

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL**

**MATURAÇÃO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SACHA-INCHI**  
**(*Plukenetia volubilis* L.)**

**JOSÉ LOURENÇO LAGASSI DIAS**

MANAUS, AM

2021

JOSÉ LOURENÇO LAGASSI DIAS

**MATURAÇÃO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SACHA-INCHI**  
**(*Plukenetia volubilis* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, na área de concentração Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Francisco Célio Maia Chaves  
Coorientador: Prof. Dr. Daniel Felipe de Oliveira Gentil

MANAUS, AM

2021

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

D541m Dias, José Lourenço Lagassi  
Maturação e qualidade fisiológica de sementes de sacha-inchi  
(Plukenetia volubilis L.) / José Lourenço Lagassi Dias . 2021  
45 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Francisco Célio Maia Chaves  
Coorientador: Daniel Felipe de Oliveira Gentil  
Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. Maturidade fisiológica. 2. Germinação. 3. Vigor de sementes. 4.  
Sacha-inchi. I. Chaves, Francisco Célio Maia. II. Universidade  
Federal do Amazonas III. Título

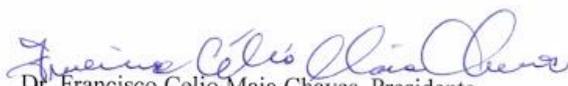
JOSÉ LOURENÇO LAGASSI DIAS

Maturação e qualidade fisiológica de sementes de sachá-inchi  
(*Plukenetia volubilis* L.)

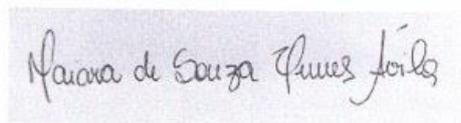
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisitos parciais para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Aprovada em 11 de novembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

  
Dr. Francisco Celio Maia Chaves, Presidente  
Embrapa Amazônia Ocidental

  
Dra. Angela Maria da Silva Mendes, Membro  
Universidade Federal do Amazonas



Dra. Maiara de Souza Nunes Ávila, Membro  
Universidade Federal do Amazonas

A minha saudade diária, mãe **Cleida Maria Dias** (*in memoriam*), que em meio a essa jornada foi morar no céu, e meu pai **Joaquim Dias**, meus exemplos de força superação e vitória. Gratidão por tudo que a mim concederam até hoje, obrigado pela educação, valores e ensinamentos transmitidos.

E a **DEUS** por sua infinita bondade

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu companheiro Evandro Lima, por toda força e apoio que me deste ao longo dessa trajetória, sempre segurando a minha mão e me incentivando a seguir em frente e jamais desistir.

Aos meus irmãos Cleisiane, Jobisson e Josiel Lagassi Dias, minhas cunhadas, Vera e Caliane e meus sobrinhos, Laura, João, Pedro, Amanda, Eduardo e Joaquim, minha base, meu tudo, em especial a minha irmã por me ligar quase todos os dias e suprir um pouco a saudade deixada por nossa mãe

A minha família manauara representada por minha sogra Lilian e por meu sogro Evandro obrigado por toda ajuda concedida, por todo carinho ao longo desses anos, grato por terem vocês em minha vida.

Aos meus amigos de pós-graduação, Lucivania, Tassia, Jean Inozile e Romildo por estarem comigo quando mais precisei, pelos momentos de descontração, sem vocês eu jamais teria conseguido.

Aos meus velhos e bons amigos, Bruna, Cilene, Felipe e Patrícia, amizades que valem ouro, obrigado pelos conselhos pelas risadas, puxões de orelha, pelas orações, incentivos e boas energias.

A minha grande amiga Ana Paula Miléo por toda ajuda e prestatividade concedida ao longo desse trabalho.

A todos os meus familiares e amigos, que torceram por mim e me apoiaram, mesmo que indiretamente, acompanhando a expectativa para a finalização deste trabalho, muito obrigado.

Ao Instituto Federal do Amazonas, por conceder meu afastamento e permitir com que eu realizasse esse sonho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, e aos professores por quem tive a honra de ser aluno. Prof. Dra. Aline, Prof. Dr. André, Prof. Dra. Ângela, Prof. Dra. Albejamere, Prof. Dr. Ary, Prof. Dr. Hedinaldo, Prof. Dr. Henrique e Prof. Dra. Sônia.

A EMBRAPA Amazonia Ocidental por disponibilizar toda infraestrutura necessária para desenvolver o meu projeto de pesquisa.

Aos colegas de campo Miqueias, Bebeto, Marcelo, Careca, pelos momentos de alegria e muitos cafezinhos.

Aos Pibics: Jéssica, Raiane e Samuel pela ajuda no trabalho.

Ao meu Coorientador: Prof. Dr. Daniel Felipe de Oliveira Gentil, por toda ajuda e disponibilidade oferecida ao longo do desenvolver do projeto

E pôr fim ao meu caro Orientador Dr. Francisco Célio Maia Chaves, por todo ensinamento transmitido, pela disponibilidade da orientação, pela amizade oferecida e por também estar comigo quando mais precisei.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuiu para a realização desse sonho: MUITO OBRIGADO

...Percorri um longo caminho para a liberdade. Tentei não fraquejar, dei passos errados ao longo do percurso. Mas descobri o segredo, que ao longo de uma grande montanha, apenas se descobre que há muitas, muitas mais montanhas para subir. Parei aqui um pouco para descansar, para dar uma olhada à vista maravilhosa que me rodeia, para olhar para a distância de onde vim. Mas posso descansar somente por um momento, porque com a liberdade veem as responsabilidades e não me atrevo a demorar-me pois a caminhada ainda não terminou."

Nelson Mandela

## RESUMO

A cultura da sachá-inchi apesar da baixa relevância econômica pode se tornar uma importante fonte de renda para os produtores amazônicos, por possuir bom potencial como fonte de matéria prima para os mais diversos produtos, principalmente na área farmacêutica, por possuir óleo rico em lipídios com alto teor de ácidos graxos do grupo ômega 3, 6 e 9, comprovadamente benéfico para o sistema cardio-vascular. O estudo de maturação fisiológica de sementes é imprescindível para a produção de sementes de alta qualidade. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a maturação e qualidade fisiológica de sementes de sachá-inchi nas condições de Manaus, AM. O experimento foi desenvolvido no campo experimental e no laboratório de sementes da Embrapa Amazonia Ocidental. Para isso frutos da referida espécie foram coletados em diferentes estádios de maturação, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado com doze tratamentos, que consistiram nas épocas de colheita. Para cada época as sementes foram extraídas dos frutos e avaliadas pelos seguintes testes e determinações: teor de água, germinação, emergência, velocidade de germinação, velocidade de emergência, coloração e biometria dos frutos e das sementes. As sementes de sachá-inchi atingiram o ponto ideal de colheita aos 110 dias após a antese floral, sendo verificado nesse momento alta porcentagem de germinação e emergência, indicando assim o ponto ideal de colheita. Colheitas tardias representam perdas, devido principalmente a ocorrência da deiscência natural do fruto e liberação das sementes para o ambiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Maturidade fisiológica; germinação; vigor de sementes.

## **ABSTRACT**

The culture of sachá-inchi, despite its low economic relevance, can become an important source of income for Amazonian producers, as it has good potential as a source of raw material for the most diverse products, especially in the pharmaceutical area, as it has oil rich in lipids. with a high content of omega 3, 6 and 9 fatty acids, proven to be beneficial for the cardio-vascular system. The study of physiological maturation of seeds is essential for the production of high quality seeds. The present work was carried out with the objective of evaluating the maturation and physiological quality of sachá-inchi seeds under the conditions of Manaus, AM. The experiment was carried out in the experimental field and in the seed laboratory of Embrapa Amazonia Ocidental. For this, fruits of the referred species were collected at different stages of maturation, the experimental design was completely randomized with twelve treatments, which consisted of harvest times. For each season, the seeds were extracted from the fruits and evaluated by the following tests and determinations: water content, germination, emergence, germination speed, emergence speed, color and biometrics of the fruits and seeds. Sachá-inchi seeds reached the ideal harvest point 110 days after floral anthesis, and at that time a high percentage of germination and emergence was verified, thus indicating the ideal harvest point. Late harvests represent losses, mainly due to the occurrence of dehiscence of the fruit and release of seeds to the environment.

**KEY-WORDS:** Physiological maturation, germination, seed vigor.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Plantio de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi) no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM.....	07
<b>Figura 2.</b> Detalhe das flores de <i>Plukenetia volubilis</i> L.....	08
<b>Figura 3.</b> Aspectos da inflorescência e do fruto de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi).....	09
<b>Figura 4.</b> Variedades de produtos produzidos a partir de sementes de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi).....	11
<b>Figura 5.</b> Germinação de sementes de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi) ainda no fruto, indicando colheita tardia.....	14
<b>Figura 6.</b> Marcação das inflorescências de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi).....	18
<b>Figura 7.</b> Ilustração da mensuração das dimensões do fruto de <i>Plukenetia volubilis</i> (sacha-inchi).....	19
<b>Figura 8.</b> Aspecto do desenvolvimento da flor feminina (pistilada) de <i>Plukenetia volubilis</i> (sacha-inchi), até a fecundação.....	23
<b>Figura 9.</b> Comprimento do fruto de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi) em diferentes épocas de colheita após a antese.....	28
<b>Figura 10.</b> Largura do fruto de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi) em diferentes épocas de colheita após a antese.....	29
<b>Figura 11.</b> Dimensões da semente de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi) em diferentes épocas de colheita após a antese.....	30
<b>Figura 12.</b> Teor de água (%) e matéria seca (g) da semente de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi) em diferentes épocas de colheita após a antese.....	33
<b>Figura 13.</b> Aspecto morfológico da germinação de sementes de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi).....	34
<b>Figura 14.</b> Porcentagem de germinação e emergência de plântulas de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi).....	35
<b>Figura 15.</b> Índice de velocidade de germinação (IVG) e índice de velocidade de emergência (IVE) de <i>Plukenetia volubilis</i> L. (sacha-inchi).....	36

## LISTA DE QUADRO

**Quadro 1.** Aspectos visuais da coloração do fruto e da semente de *Plukenetia volubilis* L. (sacha-inchi) em diferentes épocas de colheita após a antese, utilizando Hue Valor Chroma<sup>1</sup> (MUNSELL, 1976) para definição das cores..... 24

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	4
2. OBJETIVOS .....	6
2.1 Objetivo geral .....	6
2.2 Objetivos específicos.....	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
3.1 A espécie <i>Plukenetia volubilis</i> L. ....	7
3.1.1 Importância econômica, produção e consumo de sachá-inchi .....	10
3.2 Maturação fisiológica de sementes .....	11
3.3 Qualidade fisiológica de sementes .....	13
3.4 Germinação de sementes.....	14
3.5 Vigor de sementes.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
4.1 Condução do experimento em campo .....	17
4.2 Condução do experimento em laboratório.....	19
4.2.1 Coloração das sementes e dos frutos .....	19
4.2.2 Biometria (largura, comprimento e espessura dos frutos e das sementes) .....	19
4.2.3 Determinação do teor de água das sementes .....	19
4.2.4 Massa seca das sementes .....	20
4.2.5 Germinação das sementes.....	20
4.2.6 Índice de velocidade de germinação .....	20
4.2.7 Emergência: .....	21
4.2.8 Índice de velocidade de emergência .....	21
5. RESULTADOS E DISSCUSSÃO.....	22
5.1 Características fenológicas das estruturas reprodutivas de sachá-inchi .....	22
5.2 Coloração e caracterização dos frutos e das sementes .....	23
5.2 Biometria dos frutos e sementes da sachá-inchi .....	28
5.2.1 Biometria dos frutos.....	28
5.2.2 Biometria das sementes .....	30
5.3 Teor de água e massa seca das sementes .....	31

5.4 Germinação e emergência de plântulas .....	34
5.5 Índice de velocidade de germinação, índice de velocidade de emergência de plântulas e primeira contagem de plântulas.....	36
6. CONCLUSÕES.....	39
7. REFERÊNCIAS .....	40

## 1. INTRODUÇÃO

A região amazônica é a área mais importante em biodiversidade mundial. É o centro de origem e diversidade de espécies para a agricultura, como mandioca, abacaxi, cacau, seringueira, entre outras. Nesse sentido, para contribuir para a correta exploração do potencial agronômico de algumas espécies, é necessário que se avance nas pesquisas no que diz respeito à maturação da semente, pois a semente é um dos mais importantes insumos para o plantio.

A *sacha-inchi* (*Plukenetia volubilis* L.) pertence à família Euphorbiaceae, sendo popularmente conhecida também por amendoim-inca, amendoim-da-montanha, amendoim-selvagem, maní-del-monte, inca-inchi e outros. É uma planta nativa da floresta amazônica peruana e brasileira. Trata-se de uma trepadeira lenhosa que produz frutos tipo cápsula, com 3 a 5 cm de diâmetro, geralmente com quatro lóculos, podendo variar de três a sete, apresentando dentro de cada lóculo uma semente (KRIVANKOVA et al., 2007). É cultivada no Peru, Colômbia, Brasil, China, Mianmar, Laos e Tailândia. Entretanto, as abordagens relacionadas ao conhecimento da maturação do fruto e da semente e do ponto de colheita, ainda são escassos, necessitando pesquisas que auxiliarão na definição do sistema de produção.

A semente é a parte de maior interesse na planta de *sacha-inchi*, pois apresentam altos teores de ácidos graxos insaturados (VALENTE et al., 2017). Ainda que pouco explorada no Brasil, seu cultivo já ocorre no Alto Solimões e em Manaus, Amazonas, e em outros países da América Latina, como Peru e Colômbia, sendo utilizada como fonte de matéria-prima para uma gama de produtos nas mais diversas áreas industriais, como cosmética, alimentícia e farmacêutica.

A espécie pode ser importante alternativa como fonte de renda para o produtor amazônico. A incorporação de culturas pouco conhecidas em sistemas agrícolas sustentáveis, como *sacha-inchi*, oferece novas oportunidades de desenvolvimento e podendo aumentar e fortalecer os sistemas de produção de alimentos (CACHIQUE et al., 2018, KODAHN, 2020).

Existe a demanda por informações da espécie nas condições edafoclimáticas brasileiras, apesar de que algumas pesquisas já tenham sido conduzidas, relacionadas principalmente, ao desempenho horticultural (RODRIGUES et al., 2014), a substratos e posições de semeadura (JEROMINI et al., 2018) e a diversidade

genética (OLIVEIRA, 2013; RODRIGUES et al., 2018). No entanto, existem poucas informações sobre a fase reprodutiva dessa espécie, como o ponto ideal de colheita das sementes (SILVA et al., 2013). Por isso, tem-se a necessidade de conhecer o processo de maturação do fruto, o que contribui para o estabelecimento do ponto de colheita, em que as sementes apresentam a melhor qualidade fisiológica.

Delouche (1971) cita que a metodologia clássica para estudos de maturação fisiológica é procedida pela etiquetagem de flores na antese, seguida de colheita periódica das sementes, para se determinar o grau de umidade, o peso de matéria seca, a porcentagem de germinação e o vigor. Em colheitas precoces, ocorre a interrupção do processo de maturação das sementes influenciando negativamente a qualidade.

Os estudos relacionados ao processo de maturação dos frutos e das sementes são imprescindíveis, pois a partir dos conhecimentos gerados, há possibilidade de identificação do momento em que as sementes atingem alta qualidade, assim como, o ponto ideal de colheita (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

Neste contexto, se faz necessário intensificar as pesquisas sobre as sementes da referida espécie no que diz a respeito à formação, maturação e ponto de colheita da semente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Analisar a maturação e a qualidade fisiológica de sementes de sachá-inchi (*Plukenetia volubilis* L.), visando determinar o ponto de maturidade fisiológica e o ponto de colheita das sementes.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar as modificações físicas nos frutos e nas sementes no decorrer da maturação.
- Identificar as alterações fisiológicas das sementes em desenvolvimento e determinar o ponto de maturidade.
- Indicar o ponto de colheita das sementes.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 *Plukenetia volubilis* L.

A família Euphorbiaceae representa uma das maiores famílias de plantas com flores, com cerca de 300 gêneros e 8.000 espécies (SECCO e BIGIO, 2012). Entre os gêneros dessa família encontra-se o gênero *Plukenetia*, sendo composto por 19 espécies (GILLESPIE, 2007), dentre as quais se destaca *P. volubilis*.

Domesticada pelos incas há milhares de anos, a trepadeira *P. volubilis*, ou popularmente sacha-inchi como é mais conhecida, é nativa da região amazônica, com centro de origem no Peru, Colômbia, Venezuela e Brasil (BORDIGNON et al, 2012).

No Brasil, a sacha-inchi é conhecida como amêndoa-lopo ou amendoim-da-amazônia, tendo cultivo (Figura 1) limitado a pequenas áreas não dispondo de avançados estudos, e com produção e industrialização do azeite em baixa escala (BORDIGNON et al., 2012).

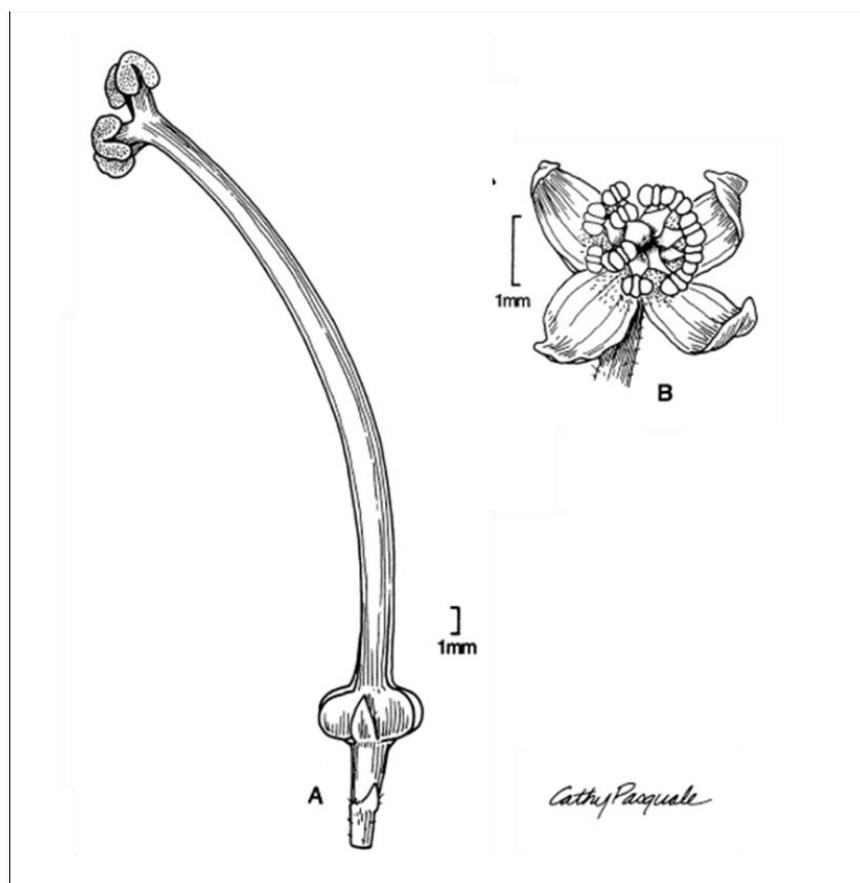


**Figura 1.** Plantio de *Plukenetia volubilis* (sacha-inchi) no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM. **Foto:** J. L. L. Dias (2020).

Segundo Rodrigues (2014), essa trepadeira semi-perene se adapta a solos ácidos e argilosos, em altitude de 0 a 1.200 m, e apresenta melhor desenvolvimento

em clima quente. Suas flores são unissexuadas (Figura 2-A e B) e dispostas em inflorescências racemosas. Trata-se de uma planta monoica e, apesar de ser possível a autofecundação, há uma grande porcentagem de fecundação cruzada.

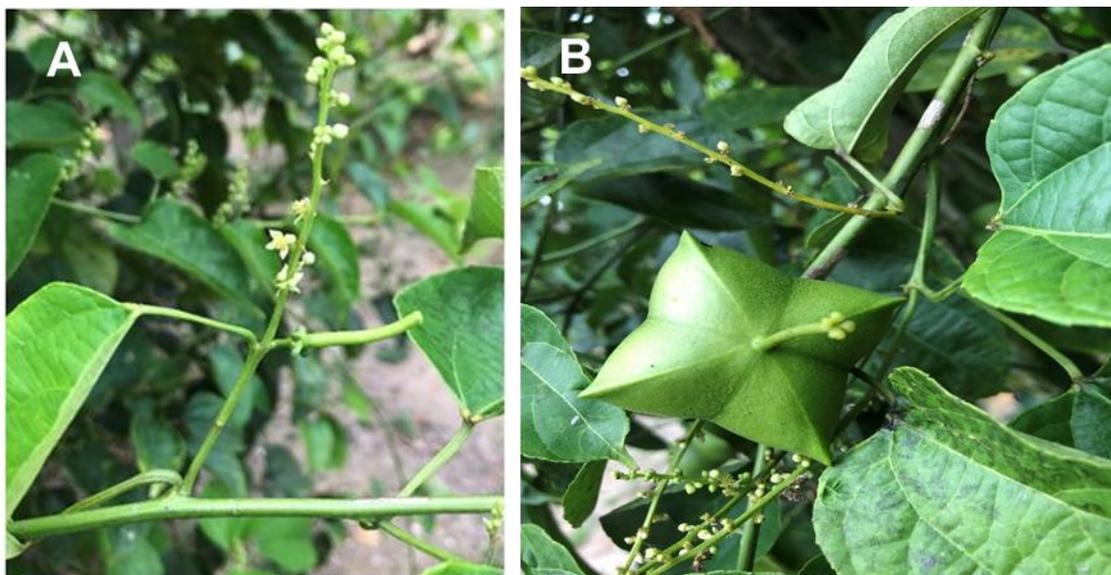
As flores estão dispostas em racemos (Figura 3-A) com 2 a 8 cm de comprimento, localizados na axila foliar, com botões distribuídos em 4 a 15 cachos alternos e cruzados, apresentando dois tipos de flores. As flores masculinas são pequenas, esbranquiçadas, pediceladas, 4 a 5 pétalas, dialipétalas, actinomorfas, com 16 a 30 estames (Figuras 2-B e 3-A). As flores femininas, em geral, estão localizadas na base das inflorescências, mas podem ocorrer no pecíolo foliar; são solitárias, na maioria dos casos, embora possam formar conjuntos de duas ou mais flores; possuem ovário súpero, com 4 a 7 lóculos (Figuras 2-A e 3-A) (GILLESPIE, 2007; CÉSPEDES, 2006).



**Figura 2.** Detalhe das flores de *Plukenetia volubilis* L. **A** - flor feminina (pistilada). **B** - flor masculina (estaminada). Adaptado de Gillespie (1993).

Os frutos são cápsulas de 3 a 5 cm de diâmetro, tendo cor verde quando imaturo (Figura 3-B) e castanho-escuro quando maduro. Normalmente, têm quatro

lóculos, mas podem ocorrer até sete lóculos. As sementes têm formato oval e lenticular, sendo ligeiramente levantadas no centro e achatadas nas bordas; a cor é marrom-escuro e possuem 1,5 a 2 cm de diâmetro e 0,7 a 0,8 cm de espessura (CÉSPEDES, 2006; FOLLEGATTI, 2007; CAI, 2011).



**Figura 3.** Aspectos da inflorescência e do fruto de *Plukenetia volubilis* L. (sacha-inchi). **A** - inflorescência com flor feminina (pistilada) na base e as masculinas (estaminadas) distribuídas no racemo. **B** - detalhe do fruto em desenvolvimento. **Fotos:** J. L. L. Dias (2020).

A semente é a estrutura de maior interesse na planta, por conter grande teor de ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs). Os principais ácidos graxos encontrados são: ácido alfa-linolênico (ALA, C18: 3, ômega-3) e ácido linoléico (LA, C18: 2, ômega-6), representando aproximadamente 47-51% e 34-37% do total de ácidos graxos encontrados na semente (FANALI et al., 2011).

Além da presença dos ácidos graxos, outros compostos bioativos, como tocoferóis e carotenos (HAMAKER et al., 1992), compostos polifenólicos (FANALI et al., 2011) e fitosteróis, têm sido encontrados no óleo de sacha-inchi (BONDIOLE, 2006). Ademais, o perfil de aminoácidos da fração da proteína mostrou um nível relativamente alto de cisteína, tirosina, treonina e triptofano, em comparação com outras fontes de oleaginosas (HAMAKER et al., 1992).

O peso das sementes varia de 0,8 a 1,4 g, sendo 33 a 35% de casca e 65 a 67% de amêndoa. Por ser tratar de uma semente com alto teor de óleo, a espécie apresenta grande potencial econômico para indústria alimentícia e farmacêutica

(KRIVANKOVA et al., 2007). Além disso, o óleo de sacha-inchi também é uma boa matéria-prima para a produção de biodiesel (ZACCHERIA et al., 2009).

### **3.1.1 Importância econômica, produção e consumo de sacha-inchi**

No mundo os principais países produtores de sacha-inchi estão concentrados na América Latina, sendo eles: Peru, Colômbia, Equador e Brasil.

O Peru é o maior produtor e exportador mundial de sacha-inchi, sendo a região de San Martin a que concentra a maior produtividade. As exportações peruanas começaram em 2004, ainda com valores discretos de aproximadamente 6 mil dólares, atingindo a marca de 811 toneladas a um valor aproximado de quase 9 milhões de dólares, em 2017. Os principais países importadores em 2017 foram: Coreia do Sul, Estados Unidos, Japão, México, França, Holanda, Alemanha, Austrália e China. Entre os produtos exportados, o azeite é o mais consumido pelo mercado internacional (SUNAT, 2018).

A Colômbia é segundo maior produtor mundial de sacha-inchi. No boletim emitido em 2019, pelo Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, houve um aumento na produtividade por hectare, passando de 1,35 t/ha em 2015 para 3,18 t/ha em 2018. A cultura apresentou uma dinâmica de crescimento que se tem mantido, a tal ponto que no ano de 2018 registrou-se um aumento da área plantada de 26% em relação ao ano anterior. Apesar do aumento na produção colombiana, existem alguns desafios na cadeia produtiva do setor, como por exemplo: consolidar a organização da cadeia, promover alternativas produtivas para o cultivo de sacha-inchi no campo da pesquisa e promover a certificação em protocolos de produção (MADR, 2019).

Mesmo apresentando uma produtividade menor que a peruana, a Colômbia possui maior diversidade e produção de produtos, tendo a sacha-inchi como fonte de matéria-prima. Além dos produtos alimentícios, como snacks, farinha, manteiga, azeite, chocolates com sacha-inchi, o país produz ainda cosméticos como shampoos e cremes. A indústria farmacêutica também ganha destaque no cenário colombiano com a produção de capsulas de ômega 3, 6 e 9 (Figura 4).

A produção de sacha no Brasil ainda acontece de forma discreta. Apesar de apresentar um grande potencial econômico, ainda não há estruturação organizada e coordenada que fortaleça a cadeia produtiva dessa cultura como um todo. A cultura

ainda não é explorada de forma comercial, com apenas alguns cultivos para subsistência encontrados no Alto Solimões, AM.

As sementes de sacha-inchi são utilizadas de diferentes formas pela população amazônica. O óleo é utilizado no preparo de várias refeições, as sementes são consumidas assadas e as folhas cozidas (FANALI et al., 2011). As sementes também são usadas como remédio tradicional na região amazônica para tratar problemas reumáticos e de músculos doloridos.



**Figura 4.** Variedades de produtos produzidos a partir de sementes de *Plukenetia volubilis* L. (sacha-inchi): snacks, farinha, manteiga, azeite, chocolates com sacha-inchi, shampoos e cápsulas com ômega. **Fonte:** Imagens retiradas da internet (2021).

### 3.2 Maturação de sementes

A maturação da semente inclui uma série de mudanças morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, desde a fertilização do óvulo até a maturidade da semente

(DELOUCHE, 1971), quando há o desligamento fisiológico da semente da planta-mãe (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). O ponto de maturidade fisiológica é determinado a partir do poder germinativo, vigor e da matéria seca, quando as sementes alcançam os valores máximos nessas variáveis, e considera-se que estão formadas e adequadas para a colheita (POPINIGIS, 1985).

Na tecnologia de sementes é fundamental o reconhecimento prático da maturidade fisiológica, uma vez que caracteriza o momento em que cessa o fornecimento de nutrientes da planta para a semente, e esta fica sob a influência das condições ambientais (PESKE et al., 2012).

Segundo Dias (2001), na determinação do ponto ideal de colheita, pretendendo a qualidade e produtividade, é necessário um bom planejamento, iniciando com o conhecimento sobre a maturação das sementes, bem como dos principais fatores envolvidos. De acordo com Reid (2002), algumas características, como tamanho, firmeza, taxa de respiração, composição química, gravidade específica, produção de voláteis ou desenvolvimento de ceras na casca, são evidências de maturidade normalmente usadas para determinar o ponto adequado de colheita de sementes.

Além das características físicas, bioquímicas e fisiológicas, outra forma de identificação da qualidade da semente está relacionada à coloração dos frutos, o que se reveste de importância para definir o momento adequado da colheita (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

As sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) atingiram plena maturação e máxima expressão da viabilidade das sementes, aos 48 dias após a antese, quando apresentaram índices medianos e constantes de umidade e, conseqüentemente, máximo acúmulo de matéria seca; ao se passar o ponto de maturidade houve um declínio na germinação das sementes. A maior quantidade de óleo presente nas sementes também coincidiu com o ponto de maturidade fisiológica (PESSOA et al., 2012).

Já Nascimento et al. (2021) encontraram o ponto de maturidade fisiológica de *Dipteryx alata* Vog., entre os 225 e 275 DAA, momento em que as sementes apresentaram o máximo de vigor e a umidade variando entre 6,95% a 8,94%, recomendando o ponto ideal de colheita.

### **3.3 Qualidade fisiológica de sementes**

Segundo Popinigis (1977), a qualidade fisiológica de sementes é definida como a capacidade de exercer funções vitais, caracterizada pela viabilidade e vigor, que em condições de campo interferem diretamente na implantação da cultura, em termos de uniformidade da população.

A baixa qualidade fisiológica da semente pode ocasionar reduções na velocidade e emergência total, na desuniformidade de emergência, em menor tamanho inicial de plântulas e baixa produção de matéria seca (KOLCHINSKI et al., 2006).

A viabilidade de sementes é avaliada rotineiramente pelo teste de germinação que, conduzido sob condições ótimas de ambiente, fornece o potencial máximo de germinação, estabelecendo o limite para o desempenho do lote após a sua semeadura (BRASIL, 2009).

A qualidade fisiológica da semente pode ser comprometida quando o fruto ultrapassa o seu ponto de colheita em campo (Figura 5). Quando isso acontece, a planta-mãe não exerce mais nenhuma influência sobre a umidade das sementes, podendo-se dizer que as sementes estão armazenadas em campo, estando expostas às intempéries, principalmente em regiões em que o final da maturação coincide com a época chuvosa, comprometendo a qualidade da semente (PESKE et al., 2012).

Considerando que a Amazônia apresenta como características climáticas alta umidade e altas temperaturas, praticamente o ano todo, o estudo de maturação de sementes, aliada às características dos frutos, a época de colheita dos frutos e sementes, representam informações básicas, sendo importantes na tomada de decisões quando se pretende colher sementes visando à multiplicação da espécie para cultivo.



**Figura 5.** Germinação de sementes de *Plukenetia volubilis* L. (sacha-inchi) ainda no fruto, indicando colheita tardia.  
**Foto:** J. L. L. Dias (2020).

### 3.4 Germinação de sementes

A germinação representa uma manifestação fisiológica essencial das sementes para assegurar a multiplicação de plantas e o sucesso da produção agrícola. Na fisiologia vegetal considera que a germinação se inicia com a embebição da semente e se encerra com a protrusão da raiz primária, enquanto a tecnologia de sementes inclui, também, a emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião (MARCOS-FILHO, 2015). Brasil (2009) considera como estruturas essenciais o sistema radicular, a parte aérea, as gemas terminais, os cotilédones e o coleóptilo que permitem avaliar a probabilidade de sucesso do estabelecimento da plântula em campo.

Segundo Sales et al. (2003), a germinação é a retomada do crescimento do eixo embrionário, o qual se encontra paralisado nas fases finais do processo de maturação. Estimulado por condições ambientais, o embrião se desenvolve, ocorrendo, então, o rompimento do tegumento pela radícula. A germinação é uma etapa crítica do biociclo vegetal, pelo fato de estar associado a vários fatores de natureza extrínseca, como os fatores ambientais, e intrínsecos, ou seja, a processos fisiometabólicos.

Para haver a retomada do crescimento do eixo embrionário de uma semente viável e que não esteja dormente é indispensável que se tenha água para a sua reidratação. Por meio da absorção de água ocorre a reidratação dos tecidos, resultando na intensificação da respiração e de outras atividades metabólicas, que culminam com o fornecimento de energia e nutrientes necessários ao processo germinativo (REGO et al., 2011).

Além da água, a temperatura é outro elemento ambiental que influencia a germinação, atuando na velocidade de absorção e distribuição da água pela semente, nas reações bioquímicas que normalizam um conjunto de transformações que estão envolvidas no processo (CASTRO et al., 2004). As mudanças de temperatura interferem na porcentagem e uniformidade de germinação, quando agregado aos efeitos do estresse hídrico interfere na velocidade em que ocorrem as reações bioquímicas, influenciando nos acontecimentos fisiológicos que determinam todo o processo germinativo (MARCOS-FILHO, 2015).

### **3.5 Vigor de sementes**

O vigor é caracterizado como sendo a soma de propriedades que determinam o nível potencial de atividade e desempenho de uma semente ou de um lote de sementes, durante a germinação e a emergência da plântula. Assim, o vigor reflete a manifestação de um conjunto de características que determina o potencial para a emergência rápida e uniforme de plântulas expostas as mais variadas situações do ambiente (MARCOS-FILHO, 2015). Em adição, os testes de vigor buscam obter respostas complementares às fornecidas pelo teste de germinação, possibilitando a obtenção de informações consistentes (OHLSON et al., 2010).

Para Isely (1957), vigor é o resultado da conjunção de todos aqueles atributos da semente que permitem o estabelecimento de uma população inicial sob condições desfavoráveis de campo. Dentro do processo de maturação fisiológica, Carvalho e Nakagawa (2012) relatam que sementes ainda não maduras podem germinar; contudo, não resultam em plântulas vigorosas, como as que seriam obtidas de sementes colhidas no ponto de maturidade fisiológica. Ainda, os mesmos autores afirmam que há vários métodos para se avaliar o vigor, mas não há nenhum método padronizado que se possa recomendar para todas as espécies. Copeland (1976)

sugere que o teste ideal de vigor deve ser rápido, de fácil execução, sem a necessidade de equipamentos complexos e aplicáveis para determinar as mínimas e as máximas diferenças de vigor.

Carvalho e Nakagawa (2012) relatam que no processo de maturação fisiológica da semente, o máximo vigor da semente encontra-se na ocasião em que a semente possui o máximo de matéria seca. O peso da matéria seca e o crescimento de plântulas estão inseridos nos testes diretos de vigor (POPINIGIS, 1977).

Uma maneira de avaliar com certa precisão a transferência de matéria seca, dos tecidos de reserva para o eixo embrionário, é o peso da matéria seca da plântula (KRZYZANOWSKI et al., 1999). A Association of Official Seed Analysts, (2002) considera a determinação de matéria seca da plântula um teste capaz de detectar pequenas diferenças em vigor de sementes devidas ao genótipo, tamanho da semente, local de produção e outros fatores.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Condução do experimento em campo**

O experimento de campo foi realizado no Setor de Plantas Medicinais da Embrapa Amazônia Ocidental, localizada na Rodovia AM-010, Km 29, com coordenadas geográficas 2°53'29,14"S e 59°58'39,90"W, no município de Manaus, AM. O clima da região é do tipo AF, classificado como clima tropical chuvoso, caracterizado por temperaturas médias mínimas nos meses mais frios não atingirem menos que 18°C e precipitação do mês mais seco acima de 60 mm (TEXEIRA et al., 1986).

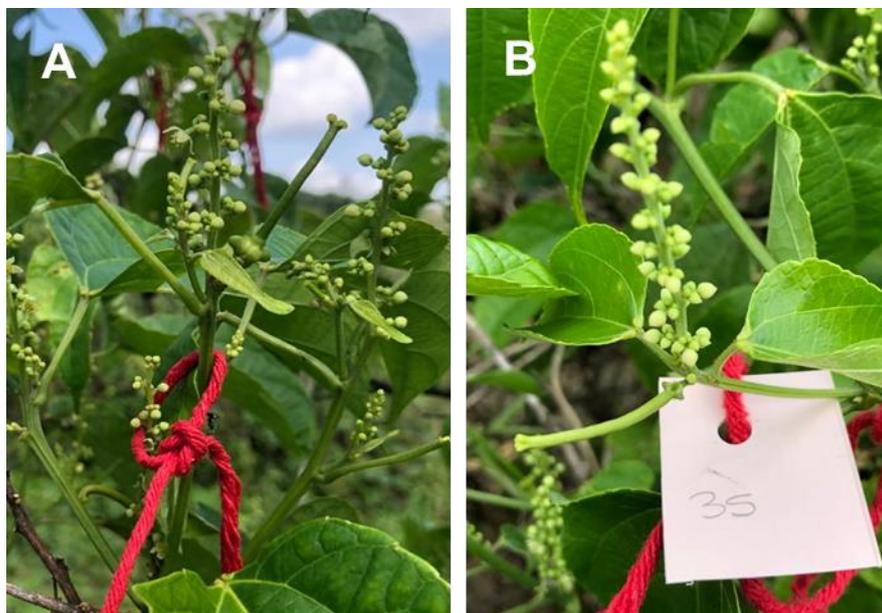
O experimento foi realizado de novembro de 2020 a abril de 2021. O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo no Sistema Brasileiro de Classificação do Solos (MOREIRA E FAGERIA, 2008). A região tem clima equatorial úmido, com uma curta estação seca (julho-setembro com precipitação mensal de 50-100 mm), e um mês de transição seca-úmida (outubro). O período do experimento coincidiu com a estação úmida estabelecida entre os meses de novembro a maio (precipitação mensal de 200-300 mm). A temperatura média anual é 27 °C (FISCH et al., 1999).

As plantas utilizadas para o experimento foram provenientes do banco germoplasma mantido no setor de plantas medicinais da EMBRAPA Amazonia Ocidental onde elas são conduzidas em sistema de espaldeira.

Plantas de sacha-inchi, com um ano de idade, foram selecionadas e marcadas as inflorescências, com fio de barbante de cor vermelha (Figura 6-A), quando apresentavam flores femininas com os estigmas abertos. Ao todo foram marcadas cerca de 4.500 flores femininas, devido as flores femininas terem um percentual de 80,0% de abortamento (informação obtida após observação em campo). Após 10 dias iniciaram-se as coletas, datadas como 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 e 120 dias após a antese floral (DAA). Em cada coleta, foram colhidos 60 frutos aos quais foram acomodados em badejas de polietileno e levados para o laboratório.

Para a decima segunda avaliação 120 DAA, os frutos de sacha inchi foram colhidos com 110 DAA e colocados para secar a sombra durante cinco dias, após os frutos foram beneficiados retirando as sementes, com elas foram realizados os

mesmos testes das demais avaliações. Esse procedimento foi adotado devido a espécie apresentar deiscência.



**Figura 6.** Marcação das inflorescências de *Plukenetia volubilis* L. (sacha-inchi). **A** - detalhe do fio barbante. **B** - detalhe da etiqueta com a numeração. **Fotos:** J. L. L. Dias (2020).

Além da marcação das 4.500 inflorescências, foram marcadas outras 100 inflorescências com tamanho médio de 1 cm, com barbante vermelho e uma etiqueta de numeração (Figura 6B). A partir da marcação das inflorescências foram realizadas mensurações aos 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 e 63 dias. As mensurações consistiram em: tamanho do racemo e tamanho da flor feminina, as medidas foram realizadas utilizando regra graduada, dando os tamanhos em (cm).

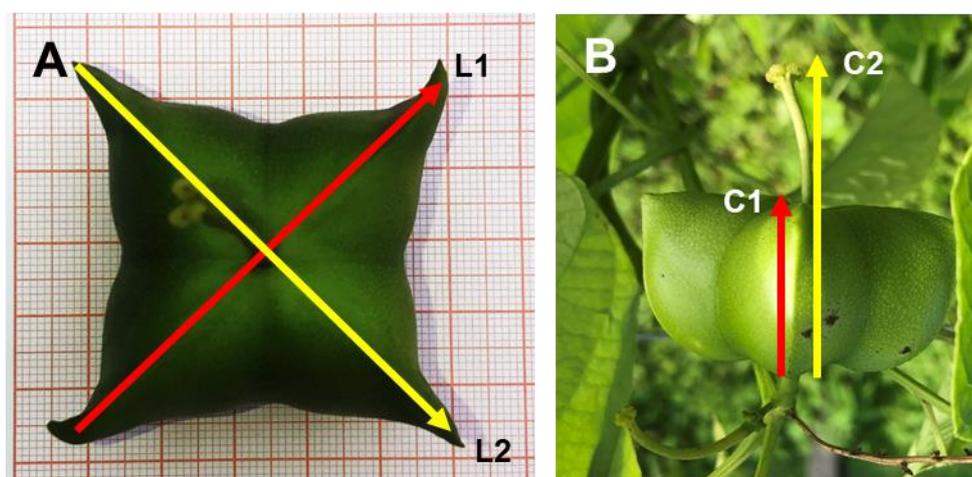
Em cada avaliação foram contadas a quantidade de flores femininas e a quantidade de racemos que permaneceram nas plantas, a partir dos 63 dias após a instalação do experimento foi realizado a contagem de flores femininas e racemos que permaneceram intactas a partir das 100 marcações. Essas observações permitiram descrever a fase fenológica em dias, a partir do aparecimento da inflorescência até a antese, além de permitir o cálculo da porcentagem de abortamento floral.

## 4.2 Condução do experimento em laboratório

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Plantas Medicinais e Fotoquímica da Embrapa Amazônia Ocidental, sendo realizadas as avaliações dos atributos físicos dos frutos além dos atributos de qualidade física e fisiológica das sementes.

**4.2.1 Coloração das sementes e dos frutos:** foi realizada utilizando a carta de cores de Munsell (1976), sendo os resultados expressos em Hue (tonalidade ou matiz, determinadas pelo comprimento de onda), value (brilho ou intensidade luminosa) e chroma (saturação da cor). Para essa avaliação foram utilizados 5 frutos e 20 sementes.

**4.2.2 Biometria (largura, comprimento e espessura dos frutos e das sementes):** foram determinados através de medições diretas, com auxílio de um paquímetro manual, em quatro repetições de 25 sementes e 25 frutos por tratamento, sendo os resultados expressos em centímetros. As mensurações dos frutos foram definidas como medidas transversais e verticais. As medidas transversais aos lóbulos do fruto foram chamadas de largura 1 (L1) e largura 2 (L2) (Figura 7-A). As medidas verticais da base ao ápice do fruto, foram chamadas de comprimento 1 (C1) sem estigma e comprimento 2 (C2) com estigma (Figura 7-B).



**Figura 7.** Ilustração da mensuração das dimensões do fruto de *Plukenetia volubilis* L. (sacha-inchi). **A** - posição da mensuração da largura; duas medidas transversais aos lóbulos do fruto. **B** - posição da mensuração do comprimento; duas medidas da base ao ápice, com e sem estigma. C1 e C2 - comprimento; L1 e L2 - largura. **Fotos:** J. L. L. Dias (2020).

**4.2.3 Determinação do teor de água das sementes:** foi determinado em sementes recém-extraídas dos frutos, pelo método de estufa a  $105 \pm 3$  °C durante 24 horas (BRASIL, 2009), utilizando 3 repetições, com 20 sementes de 10 DAA até 30 DAA e 6 sementes e 6 sementes de 30 DAA até 120 DAA, por tratamento. Os resultados foram expressos em porcentagem na base úmida.

**4.2.4 Massa seca das sementes:** foi realizado após a determinação do teor de água, utilizando-se o peso da semente seca, mantidas em estufa com circulação de ar forçada, à temperatura de  $70$  °C  $\pm$   $3$  °C, até o período em que se observou peso constante. Os resultados foram expressos em gramas.

**4.2.5 Germinação das sementes:** foi conduzido com quatro repetições de 25 sementes por tratamento. Os testes foram instalados em caixas de plásticos transparente (18,0 x 13,5 x 6,5 cm) contendo como substrato 180 g de vermiculita, umedecida com 60% da sua capacidade de retenção de água, com semeadura realizada a 1,0 cm de profundidade, conforme descrito por Silva et al. (2016). Em seguida foram colocadas em câmara de germinação a 30 °C, com luz contínua. Após a instalação e reposição de água sempre que necessário, a partir do aparecimento da primeira plântula normal, foram realizadas contagens das plântulas normais (BRASIL, 2009), a cada dois dias até o período da estabilização do estande. Os resultados foram expressos em porcentagem.

**4.2.6 Índice de velocidade de germinação:** foi determinado usando os dados da avaliação anterior de cada repetição. Corresponde ao somatório dos quocientes resultantes da divisão do número de sementes germinadas a cada dia pelo respectivo número de dias transcorridos desde a semeadura (KRZYZANOWSKI et al., 1999), conforme equação proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{N1}{D1} + \frac{N2}{D2} + \frac{N3}{D3} + \dots + \frac{Nn}{Dn}$$

Onde:

**IVG** = índice de velocidade de germinação;

**N1:n** = número de plântulas germinadas na avaliação 1, 2, 3, ...n; e

**D1:n** = número de dias para as plântulas germinarem na avaliação 1, 2, 3, ...n.

**4.2.7 Emergência:** foi realizada em viveiro utilizando bandejas de poliestireno expandido de 72 células, contendo areia como substrato. A contagem foi feita a cada dois, em quatro repetições de 25 sementes por tratamento, até a estabilização do estande de plântulas. Os resultados foram expressos em porcentagem.

**4.2.8 Índice de velocidade de emergência:** foi determinado usando os dados da avaliação anterior de cada repetição, do mesmo modo que o índice de velocidade de germinação. A fórmula usada para cálculo do IVE foi proposta por Maguire (1962).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com doze tratamentos, que consistiram nas épocas de colheita. Os dados relativos às variáveis mensuradas foram submetidos à análise de variância com posterior regressão polinomial.

## **5. RESULTADOS E DISSCUSSÃO**

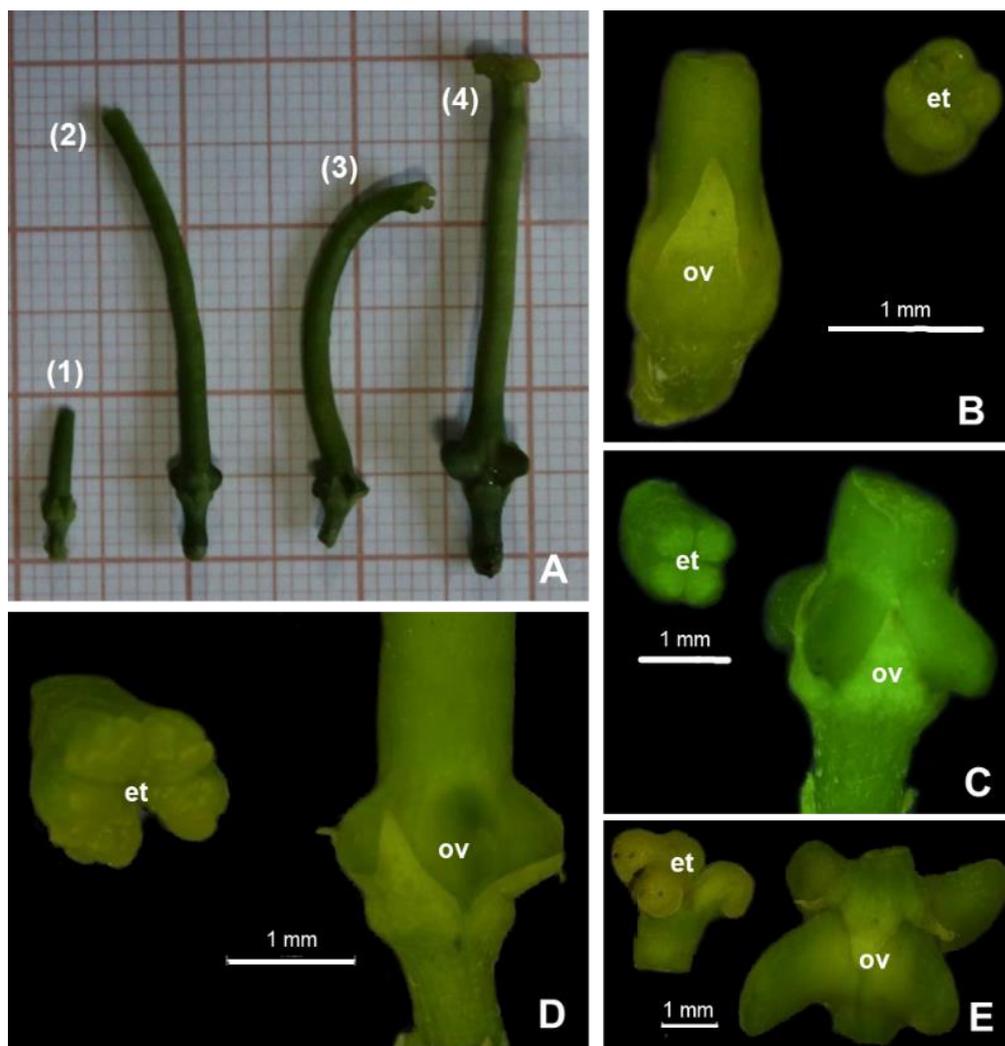
### **5.1 Características fenológicas das estruturas reprodutivas de sachinchi**

As inflorescências femininas e masculinas de plantas cultivadas em Manaus, AM, apresentaram o mesmo padrão registrado na literatura, com a flor feminina localizada na base da folha e os racemos localizados acima da flor feminina. Mas, o desenvolvimento das mesmas ocorreu de forma dessincronizada, pois, ao final da antese, as flores masculinas, em sua maioria, apresentavam cor marrom, com aspectos de murchas ou mesmo ausentes, devido ao abortamento das flores e, conseqüentemente, racemos sem as estruturas masculinas. De acordo com Valente et al. (2017) a espécie é alógama com baixo percentual de autogamia.

Somente em uma planta, em um só ramo, foi observado grande número de flores femininas na base do racemo, saindo essas flores do mesmo ponto, formando uma estrutura que se assemelhava a um cacho de flores femininas. Embora tenha havido grande cuidado ao mensurar essas estruturas, usando réguas, o percentual de abortamento foi de 90% para flores masculinas após 63 dias após a marcação (DAM) e de 84% para flores femininas, do total das inflorescências marcadas. Esses resultados foram importantes na mudança da estratégia de marcação das inflorescências, pois foi necessário selecionar 4.500 inflorescências.

A partir dessas observações, padronizou-se que as flores femininas a serem marcadas deveriam estar com estigma aberto (Figuras 8- A3 e D). Outra característica observada neste estágio da antese foi que na base da flor feminina já apresentava algum desenvolvimento de semente, permitindo assim a separação, em laboratório, para instalação dos testes de qualidade de sementes.

Embora tenham sido feitas colheitas dessas estruturas até um mês antes da antese, não houve como separar as sementes; primeiramente, devido o alto teor de umidade, com estruturas dos frutos muito tenras, não havendo possibilidade de retirar sementes intactas.



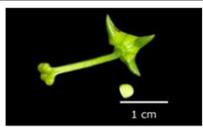
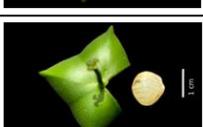
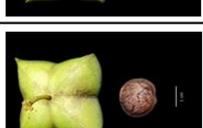
**Figura 8.** Aspecto do desenvolvimento da flor feminina (pistilada) de *Plukenetia volubilis* L. (sacha-inchi), até a fecundação. **A** - características das quatro fases. **B** - detalhe da fase 1, estigma e ovário pouco desenvolvido. **C** - detalhe da fase 2, estigma fechado e ovário abaulado. **D** - detalhe da fase 3, flor em antese, caracterizado pela abertura do estigma. **E** - detalhe da fase 4, flor fecundada caracterizada pela abertura total do estigma e ovário se transformando em fruto. **et** - estigma; **ov** - ovário. **Fotos:** J. L. L. Dias (2020).

O tamanho observado até a última avaliação em campo (63 DAM) apresentou flores femininas com 3,5 cm, antes do abortamento da flor feminina ou formação do fruto. O tamanho máximo dos racemos aos 63 DAM foi 12 cm.

## 5.2 Coloração e caracterização dos frutos e das sementes

Os aspectos visuais da mudança de coloração dos frutos e sementes de sacha-inchi pode ser observado no Quadro 1.

**Quadro 1.** Aspectos visuais da coloração do fruto e da semente de *Plukenetia volubilis* L. (sacha-inchi) em diferentes épocas de colheita após a antese, utilizando Hue Valor Chroma<sup>1</sup> (MUNSELL, 1976) para definição das cores. **T** - tegumento; **V** - veios. Manaus-AM, 2021.

COLHEITA (dias)	CORES				ASPECTO MORFOLÓGICO
	FRUTO		SEMENTE		
	Subjetiva	Chroma <sup>1</sup>	Subjetiva	Chroma <sup>1</sup>	
10	verde-claro	10 GY 7/16	verde-claro - T	10 GY 8/24	
20	verde-claro	2.5 G 6/20	verde-claro - T	10 GY 8/24	
30	verde-claro	2.5 G 6/20	verde-claro - T	10 GY 7/16	
40	verde-escuro	2.5 G 3/18	verde-cinza - T marrom-claro - V	10 GY 7/8 7.5 YR 7/4	
50	verde-escuro	2.5 G 3/12	marrom-claro - T marrom-escuro - V	2.5 GY 2/4 7.5 YR 2/2	
60	verde-escuro	7.5 GY 2/6	marrom-escuro - T marrom-escuro - V	7.5 YR 2/2 10 R 2/1	
70	verde-bandeira	7.5 GY 3/8	marrom-escuro - T marrom-escuro - V	7.5 YR 2/2 10 R 2/1	
80	verde-oliva	2.5 GY 4/6	marrom-escuro - T marrom-escuro - V	7.5 YR 2/2 10 R 2/1	
90	verde-oliva	2.5 GY 4/6	marrom-escuro - T marrom-escuro - V	7.5 YR 2/2 10 R 2/1	
100	marrom	2.5 GY 4/6	marrom-escuro - T marrom-escuro - V	7.5 YR 2/2 10 R 2/1	
110	marrom-escuro	2.5 YR 3/4	marrom-escuro - T marrom-escuro - V	7.5 YR 2/2 7.5 YR 2/2	

As mudanças na coloração dos frutos, indicativas da transição entre os estádios de maturação foram caracterizadas pelos seguintes estádios: entre 10 a 30 dias após a antese (DAA), os frutos apresentaram coloração verde-clara, aos 50 a 60 DAA, os frutos passaram para uma coloração verde-escuro, aos 70 DAA os frutos passaram para a cor verde-bandeira, 80 e 90 DAA, os frutos começam a apresentar a coloração verde-oliva, aos 100 DAA ficaram marrons e aos 110 DAA, os frutos apresentaram coloração marrom-escuro; nesse estágio de maturação começa a ocorrer o surgimento da retração do exocarpo, causado pela perda de água nos frutos. Aos 110 DAA, o exocarpo apesar de retraído, permaneceu aderido ao endocarpo até o momento da deiscência. Esta característica morfológica pode ser facilmente usada como um indicador visual de maturidade de campo, momento ideal para colheita.

Aos 120 ocorreu a deiscência total do fruto e, a dispersão das sementes ocorre por explosão única. No momento da deiscência ocorre a rachadura do endocarpo e em seguida as sementes são lançadas no ambiente. Por apresentar essa característica, e para não ocorrer a perda das sementes no campo, o ponto ideal de colheita da *sacha-inchi*, deve ocorrer aos 110 DAA quando o fruto já está seco, com o exocarpo retraído, porém com o endocarpo fechado. Nesse estágio o fruto apresenta uma maior facilidade de separar a semente do fruto, favorecendo assim, o beneficiamento das sementes.

Singanusong e Jiamyangyuen (2020) estudaram o efeito de três estádios de maturação do fruto (verde, marrom-esverdeado e marrom), na composição química e atividade antioxidante de *sacha-inchi* cultivada no Norte da Tailândia e, concluíram que grãos de *sacha-inchi* da mais alta qualidade, com mais benefícios para a saúde, é encontrada em frutos colhidos quando a casca está marrom e seco. Portanto este estudo reforça a indicação, que tanto para a produção da amêndoa comestível quanto para a produção de sementes, o melhor ponto de colheita utilizando o método visual do fruto é quando, o mesmo apresenta coloração marrom e aspecto seco.

Barbosa et al. (2015) comentam que a coloração dos frutos e sementes de um grande número de estudos na literatura tem confirmado a eficácia deste índice prático na determinação dos pontos de maturidade fisiológica de sementes de várias espécies.

Lima et al. (2016) estudando maturidade fisiológica de sementes de tungue (*Aleurites fordii* Hemsl.) da família Euphorbiaceae, concluíram que os frutos

classificados como 10 R 3/2 na escala de cores de Munsell, que correspondem à coloração marrom-claro, colhidos diretamente da planta, produzem sementes com maturidade fisiológica indicativo do momento ideal de colheita; os autores também concluíram que nesse estágio, as sementes apresentam maior teor de matéria seca, redução no teor de água e maior facilidade na extração das sementes dos frutos, em relação aos estádios anteriores. A coloração do fruto não foi eficiente para refletir a maturidade das sementes de *Cnidoscylus quercifolius* (Euphorbiaceae), no entanto quando as sementes atingiram a máxima germinação e vigor, o epicarpo dos frutos fica enrolado, porém aderido ao endocarpo, constituindo um eficiente e prático índice visual da época de coleta (SILVA et al., 2008). Esses aspectos dos frutos de espécies da família Euphorbiaceae, reforçam as observações feitas em sachá-inchi, que para se determinar a maturidade fisiológica de sementes, utilizando as características visuais dos frutos, é importante observar além da coloração, a consistência e os aspectos da deiscência do fruto.

Foi observado que até aos 90 DAA os frutos de sachá-inchi apresentam coloração verde, após esse estágio, a mudança de coloração é coloração para tons marrom é muito rápido. Portanto, os aspectos visuais em campo, durante o desenvolvimento do fruto de sachá-inchi, favorável a uma colheita segura é a observação da retração do exocarpo.

O enrugamento e a presença de fendas no ápice do fruto de *Amburana cearensis* (Fabaceae), o enrugamento do pericarpo com coloração marrom-clara em frutos de *Lophantera lactescens* (Malpighiaceae), e o enrugamento do epicarpo, com coloração marrom-escura em frutos de *Myracrodruon urundeuva* (Anacardiaceae) são características que podem ser utilizadas como indicadores da maturidade fisiológica das sementes (LOPES et al., 2014; SILVA et al., 2019; CRUZ, 2017).

As mudanças na coloração das sementes (Quadro 1), indicativas da transição entre os estádios de maturação, foram caracterizadas pelos seguintes estádios: aos 10 a 30 DAA, as sementes apresentaram coloração verde-clara, aos 40 DAA, a testa (tegumento externo) da semente apresentou coloração verde-cinza, e o tégmen (tegumento interno) cor preta, sendo que a testa estava pouco aderida ao tegumento interno, possibilitando a fácil retirada; nesse estágio de maturação os veios (v) que ornamentam a testa, começam a ficar visíveis. Aos 50 DAA, a semente começou a mudar a coloração dos tons esverdeados para marrom-claro e, após 60 DAA em

diante, a semente apresentou coloração marrom-escura, permanecendo com essa cor até aos 110 DAA; nessas fases, o tegumento externo se une ao interno, não sendo mais possível sua separação.

Diferente da mudança na coloração do fruto, as sementes começam a mudar de coloração após 50 DAA, porém o tegumento apresenta consistência coriácea. A partir de 90 DAA o tegumento já apresenta consistência lenhosa e com as mesmas características visuais até o momento da dispersão.

A semente de sachá-inchi, aos 110 (DAA), apresenta as seguintes características: formato lenticular, tegumento rugoso (por causa dos veios proeminentes que ornamentam a testa) com consistência lenhosa, hilo na posição apical, micrópila visível às vezes em formato de orifício. O endosperma da semente é de cor branca, com textura lisa e consistência carnosa. O embrião na posição axial, cor esbranquiçada, apresenta cotilédone do tipo foliáceo e plúmula indiferenciada.

As sementes de sachá-inchi são semelhantes as sementes de outras espécies da mesma família. Pereira et al. (2021), em estudo morfológico realizado com sementes de *Jatropha* L. (Euphorbiaceae), encontraram características morfológicas semelhantes, concluíram que as sementes de *J. gossypifolia* são oblongas, possuem endosperma branco, embrião no eixo axial e foliáceo.

Dentro do gênero *Plukenetia* existem variações nas características morfológicas das sementes, por exemplo a *P. Ankaransensis* possui sementes com formatos subglobosas e a *P. Coniculata* possui o formato ovoide já a *Plukenetia stipellat* é a espécie dentro do gênero que mais se assemelha a *P. Volubilis*, tanto no formato das sementes como no formato do fruto (GILLESPIE., 1993).

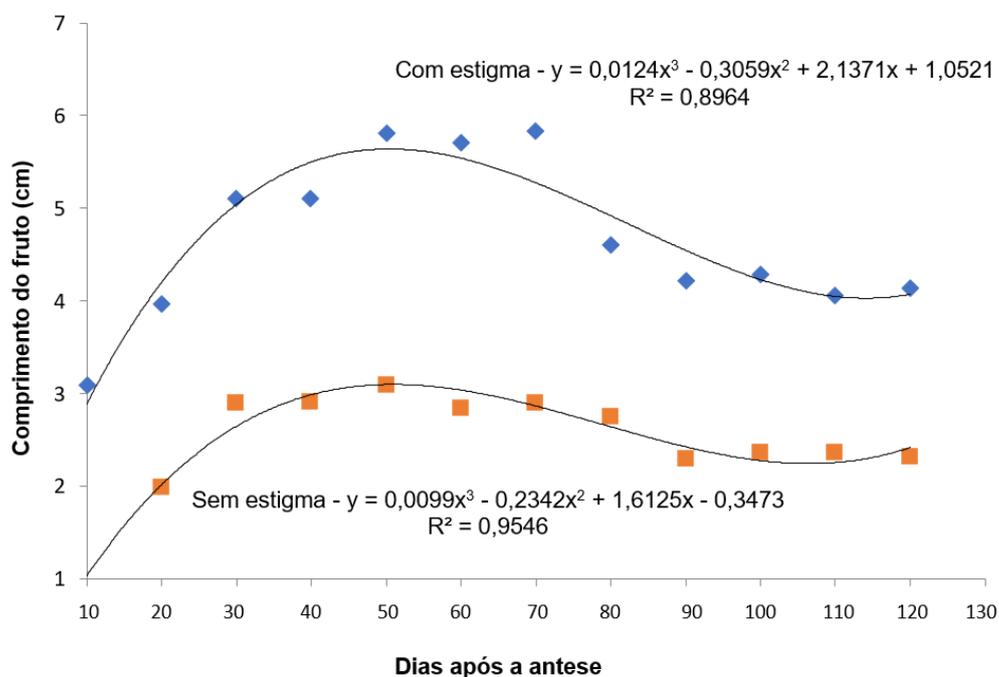
A sachá-inchi é muito variável morfológicamente, tanto em bancos de germoplasmas como em ocorrência natural, principalmente para a característica do fruto. Estudos indicam que acessos de sachá-inchi, procedentes do estado de Amazonas, Brasil, variam significativamente em número de sementes por fruto, peso de fruto, peso de semente, comprimento, largura e altura de semente (VALENTE et al., 2017).

## 5.2 Biometria dos frutos e sementes da sachá-inchi

### 5.2.1 Biometria dos frutos

A caracterização biométrica dos frutos de sachá-inchi apresentou diferentes tamanhos entre os frutos nas diferentes épocas de colheita. De 10 a 40 DAA, os frutos apresentaram um rápido crescimento. Aos 10 DAA, os frutos apresentaram o comprimento médio 1 cm sem o estigma (C1) e 2,9 cm com o estigma (C2); aos 20 DAA os frutos apresentavam 2 cm (C1) e 4 cm (C2), passando para 2,7 cm (C1) e 5,1 cm (C2) aos 30 DAA. O comprimento se manteve constante dos 30 DAA até 70 DAA, tanto para o comprimento com e sem estigma, e o tamanho máximo observado ocorreu aos 70 DAA, onde foram encontrados frutos apresentados 3,1 cm (C1) e 6,1 cm (C2). Observa-se na Figura 9, que até aos 40 DAA os frutos cresceram em média 1 cm a cada 10 dias.

No ponto ideal de colheita aos 110 DAA, os frutos apresentaram as seguintes médias para comprimento: 2,2 cm (C1) e 4 cm (C2).

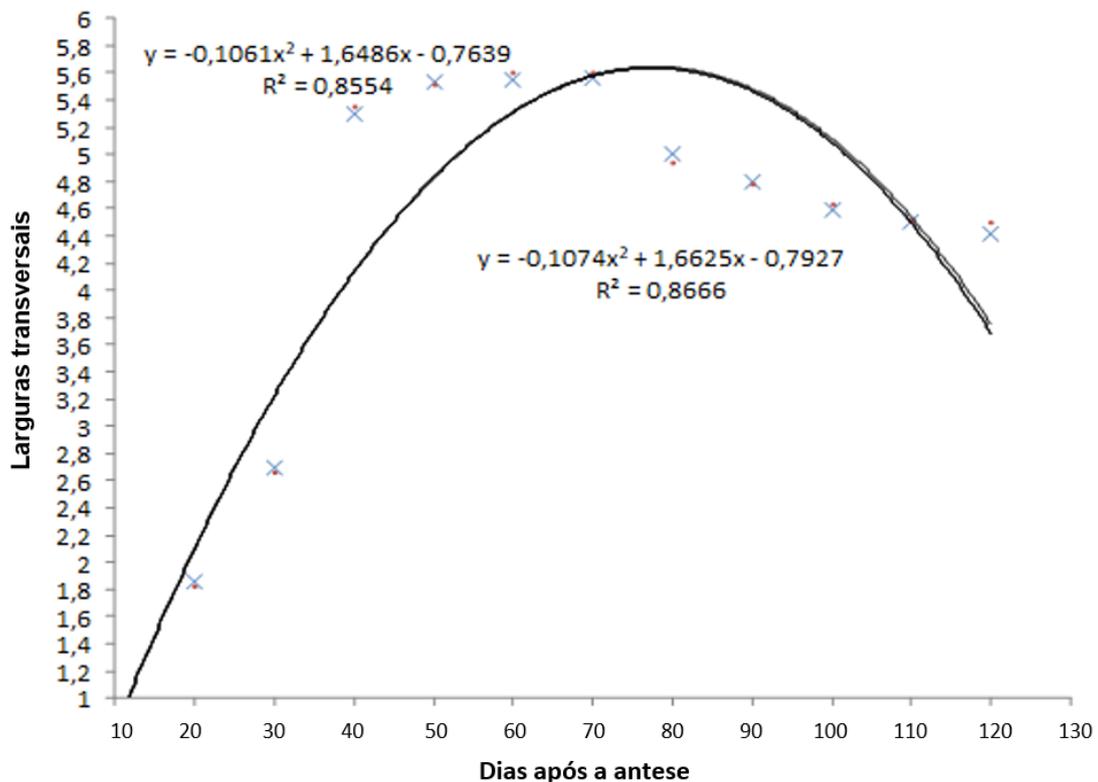


**Figura 9.** Comprimento do fruto de *Plukenetia volubilis* L. (sachá-inchi) em diferentes épocas de colheita após a antese. Manaus, AM 2021.

Em relação às medidas transversais de largura 1 e 2, os frutos apresentaram medidas simétricas entre os eixos, com isso as retas ficaram muito próximas uma da outra como é observado na Figura 10. Com 10 DAA os frutos apresentam 1 cm de largura entre os ápices, aos 20 DAA os frutos mediam 1,8 cm, já aos 30 DAA eles apresentavam tamanhos médios de 2,7 cm. O tamanho máximo do fruto foi observado aos 70 DAA, momento em que os frutos atingiram tamanho médio de 5,6 cm entre os ápices dos lóculos.

Após atingir o tamanho máximo o fruto da sachá-inchi reduz levemente seu tamanho, essa redução está relacionada com a diminuição da umidade do fruto no decorrer da sua maturação.

A partir das características morfométricas observadas os frutos de sachá-inchi podem ser colhidos para fins comerciais com as medidas de 2,2 cm de comprimento sem estigma e 4,6 cm de largura entre os ápices dos lóculos. No entanto, as características biométricas do fruto de sachá-inchi durante o desenvolvimento, não foram eficientes para refletir a maturidade das sementes.



**Figura 10.** Largura do fruto de *Plukenetia volubilis* L. (sachá-inchi) em diferentes épocas de colheita após a antese. Manaus, AM 2021.

Em estudo realizado na China, Niu et al. (2014), encontram o mesmo padrão de crescimento dos frutos da sachá-inchi, em condições edafoclimáticas chinesas com as quatro estações do ano bem definidas, porém os supracitados autores afirmam que a maturação final dos frutos ocorreu aos 145 DAA, divergindo dos resultados encontrados nesta pesquisa na região amazônica. Essa diferença de dias entre as maturações pode estar ligadas ao fator do centro de origem da espécie ser na região amazônica.

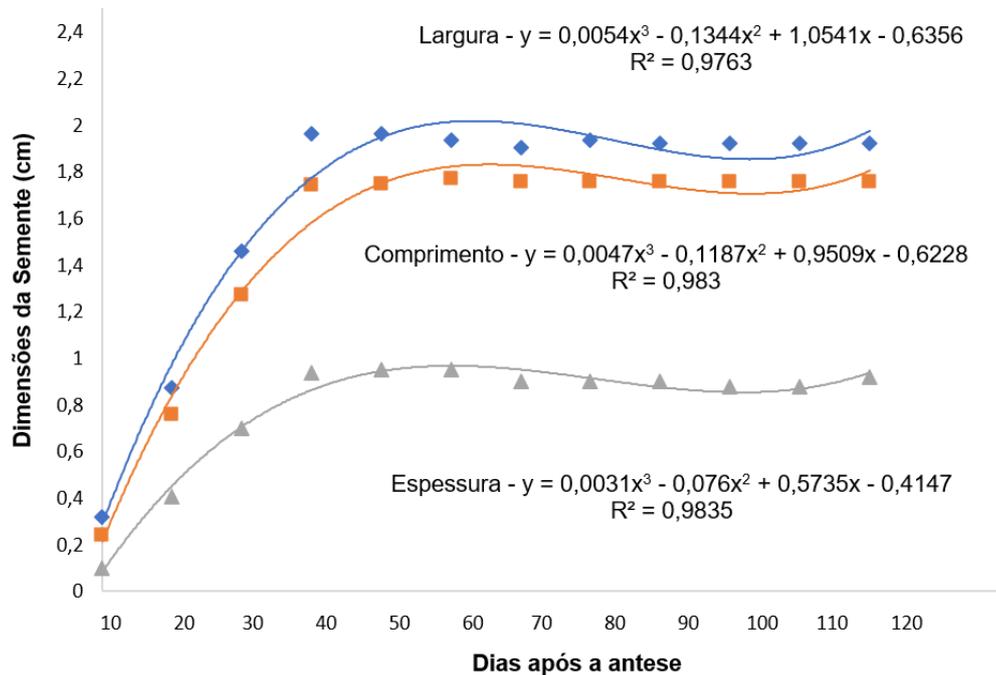
O mesmo foi observado por CAI (2011), que dividiu a maturação dos frutos em três estágios principais: no primeiro momento ocorre rápido ganho de tamanho; no segundo estágio ocorre intenso ganho de peso fresco; no terceiro estágio ocorre perda de peso fresco e leve ganho de peso seco.

### **5.2.2 Biometria das sementes**

Os tamanhos das sementes variaram com o passar dos dias após a antese e foram mensurados em três eixos, sendo eles: o comprimento definido pela região do hilo e a região oposta ao hilo, a largura e a espessura da semente (ambos avaliados na região mediana da semente). Entre 10 e 30 DAA, a semente apresentou um rápido crescimento, com média 0,2 x 0,3 x 0,1 cm, aos 20 DAA, a semente apresentou 0,8 x 0,9 x 0,4 cm; aos 30 DAA, 1,4 x 1,5 x 0,6 cm. A partir dos 40 DAA, a semente atingiu o tamanho máximo de 1,8 x 1,9 x 0,9 cm, mantendo o tamanho constante até aos 110 DAA.

De acordo com as análises de regressão, constatou-se efeito significativo de ordem cúbica para o tamanho das sementes (Figura 11). Observou-se um aumento gradativo ao longo do processo de maturação, com valor máximo estimado de 2 cm, aos 40 DAA, a partir do qual as sementes apresentaram tamanhos semelhantes estatisticamente, podendo então afirmar que nesse momento a semente atingiu o seu tamanho máximo. Nesse estágio de maturação os frutos apresentam a cor verde escuro, estando então no segundo estágio de maturação.

Tamanhos similares também foram observados por Follegatti-Romero et al (2009), onde conclui que as sementes de sachá-inchi possuem formato lenticular e medidas variando de 1,5 a 2,0 cm de diâmetro, ligeiramente levantadas no centro e achatadas nas bordas.



**Figura 11.** Dimensões da semente de *Plukenetia volubilis* L. (sacha-inchi) em diferentes épocas de colheita após a antese. Manaus, AM 2021.

Segundo Peske et al. (2012), no início do processo de maturação, ou seja, logo após a fertilização, o tamanho da semente aumenta rapidamente, atingindo o máximo em curto espaço de tempo, devido a intensa multiplicação e expansão das células que constituem o eixo embrionário e os tecidos de reserva. O valor máximo é obtido, geralmente, nos estádios intermediários do processo de maturação, e ao final deste, verifica-se uma leve redução no tamanho dos frutos e sementes, devido à perda de água (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

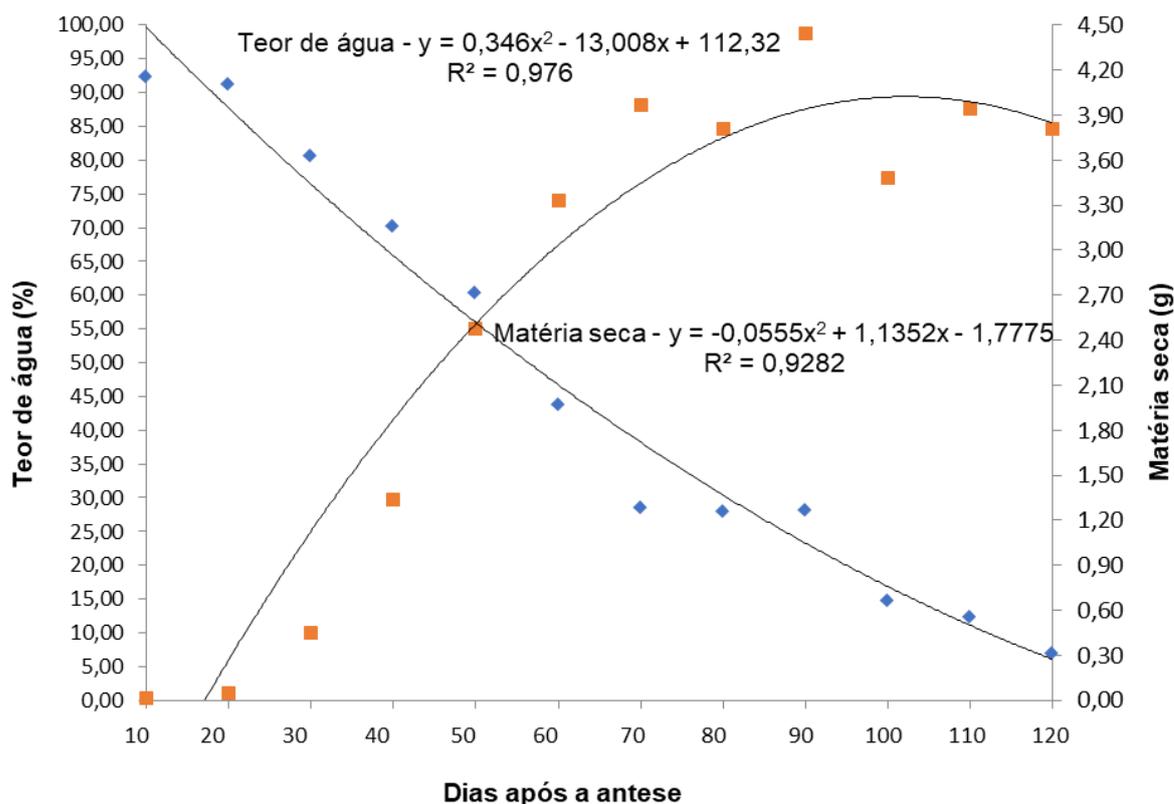
### 5.3 Teor de água e massa seca das sementes

O teor de água inicial das sementes variou em decorrência dos diferentes estádios de maturação dos frutos. O teor de água no estágio de maturação inicial 10 DAA foi elevado (92%), aos 20 DAA as sementes apresentavam 90%. O alto teor de água nessa fase de maturação é necessário tanto para a expansão celular quanto para a translocação de metabólitos da planta para as sementes (BEWLEY et al., 2013). A partir dos 20 DAA o teor de água começou a baixar continuamente, passando

de 83% aos 30 DAA para 70% aos 40 DAA, nesse estágio os frutos mudaram a coloração de verde-claro para verde-escuro. Aos 50 DAA a semente apresentou 60% de umidade e aos 60 DAA apresentaram 42 % de umidade. A umidade da semente manteve-se constantes dos 70 aos 90 DAA, em torno de 25 %, Nesses estádios os frutos ainda se encontravam na coloração verde, quando ocorreu a mudança na alteração da cor do fruto passando de verde para marrom, a umidade voltou a baixar, chegando a 14% aos 100 DAA, 12% aos 110 DAA e aos 120 DAA a semente chegou a 7% no teor de umidade (Figura 12).

Inversamente à redução do teor de água, foi observado o aumento gradativo do acúmulo da matéria seca na semente. Nas primeiras fases de desenvolvimento das sementes dos 20 DAA até 70 DAA, a massa de matéria seca aumentou rapidamente. Essas fases são caracterizadas pela histodiferenciação, morfogênese e pela síntese e deposição de reservas, como carboidratos, lipídeos e proteínas (LIMA et al., 2008). O acúmulo de matéria seca foi mínimo a partir dos 70 DAA, com tendência à estabilização até 120 DAA, tendo o máximo de matéria seca atingido aos 90 DAA, não diferindo estatisticamente até os 120 DAA. Teoricamente quando a semente apresenta o máximo de matéria seca ela expressa maior vigor.

Normalmente, sementes ortodoxas atingem a maturidade fisiológica a baixos teores de umidade. Sementes classificadas nesse padrão toleram a dessecação e matem a viabilidade; a umidade nessas sementes decresce até baixos níveis ao longo da maturação da semente, entrando em criptobiose, ao atingir a maturidade fisiológica, onde estará pronta se desligar da planta-mãe e dispersar. Garcia et al. (2019) observaram germinação de sementes de sachá-inchi de até 91,0 %, com sete dias de secagem em câmara de ventilação forçada com ar aquecido a 35 °C, com teor de água de 5,0 %. Já sementes armazenadas em câmara fria, em embalagem de vidro, plástico a vácuo e saco de fibra, a germinação aos 18 meses apresentou percentual de 82,0 %. Esses resultados demonstram que as sementes de sachá-inchi apresentam comportamento ortodoxo, pois apresentou tolerância à dessecação assim como suportou armazenamento prolongado em temperatura baixa (PACHECO JUNIOR, 2019).



**Figura 12.** Teor de água (%) e matéria seca (g) da semente de *Plukenetia volubilis* L. (sacha-inchi) em diferentes épocas de colheita após a antese. Manaus, AM 2021.

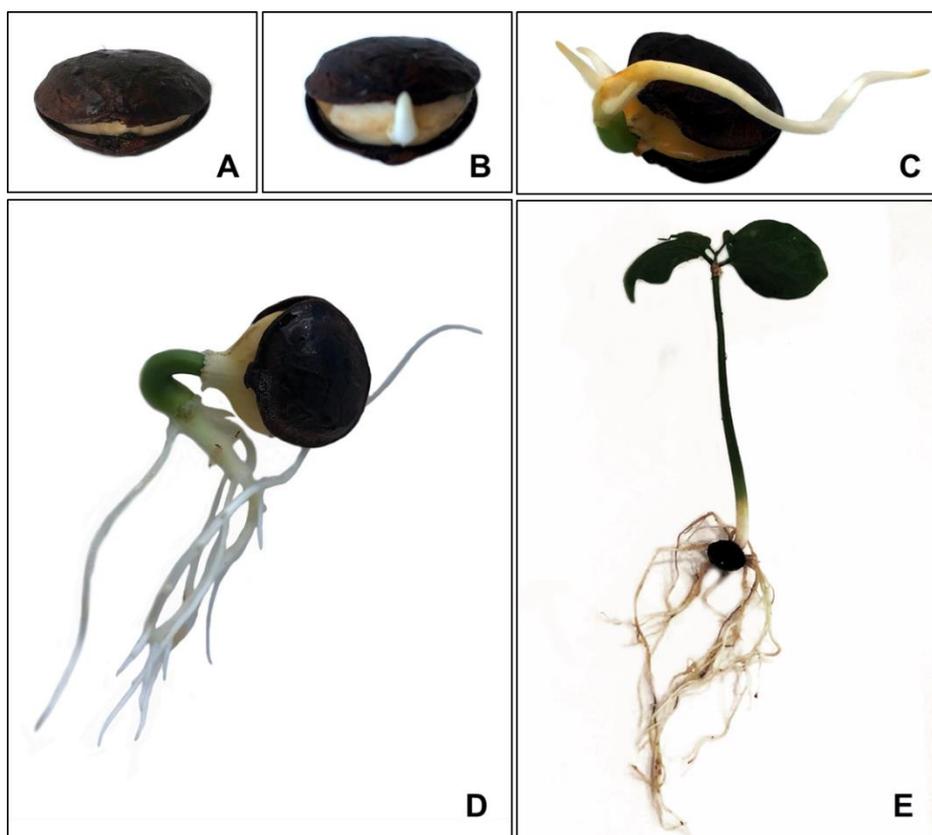
No entanto, as sementes de sachá-inchi ao atingirem o máximo de matéria seca aos 90 DAA, ainda se encontravam com 25% de umidade. Esse fato explica que apesar das sementes apresentarem o máximo acúmulo de matéria seca, a taxa germinação e emergência das plântulas ainda não havia atingido o máximo (Figura 14). Esses índices somente atingiram o máximo, quando houve a retomada de perda de umidade (Figuras 12 e 14). Portanto, pode-se inferir que as sementes de sachá-inchi cultivadas nas condições da Amazônia Central, atingiram o ponto de maturidade fisiológica de forma precoce, a partir de 90 DAA. Isso significa que as sementes de sachá-inchi podem ser colhidas neste estágio e, imediatamente proceder a secagem a baixos teores de umidade para garantir sua máxima qualidade durante o armazenamento.

Em termos práticos, as sementes de sachá-inchi podem ser colhidas sem perda da qualidade, aos 110 DAA, com características visuais do fruto fácil de observar em campo e fácil manuseio para a extração das sementes, sem precisar proceder a

secagem artificial. É importante salientar que nesse estágio as sementes já se desligaram da planta-mãe e podem sofrer com a ação das intemperes.

#### 5.4 Germinação e emergência de plântulas

A germinação da semente de sachá-inchi é do tipo epígea fanerocotiledonar, os cotilédones foliáceos se elevam acima da superfície do solo e se desprendem do tegumento. Após três dias da semeadura ocorre o rompimento do tegumento da semente (Figura 13A); no quarto dia, ocorre a protusão da raiz primária (Figura 13-B); no sétimo dia, o hipocótilo começa a se alongar (Figura 13-C); no décimo dia, as raízes secundárias já estão presentes (Figura 13D). O processo inteiro de germinação ocorre em 13 dias, quando as folhas cotiledonares estão totalmente expandidas (Figura 13-E). A raiz primária e secundária possuem coloração esbranquiçada enquanto o hipocótilo possui coloração verde clara.

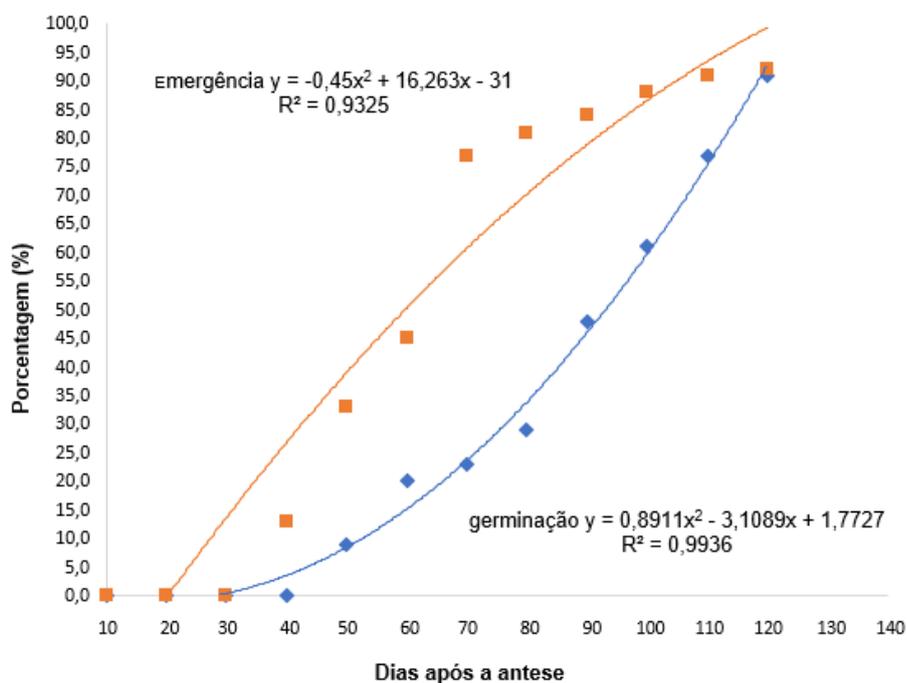


**Figura 13.** Aspecto morfológico da germinação de sementes de *Plukenetia volubilis* L. (sachá-inchi). **A** - rachadura do tegumento. **B** - protusão da raiz. **C** - alongamento da raiz primária. **D** - formação do gancho hipocotilar e desenvolvimento das raízes secundárias. **E** - alongamento do hipocótilo e expansão das folhas cotiledonares. **Fotos:** J. L. L. Dias (2020).

Observou-se no estudo que a germinação da semente de sachá-inchi começou a ocorrer aos 50 DAA, enquanto a emergência foi observada a partir de 40 DAA, com valores baixos de 9% e 11% (Figura 16), respectivamente. As sementes colhidas antes de completarem a maturação podem apresentar certo grau de potencial germinativo; contudo, estarão viáveis apenas por um curto período quando comparado com aquelas colhidas com a maturação completa (FIGLIOLIA, 1995). Marcos-Filho (2015) corrobora com a mesma tese, que sementes em estádios iniciais de maturação podem germinar, pois já apresentam suas estruturas formadas, isto é, o embrião já está morfologicamente formado. Contudo, a maturidade fisiológica só será confirmada quando estas apresentarem vigor elevado.

Aos 110 DAA, a porcentagem de emergência foi de 90 % não diferindo estatisticamente do resultado de 120 DAA, podendo-se deduzir que para sementeira imediata em campo não é necessário que as sementes sejam secadas ao sol.

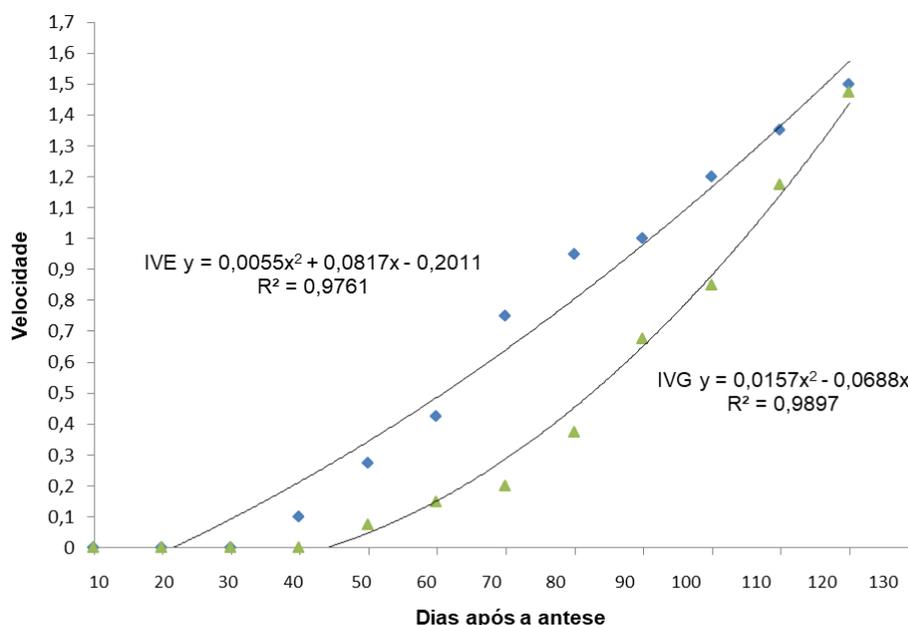
A porcentagem de germinação aos 110 (DAA) foi de 77%. Resultado semelhante foi observado por CESPEDES (2006) e por OLIVEIRA et al. (2013), quando obtiveram aproximadamente 80% de germinação.



**Figura 14.** Porcentagem de germinação e emergência de plântulas de *Plukenetia volubilis* L. (sachá-inchi), em diferentes épocas de colheita após a antese. Manaus, AM 2021.

## 5.5 Índice de velocidade de germinação, índice de velocidade de emergência de plântulas e primeira contagem de plântulas.

A velocidade de germinação e emergência das sementes de sachá-inchi aumentaram proporcionalmente no decorrer da maturidade. O aumento na velocidade de germinação e emergência se deve ao aumento no vigor das sementes decorrentes do aumento da matéria seca presente nas mesmas. Na Figura 15 podemos observar os valores do IVE e do IVG, onde o maior IVG foi observado aos 120 DAA valor aproximado foi encontrado para o IVE na mesma avaliação, sendo 1,45 e 1,5, respectivamente. Quando observado a decima primeira avaliação (110 DAA) o melhor índice foi do IVE, com 1,36. Esses valores indicam que nesses estádios as sementes germinam mais rapidamente, logo os menores resultados encontrados indicam que as sementes germinam em uma menor velocidade e um maior espaço de tempo como pode ser observado aos 40 (DAA) e 50(DAA), sendo de 0,14 IVE e 0,1 no IVG.



**Figura 15.** Índice de velocidade de germinação (IVG) e índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de *Plukenetia volubilis* L. (sachá-inchi).

Valentin e Pinã-Rodrigues (1995), afirmam que os testes de velocidade de germinação e de emergência partem do mesmo princípio, em que sementes de elevado potencial fisiológico se desenvolvem (germinam/emergem) mais rapidamente que outras em condição inferior. O que difere os dois índices é que o IVG é realizado

em conjunto com o teste de germinação, em condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Já o IVE é feito em ambiente não controlado podendo ocorrer situações adversas ao desenvolvimento das plântulas, simulando a condição a campo. No teste de emergência, conforme descrito na metodologia, as sementes permaneceram até o final das avaliações em viveiro, onde as temperaturas diurnas alcançam valores até 38 °C e à noite, dependendo da época do ano, são registradas temperaturas com valores de até 22,0 – 23,0 °C.

Resultado similar foi encontrado por Pacheco Junior (2019), em pesquisa com germinação, emergência, IVG e IVE de sementes de sachá-inchi, utilizando sementes armazenadas em diferentes embalagens e por diferentes tempos de armazenamento, onde conclui-se que as sementes maduras de sachá-inchi são vigorosas.

Neste estudo observa-se que o potencial fisiológico da semente de sachá-inchi aumenta gradativamente à medida que ocorre o avanço do estágio de maturação fisiológica, que para esta pesquisa foi definido pela cor, umidade e tamanhos dos frutos e das sementes sendo a cor marrom escuro e o aspecto seco do fruto um importante indicador morfológico para determinar o momento ideal da colheita. Diante do exposto, sugere-se que estes atributos podem ser utilizados como indicadores do momento ideal da colheita dos frutos, mas o avanço em colheitas após essas observações resultará em deiscência dos frutos e a liberação de sementes no ambiente. Essas após o contato com o solo, em sua maioria emerge, desde que tenha umidade no solo para a germinação das mesmas.

As plantas, principalmente as de ciclo determinado, geralmente apresentam sinais de ponto de colheita tanto de frutos como de sementes, pois há uma certa cronologia no desenvolvimento e senescência da parte aérea – compreendendo aqui como a arquitetura, as folhas, ramos, etc. E as estruturas reprodutivas nesse grupo de plantas na maioria das vezes também demonstram o encerramento de seu desenvolvimento, seja pela coloração dos frutos, exposição das sementes, facilidade na colheita, não demonstrando dificuldade em separar da planta-mãe, dentre outros.

A sachá-inchi apresenta produção contínua dos seus frutos, ou seja, não é característico da espécie apresentar uniformidade de maturação, esse fator pode se tornar oneroso para o produtor no momento da colheita, pois se faz necessário estar todo dia no campo realizando a colheita dos frutos que apresentarem maduros.

Apesar da espécie apresentar um alto índice de abortamento floral não foi constatado em campo que esse fator fosse limitante para a produtividade.

Sacha-inchi, por outro lado, embora demonstre para as estruturas reprodutivas o que foi exposto acima, já não podemos associar a estrutura vegetativa, pois o cultivo nas condições de Manaus, permitiu plantas no campo por até cinco anos ou mais de colheita, pois a planta como descrito na literatura é semi-perene, e localmente tem folhas e estruturas reprodutivas o ano todo, sendo que chuvas intensas parecem diminuir a percentagem de flores nas plantas, não necessariamente porque não emitem, mas possivelmente por favorecer a queda das flores masculinas e também a diminuição de insetos visitantes, notadamente moscas, abundantes no período de menos umidade relativa.

## 6. CONCLUSÕES

O fruto de sachá-inchi, ao longo do seu desenvolvimento, apresenta crescimento contínuo e rápido atingindo o máximo de tamanho máximo a partir de 50 DAA.

Os frutos e as sementes de sachá-inchi apresentam padrões diferenciados de maturação fisiológica em relação às modificações na coloração.

Considerando os resultados de germinação e vigor das sementes, bem como a massa seca dos frutos, pode-se concluir que a maturidade fisiológica das sementes foi alcançada entre 90 a 110 dias após a antese. Sendo 110 DAA o momento indicado para a colheita ocasião em que as sementes de sachá-inchi alcançaram germinação máxima.

Aos 110 DAA, há a necessidade de realizar a colheita dos frutos, devido ao processo de deiscência natural, quando os frutos estão com a coloração marrom-escura e exocarpo retraído.

## 7. REFERÊNCIAS

- AOSA. Association of Official Seed Analysts. **Seed vigor testing handbook**. AOSA, Lincoln, NE, USA. (Contribution, 32), 2002.
- BARBOSA, J. M.; RODRIGUES, M.A.; BARBÉRIO, M.; ARAÚJO, A. C.F.B. Colheita e manejo de sementes: maturação de sementes de espécies florestais tropicais. In PINÃ-RODRIGUES; FIGLIOLIA, M.B.; SILVA. (ORG). **Sementes florestais tropicais: da ecologia à produção**. Londrina: ABRATES, 2015. p 180-189.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3 ed. New York, 2013. 392p.
- BONDIOLI, P.; DELLA-BELLA, L.; RETTEKKE, P. Alpha linolenic acid rich oils. Composition of *Plukenetia volubilis* (sacha-Inchi) oil from Perú. **La rivista italiana delle sostanze grasse**. v.83, 4p. 2006.
- BORDIGNON, S.R.; AMBROSANO, G.M.B.; RODRIGUES, P.H.V. Propagação *in vitro* de sacha-inchi. **Ciência Rural**. Santa Maria, vol. 42 n. 7, p.1168-1172, 2012.
- BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: DNDV/CLAV, 365 p. 2009.
- CACHIQUE, D., RODRÍGUEZ, A., RUIZ-SOLSOL, H., VALLEJOS, G.; SOLIS, R. 2011. Propagación vegetativa del sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante enraizamiento de estacas juveniles en cámaras de subirrigación en la Amazonía Peruana. **Folia Amazónica**, vol. 27 n. 1, p. 95-100, 2018.
- CAI, Z. Q. Shade delayed flowering and decreased photosynthesis, growth and yield of sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) plants. **Industrial Crops and Products**. Vol.34, p. 35-37, 2011.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5ed., Jaboticabal: Funep, 2012. 588p.
- CASTRO, R.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M. Embebição e reativação do metabolismo. In: FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. (Org.). **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.149-162.
- CÉSPEDES, E.I.M. **Cultivo de sacha-inchi**. Tarapoto, San Martin, Peru: INIIA, Subdirección De Recursos Geneticos Y Biotecnología, 2006. 11p.
- CHANDRASEKARAN, U.; LIU, A. Stage-specific metabolization of triacylglycerols during seed germination of Sacha-Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.95, n.1, 3p, 2015.
- COPELAND, L. O. **Principles of seed science and technology**. Minneapolis, Burgess Publishing Company. 1976. 369p.

CRUZ, J. O. **Maturação e qualidade fisiológica de diásporos de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All.** 2017. 54f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.

DELOUCHE, J.C. Seed maturation. In: **Handbook of seed technology**. Mississippi: Mississippi State University, 1971. p.17-23.

DIAS, D. C. F. Maturação de sementes. **Seed News**, Pelotas, v. 5, n. 6, p. 22-24, 2001.

FANALI, C., DUGO, L., CACCIOLA, F., BECCARIA, M., GRASSO, S., DACHÀ, M., DUGO, P., MONDELLO, L. **Chemical characterization of sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil**. J. Agric. Food Chem. vol. 59, p.13043–13049, 2011.

FIGLIOLIA, M.B.; KAGEYAMA, P.Y. Maturação de sementes de *Inga uruguaiensis* Hook et Arn. em floresta ripária do rio Moji Guaçu, Município de Moji Guaçu, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, vol.6, n. único, p.13-52, 1994.

FIGLIOLIA, M.B. Colheita de sementes. In: SILVA, A.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. **Manual técnico de sementes florestais**. São Paulo: Instituto Florestal, 1995. p.1-12. Série Registros, 14.

FOLLEGATTI-ROMERO, C.R. PIANTINO, R. GRIMALDI, F.A. Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of omega-3 rich oil from sacha- inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds **Journal of Supercritical Fluids**. vol 49, n 3, p. 323-329, 2009.

GARCIA, L. C.; SOUSA, S. G. A.; MARAJÓ, L. Y. B.; CHAVES, F. C. M. Tolerância à secagem em sementes de sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L. Euphorbiaceae). **Comunicado Técnico**, Embrapa Amazônia Ocidental, 2019, 6p.

GILLESPIE, L. J. A revision of paleotropical *Plukenetia* (Euphorbiaceae) including two new species from Madagascar. **Systematic Botany**. vol. 32, n.4, p. 780- 802, 2007.

GILLIESPIE, J. L. A Synopsis of Neotropical *Plukenetia* (Euphorbiaceae) including two new species. **Systematic Botany**, v18, n.4, 18p, 1993.

HAMAKER, B. R.; VALLES, C.; GILMAN, R.; HARDMEIER, R. M.; CLARK, D.; GARCIA, H. H.; GONZALES, A. E.; KOHLSTAD, I.; CASTRO, M.; VALDIVIA, R.; RODRIGUEZ, T.; LESCANO, M. Amino acid and fatty acid profiles of the inca peanut (*Plukenetia volubilis* L.). **Cereal Chemistry**, v. 6, n. 4, p. 461-463, 1992.

ISELY, D. Vigor tests. **Proceedings of the Association of Official Seed Analysts**. 47: 177-182, 1957.

JEROMINI, S. T.; BARBOSA, V. S. A; SILVA, Z. G.; MARTINS, C. C. Substrate and seed sowing position on the production of *Plukenetia volubilis* L. seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6 p. 106-110, 2018.

KODAHL, N. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) from lost crop of the Incas to part of the solution to global challenges. *Planta* 251, v. 80, 2020.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Crescimento inicial de soja em função do vigor de sementes. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 12, p. 163-166, 2006.

KRIVANKOVA, B., CEPKOVA, P.H.; OCELAK, M.; JUTON, G.; BECHYNE, M. E.; LOJKA, B. Preliminary study of diversity of *Plukenetia volubilis* based on the morphological and genetic characteristics. *Agricultura Tropica et Subtropica* **45**, p 140-146, 2007.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. 218p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531p.

LIMA, R. B. S.; GONÇALVES, J. F. de C.; PANDO, S. C.; FERNANDES, A. V.; SANTOS, A. L. W. Primary metabolite mobilization during germination in rosewood (*Aniba rosaeodora* Ducke) seeds. *Revista Árvore*, v.32, p.19-25, 2008.

LIMA, R. P.; BORSOI, A.; SANTOS, R. R. P.; DRANSKI, L. A. J.; MALAVASI, C. U.; MALAVASI, M.; Maturidade fisiológica de sementes de tungue (*Aleurites fordii* Hemsl.). *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.15, n.3, p.208-214, 2016.

LOPES, I.S.; NÓBREGA, A.M.F.; MATOS, V.P. Maturação e colheita da semente de *Amburana cearensis* (Allem.) A.C. Smith. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.24, n.3, p.565-572, 2014.

MAGUIRE. J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, Madison v. 2, n.1, p. 176-177, 1962.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2 ed. Londrina, PR: ABRATES, 2015. 660 p.

MADR. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. **Cadena de sacha inchi, Indicadores e Instrumentos** – 2019. Disponível em <https://www.minagricultura.gov.co/paginas/default.aspx>. Acesso em 03 julho 2021.

MUNSELL, A. H. **Munsell book of color**. Baltimore: Macbeth Vivision of Kollmorgen, 1976. 23p.

NASCIMENTO, G. C.; VILARINHO, M. K. C.; CALDEIRA, D. S. A.; ANTONIACOMI, L. A. M.; OLIVEIRA, A. J.; OLIVEIRA, T. C.; SILVA, G. F.; OLIVIEIRA, A. S.; BARELLI, M. A. A.; LUZ, P. B.; Maturação e qualidade fisiológica das sementes de cumbaru em função do período de coleta dos frutos. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 1, e21610111589, 2021.

NIU, L.; LI, J.; CHEN, S. M.; XU, F. Z.; Determination of oil contents in sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) seeds at different developmental stages by two methods: soxhlet extraction and time-domain nuclear magnetic resonance. *Industrial Crops and Products*, 56, p. 187–190, 2014.

OHLSON, O. C.; KRZYZANOWSKI, F. C.; CAIEIRO, J. T. E.; PANOBIANCO, M. Teste de envelhecimento acelerado em sementes trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 32, n. 4, p. 118-124, 2010.

OLIVEIRA, S. A. G.; LOPES, M. T. G.; CHAVES, F. C. M.; MARTINS, C. C.; ALVES, C. C. Estimation of genetic parameters of *Plukenetia volubilis* L. seed germination. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, p. 49-54. 2013.

PACHECO JUNIOR, F. **Qualidade fisiológica, teor e composição de ácidos graxos de sementes de sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) em função das condições de armazenamento.** Tese de Doutorado (curso de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, UFAM), 99 p., 2019.

PEREIRA, S. A.; MENDONÇA, M. R.; BARBALHO, C. R. S.; MENDES, A. M. S. Seed and seedling morphology of two species of the genus *Jatropha* L. (euphorbiaceae). **Revista. Biol. Neotrop.**, v. 18, n. 1, p. 37-43. 2021.

PESKE, S. T.; BARROS, A. C. S. A.; SCHUCH, L. O. B. Produção de sementes. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MANEGHELLO, G. E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos.** 3.ed. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 2012. p.13-103.

PESSOA, S. M. A.; MANN, S. R.; SANTOS, G. A.; RIBEIRO, F. L. M.; Influência da maturação de frutos na germinação, vigor e teor de óleo de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Scientia Plena.** vol. 8, n. 7, p 105-120, 2012.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente.** Brasília, DF: Agiplan, 1985. 289. 215 p.

REGO, S. S.; FERREIRA, M. M.; NOGUEIRA, A. C.; GROSSI, F.; SOUSA, R. K.; BRONDANI, G. ARAUJO, M. A.; SILVA, A. L. L. Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Velloso) Brenan. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.2, n.4, p.37- 42, 2011.

REID, M. Ethylene in postharvest technology. In: Kader, A. A. (Ed). **Postharvest technology of horticultural crops.** Oakland: University of California, p. 149-162, 2002

RODRIGUES, S. H.; BORÉM, A.; VALENTE, F. S. M.; LOPES, G. T. M.; CRUZ, D. C.; CHAVES, M. C. F.; BEZZERA, S. C. Genetic diversity among accessions of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) by phenotypic characteristics analysis. **Acta Amazonica**, v.48, n.2, p 120-125, 2018.

RODRIGUES, P. H. V.; BORDIGNON, S. R.; AMBROSANO, G. M. B. Desempenho horticultural de plantas propagadas in vitro de sacha inchi. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.6, p.1050-1053, 2014.

SALES, J. D. F.; ALVARENGA, A. A. D.; OLIVEIRA, J. A. D.; NOGUEIRA, F. D., REZENDE, L. C.; SILVA, F. G. Germinação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes concentrações e tempos de embebição em celulase. **Ciência e Agrotecnologia**, 27, 557-564, 2003.

SECCO, R. D. S.; BIGIO, C. N. An overview of recent taxonomic studies on Euphorbiaceae in s. l. in Brazil. **Rodriguesia**, v. 63, n. 1, p. 227-242, 2012.

SILVA, E. S.; KINUPP, V.F.; LOPES, G. T. M.; CHAVES, F. C. M. Caracterização da fase reprodutiva de sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) em Manaus, AM. **Anais da X Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Amazônia Ocidental**. Brasília, DF, 2013.

SILVA, G. Z.; VIEIRA, V. A. C.; BONETI, J. E. B.; MELO, L. F.; MARTINS, C. C. Temperature and substrate on *Plukenetia volubilis* L. seed germination. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB. v.20, n.11, p.1031-1035, 2019.

SILVA, G. Z.; VIEIRA, A. C.; BONETI, J. E. B.; MELO, L. F.; MARTINS, C. C. Temperature and substrate on *Plukenetia volubilis* L. seed germination. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v.20, n.11, 4p, 2016.

SILVA, L. M. M.; AGUIAR, I. B.; MATOS, V. P.; VIÉGAS, R. A.; MENDONÇA, I. F. C. Physiological maturity of *Cnidoscylus quercifolius* Pax & K. Hoffm. Seeds. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 15-20, 2008.

SILVA, P. C. C.; ALVES, E. U.; ARAÚJO, L. R.; CRUZ, J. O.; SILVA, N. C. C. Physiological maturation in seeds of *Lophantera lactescens* Ducke. **Revista Ciência Agronômica**, v.50, n.2, p.312-320, 2019.

SINGANUSONG, R.; JIAMYANGYUEN, S. Effects of Maturity on Chemical Composition and Antioxidant Activity of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Cultivated in Northern Thailand. **Walailak J Sci & Tech**, v.17, n.9, p.998-1009. 2020.

SUNAT. SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE ADUANAS Y DE ADMINISTRACIÓN TRIBUTÁRIA. CUADRO N° 23 - PERÚ: **Exportacion Definitiva Principales 500, Productos no Tradicionales** – 2018/2019. Disponível em <https://www.sunat.gob.pe/>. Acesso em: 03 ago 2021.

TEXEIRA, L. B.; CABRAL, O. M. R.; OLIVEIRA, C. A. D.; ALMEIDA, O. M. P.; SOUZA, M. L. M.; SILVA, A. L. **Boletim Agrometeorológico 1984**. Manaus: EMBRAPA-UEPAE de Manaus, 1986. 25 p.

VALENTE, M. S. F.; CHAVES, F. C. M.; LOPES, M. T. G.; OKA, J. M.; RODRIGUES, R. A. F. Crop yield, genetic parameter estimation and selection of sacha-inchi in central Amazon. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.47, n.2, p.226-236, 2017.

VALENTIN, S. R. T.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Aplicação do teste de vigor em sementes. **Instituto Florestal Série Registros**, São Paulo, v.14, n. 1, p. 75-84, 1995.

ZACCHERIA, F., PSARO, R., RAVASIO, N., BONDIOLI, P., 2012. Standardization of vegetable oils composition to be used as oleochemistry feedstock through a selective

hydrogenation process. **European Journal Lipid Science Technology**. Vol. 114, p 24–30, 2009.