz. Após a exposição, dentro do tempo regulamentar, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final:

EXAMINADORES	PARECER		ASSINATURA
ANGELA MARIA DA SILVA MENDES	(X) APROVADO	( ) REPROVADO	
MARIA ANÁLIA DUARTE DE SOUZA	(X) APROVADO	( ) REPROVADO	
YÊDA MARIA B. C. ARRUDA	(X) APROVADO	( ) REPROVADO	
MARIA GRACIMAR P. DE ARAÚJO	( ) APROVADO	( ) REPROVADO	
MICHAEL JOHN GILBERT HOPKINS	( ) APROVADO	( ) REPROVADO	

Manaus (AM), 26 de julho de 2019.

OBS: Recomenda-se que o trabalho escrito seja reestruturado conforme as normas do regimento e a proposta do estudo. Reitera-se a necessidade dos ajustes e correções avaliadas pela banca (no corpo do texto e nas arguições), especialmente no que se refere aos resultados e discussão.

Nada mais havendo, foi lavrado a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dr. Michael John Gilbert Hopkins
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Botânica
PO. 116/2017 - DIBOT/INPA