

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



**CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES PELA SACHA-INCHI EM
LATOSSOLO DA AMAZÔNIA CENTRAL**

ROMILDO TORRES DA GAMA

Manaus, Amazonas
Novembro, 2022

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

**CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES PELA SACHA-INCHI EM
LATOSSOLO DA AMAZÔNIA CENTRAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical - UFAM, como parte dos requisitos obrigatórios para obtenção do título de Doutor.

ORIENTADOR: FRANCISCO CÉLIO MAIA CHAVES, DR.
COORIENTADOR: JAISSON MIYOSI OKA, DR.

Manaus - Amazonas
Novembro, 2022

Ficha Catalográfica

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

G184c Gama, Romildo Torres da
Crescimento e acúmulo de nutrientes pela sachá-inchi em
latossolo da Amazônia Central / Romildo Torres da Gama . 2022
73 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Francisco Celio Maia Chaves
Coorientador: Jaisson Miyosi Oka
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal
do Amazonas.

1. Plukenetia volubilis L. 2. Marcha de absorção. 3. Acúmulo de
matéria seca. 4. Crescimento vegetal. I. Chaves, Francisco Celio
Maia. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

Romildo Torres da Gama

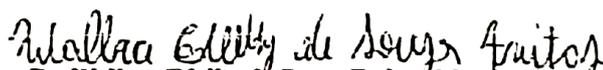
CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES PELA SACHA-INCHI EM
LATOSSOLO DA AMAZÔNIA CENTRAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical - UFAM, como parte dos requisitos obrigatórios para obtenção do título de Doutor.

Aprovada em 05 de dezembro de 2022

BANCA EXAMINADORA


Dr. Francisco Celio Maia Chaves, Presidente
Embrapa Amazônia Ocidental


Dr. Wallace Edelky de Souza Freitas, Membro
Embrapa Amazônia Ocidental


Dra. Cristiani Kano, Membro
Embrapa Territorial


Dr. Marcelo Rosco de Oliveira, Membro
Embrapa Amazônia Ocidental


Profa. Dra. Aline Ellen Duarte de Souza, Membro
Universidade Federal do Amazonas

Especialmente aos meus pais,

Raimundo e Alice (*In memoriam*),

Por me dar apoio em todos os momentos...

Aos irmãos, Sandra, Hosana, Ricardo, Jeruza, Denize e Demas,

Que ensinaram que o amor é tudo!!!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical (PPG-ATR) pela oportunidade.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amazônia Ocidental) pela oportunidade de realização desta pesquisa em suas estruturas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador Dr. Francisco Célio Maia Chaves, pelo apoio, incentivo e orientação no decorrer da condução da pesquisa e, principalmente, pela oportunidade e desafio de trabalhar com a sachá-inchi mesmo em meio a pandemia.

Ao meu coorientador Dr. Jaisson Miyosi Oka, pelo apoio e orientação ao longo do trabalho da tese.

Aos servidores do Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental (LASP) pelo apoio na realização de análises e pelas contribuições no decorrer da pesquisa.

Aos companheiros de trabalho da Embrapa Amazônia Ocidental, senhores Antônio Carlos e Miqueias Souza, os demais que muito contribuíram para com esta pesquisa.

Aos companheiros de Pesquisa Lourenço Dias e Felipe de Jesus.

Aos Bolsistas Masaki Saito, Jessica Castello e Hayanne Gomes pelo apoio na condução e coleta do experimento.

Aos meus professores da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará/Campus Marabá/UNIFESSPA, pela amizade, incentivo e por acreditar no meu potencial.

Ao Profº Drº. José Zilton Lopes pelo apoio e ensinamentos no estágio de docência na Universidade Federal do Amazonas/UFAM que contribuiu para o meu crescimento profissional.

RESUMO

A sachá-inchi é uma oleaginosa amazônica rica em óleo, ômega 3, 6 e 9. Além disso, tem potencialidade para indústria farmacêutica e cosmética. O objetivo deste trabalho foi obter as fenofases vegetativa e reprodutiva e a série liotrófica. O Delineamento Experimental Inteiramente ao acaso. Os Tratamentos foram períodos de coleta: 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280 e 300 dias após a emergência. Foram utilizadas 4 repetições sendo 2 plantas por repetição e a unidade experimental foi uma planta vaso de 13 dm³. Foram avaliadas as **variáveis de crescimento da planta; variáveis morfofisiológicas e acúmulo de nutrientes**. Para verificar a normalidade dos dados foi utilizado teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) homogeneidade das variâncias pelo teste Levene ($p < 0,05$). Os resultados mostraram que o ciclo da **fenofase vegetativa** da sachá-inchi é 77 dias e ciclo da **fenofase reprodutiva** é de 78 dias ou 136 dias após a emergência. Na fenofase vegetativa os elementos de maiores acúmulo foram N>K>Ca>Mg>P>Fe>Zn>Mn e Cu apresentando comportamento crescente na planta e sendo o maior valor acumulado encontrado nas folhas. Na fenofase reprodutiva os elementos mais acumulados seguiram a seguinte ordem K>N>Ca>Mg>P>Fe>Zn>Mn e Cu.

Palavras-chave: *Plukenetia volubilis* L., Marcha de absorção; Acúmulo de matéria seca; Crescimento vegetal.

ABSTRACT

Sacha-inchi is an Amazonian oleaginous plant rich in oil, omega 3, 6 and 9. In addition, it has potential for the pharmaceutical and cosmetic industry. The objective of this work was to investigate the vegetative and reproductive phenophases and the lyotropic series. The Experimental Design Entirely Random. The treatments were 15 evaluation periods: 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280 e 300 days after emergence. Four replicates were used, 2 plants per repetition and the experimental unit was a vase of 13 dm³ per plant. Plant growth variables were evaluated; morphophysiological variables and nutrient accumulation. To verify the normality of the data, the Shapiro-Wilk test was used ($p > 0.05$) and homogeneity of variances by the Levene test ($p < 0.05$). The results showed that the vegetative phenophase cycle of sachainchi is 77 days and reproductive phenophase cycle is 78 days or 136 days after emergence. In the vegetative phenophase, the elements with the highest accumulation were N>K>Ca>Mg>P>Fe>Zn>Mn and Cu showing growing behavior in the plant and the highest accumulated value found in the leaves. In the reproductive phenophase, the most accumulated elements followed the order K>N>Ca>Mg>P>Fe>Zn>Mn and Cu.

Keywords: *Plukenetia volubilis* L., Absorption march; Dry matter accumulation; Plant growth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. A) Hábito de *P. volubilis*: trepadeira; B) Pistilo da flor; C) Flor estaminada de *P. volubilis* com 16 a 30 estames robustos e cônicos de 0,4 a 0,5 mm de comprimento e 4 sépalas; D) Cápsula seca do fruto tetralocado; E) Semente em vista ventral; F) Semente em vista lateral. Adaptado de Gillespie (1993). 6

Figura 2. *Plukenetia volubilis* L. A) Um espécime de sacha-inchi em ambiente de cultivado, B) inflorescência; uma flor estaminada e uma pistilada fertilizada são indicadas com flechas, C) cápsulas secas e frescas, uma dividida em seções e outra com seção transversal, D) cápsulas frescas na planta, E) cápsulas secas na planta, F) sementes com tegumento (topo) e torrado, sem tegumento (inferior). Adaptado de Kodahl (2020). 7

Figura 3. Aspectos do desenvolvimento da biologia floral até fruto seco. Fotos: DIAS, J. L. L. (2021). 9

Figura 1. Morfologia do crescimento inicial de *Plukenetia volubilis* L. (A) Rompimento do tegumento da semente, (B) Emergência da radícula da semente, (C) Alongamento do hipocótilo, (D) Raízes secundárias da plântula, (E) Folhas cotiledonares totalmente expandidas. 39

Figura 2. Ilustração das Fenofases de desenvolvimento de *Plukenetia volubilis* L. em casa de vegetação a partir de Dias após a Emergência (DAE). 40

Figura 3. Diâmetro de caules (A), número de ramos (B), área foliar (C) e área foliar específica (D) de plantas de sacha-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM. 41

Figura 4. Massas secas de folhas (A), caules (B), raízes (C), frutos (D), inflorescências (E) e total (F) de plantas de sacha-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM. 43

Figura 5. Razão de massa radicular (MSR) (A), Razão de massa caulinar (MSC), Razão de massa foliar (MSF) e razão de área foliar (RAF) (D) de plantas de sacha-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM. 46

Figura 1. Acúmulo de N nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sacha-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM. 58

Figura 2. Acúmulo de P nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sacha-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM. 59

Figura 3. Acúmulo de K nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sacha-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM. 60

Figura 4. Acúmulo de Ca nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sacha-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM. 61

Figura 5. Acúmulo de Mg nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.	62
Figura 6. Acúmulo de Cu nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.	63
Figura 7. Acúmulo de Fe nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.	64
Figura 8. Acúmulo de Mn nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.	65
Figura 9. Acúmulo de Zn nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.	66
Figura 10. Macronutrientes (A) e micronutrientes totais (B) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. A análise química do solo foi realizada de acordo com a metodologia do manual de análises de solo da Embrapa (2018).	35
Tabela 2. Concentração de macro e micronutrientes que foi fornecido na adubação básica para sachá-inchi.	36
Tabela 3. Alguns parâmetros de crescimento que foram avaliados, nas plantas de sachá-inchi. 37	
Tabela 1. Concentração de macro e micronutrientes que foi fornecido na adubação básica para sachá-inchi.	54
Tabela 2. Acúmulo médio de nutrientes em inflorescência e em frutos de sachá-inchi em casa de vegetação em Manaus-AM.	67

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	2
2.1.	Objetivo Geral.....	3
2.2.	Objetivos específicos.....	3
3.	Hipóteses.....	3
4.	REVISÃO DE LITERATURA.....	4
4.1.	Origem e distribuição geográfica.....	4
4.2.	Características botânicas.....	4
4.3.	Características agronômicas.....	7
4.3.1.	Clima.....	7
4.3.2.	Germinação.....	8
4.3.3.	Floração.....	9
4.3.4.	Frutos e Sementes.....	10
4.3.5.	Ácidos Graxos.....	11
4.3.6.	Adubação.....	11
4.4.	Importância dos nutrientes no desenvolvimento das plantas.....	12
4.4.1.	Nitrogênio (N).....	13
4.4.2.	Fósforo (P).....	14
4.4.3.	Potássio (K).....	15
4.4.4.	Cálcio (Ca).....	15
4.4.5.	Magnésio (Mg).....	16
4.4.6.	Enxofre (S).....	16
4.4.7.	Ferro (Fe).....	17
4.4.8.	Zinco (Zn).....	17
4.4.9.	Boro (B).....	18
4.4.10.	Cobre (Cu).....	18
4.4.11.	Manganês (Mn).....	19
4.5.	Marcha de absorção de nutrientes em plantas.....	19
5.	REFERÊNCIAS.....	21
6.	CAPÍTULO I: Análise do crescimento da Sacha-inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) na Amazônia brasileira.....	32
6.1.	Introdução.....	33
6.2.	Material e métodos.....	34

6.3.	Resultados e discussão.....	38
6.3.1.	Germinação de sementes e fenofases de crescimento.....	38
6.3.2.	Parâmetros fenológicos.....	40
6.3.3.	Massa seca da planta.....	42
6.3.4.	Parâmetros morfofisiológicos.....	44
6.4.	Conclusões.....	46
6.5.	Referências.....	47
7.	CAPÍTULO II: Acúmulo de nutrientes pela cultura da Sacha-inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) em um Latossolo amarelo distrófico.....	51
7.1.	Introdução.....	51
7.2.	Material e métodos.....	53
7.3.	Resultados e discussão.....	56
7.3.1.	Acúmulo de nutrientes.....	56
7.4.	Conclusões.....	68
7.5.	Referências.....	69
8.	Conclusões gerais.....	73

1. INTRODUÇÃO

A Sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) é uma oleaginosa da Bacia Amazônica com grande potencial econômico. Desde a civilização pré-colombiana, os Incas cultivavam essa planta. As representações em gravuras de vinhas de sachá-inchi e frutas em túmulos de 3.000 a 5.000 anos encontrados ao longo da costa peruana são indicativos da relação dos povos pré-colombianos com essa planta (BERNAL e CORREA 1992; BRACK, 1999).

A sachá-inchi é uma oleaginosa cuja sementes são ricas em ômega 3, 6 e 9 e seu principal produto é o azeite. Esse fato faz com que o azeite da sachá-inchi seja de qualidade superior em relação aos seus concorrentes.

As sementes de *P. volubilis* possuem propriedades úteis na suplementação alimentar, terapêutica e na indústria de cosmético (WANG et al., 2018). As quantidades de ácidos graxos polinsaturados essenciais contidos nas sementes estão entre 35,2-50,8% para ácido alfa-linolênico ($C_{18}H_{30}O_2$) e 33,4-41,0% para ácido linoleico ($C_{18}H_{32}O_2$). Por serem ricos nesses compostos, o consumo de sachá-inchi ou derivados dela, são relevantes para a saúde, sobretudo na prevenção de doenças cardiovasculares.

Apesar da notável composição lipídica e proteica, com capacidade de solucionar problemas da fome e ser mais uma opção ao sistema de produção de alimentos ricos em ômega 3, 6 e 9 (KODAHN, 2020), pouco foram os estudos direcionados para o cultivo em sistema econômico, sobretudo com fertilização mineral.

O uso da fertilização mineral tem aumentado em até 40% a produção mundial de alimentos (ROY, 2017). A fertilização mineral proporciona um ambiente para aumentar a biomassa dos vegetais e conseqüentemente produção de alimentos nas espécies agrícolas (WHITE et al., 2014), contribuindo com a manutenção de matéria orgânica, aumentando a capacidade de campo e evitando a perturbação no solo como erosão. Alternativamente, esses

benefícios contribuem para melhorar as condições da física do solo (porosidade, estrutura, densidade, permeabilidade, fluxo de água, ar e calor) e biológica do solo (biomassa microbiana, respiração do solo, dentre outros) (OSMAN, 2013).

A correção da acidez do solo e posterior aplicação de nutrientes são técnicas largamente aplicadas em sistema de cultivo econômico. Na região amazônica os solos são de topografia adequada, clima favorável para crescimento das plantas e disponibilidade de umidade suficiente para boa parte do ano. Entretanto, existem limitações pela baixa fertilidade natural, altos teores de alumínio tóxicos e elevada fixação de fósforo (P) para as principais classes de solos, ou seja, Latossolo e Argissolo (FAGERIA e BALIHAR, 2008).

A correção adequada e a quantificação da fertilização mineral são fatores condicionantes para promover o crescimento (raízes, caule, folhas e frutos), produção e a qualidade dos alimentos (FAGERIA e MOREIRA, 2011). Adicionalmente em programa de adubação, níveis de adubação, são importantes etapas para a condução de um sistema de produção para qualquer espécie com potencial agrícola.

Para a sachá-inchi, uma espécie de potencial agrícola, no entanto, ainda não existe estudos conduzidos com fertilização mineral em condições amazônicas brasileiras para investigação do desenvolvimento e crescimento nas diferentes fenofases desta espécie. O presente estudo visa desenvolver uma fertilização mineral e investigar a curva de acúmulo de nutriente para a sachá-inchi nas diferentes fenofases nas condições do município de Manaus - AM.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o desenvolvimento, teor e acúmulo de nutrientes em sachá-inchi (*P. volubilis* L.) em Manaus, AM.

2.2. Objetivos específicos

1. Definir as fenofases (vegetativa e reprodutiva) no desenvolvimento de sachá-inchi;
2. Avaliar o acúmulo de nutrientes na biomassa das partes de sachá-inchi, em função das fenofases.

3. Hipóteses

H0 – Não há diferença na quantidade de nutrientes absorvidos nas diferentes fases de desenvolvimento da planta

H1 – Há pelo menos um nutriente absorvido em maior quantidade pela planta.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Origem e distribuição geográfica

A sacha-inchi (*P. volubilis* L.) é uma espécie da família Euphorbiaceae. Regionalmente recebe vários nomes como noz de inca, amendoim da montanha, entre outros. Esse vegetal pode ser encontrado desde os Andes peruanos, Bolívia, Brasil, Colômbia, Pequenas Antilhas, Suriname e Venezuela (GILLESPIE, 1993; DUKE e VASQUEZ, 1994; LOAIZA, 2013; KODAH, 2020). No Brasil já existe cultivo no estado do Amazonas, mais precisamente nos municípios de Benjamin Constant, Tefé e Manaus.

Dado seu potencial econômico, sobretudo devido suas propriedades farmacológicas, alimentares e energéticas, a sacha-inchi têm sido cultivadas em diversas partes do mundo, notadamente nos países do continente Asiático (Filipinas, Japão, Malásia e, sobretudo na China) (CHANDRASEKARAN e LIU, 2015; GUTIÉRREZ et al., 2017).

Do ponto de vista ecológico, é uma espécie exigente em luz. Portanto, na natureza são encontradas em região abertas das florestas, notadamente as margens de florestas ou áreas perturbadas (GILLESPIE, 1993; LOAIZA, 2013).

4.2. Características botânicas

A sacha-inchi é um vegetal de crescimento rápido, de plantas monoicas, do tipo semi-perene, lenhosa, hábito trepador e crescimento indeterminado, atingindo até 10 m de comprimento. As folhas são do tipo alternadas, espiraladas, membranosas, ovais e penínervas. As folhas adultas podem medir entre 6-10 cm de largura e 9-16 cm de comprimento. Adicionalmente o pecíolo apresenta comprimento que varia entre 3 e 7 cm (MANCO, 2013; LOAIZA, 2013; KODAH, 2020). As nervuras nascem na base, com nervura central digitada para o vértice; lâmina adaxial verde escuro, abaxial verde claro, apresentam ápice foliar

acuminado, com base plana ou semi-arredondada. Os pecíolos possuem arestas recobertas por indumentos brancos (GILLESPIE, 1993; GILLESPIE, 2007 e RAMÍREZ et al., 2000).

A espécie possui inflorescência disposta em racemo com 2 a 8 cm de comprimento, localizada na axila foliar, com brotos distribuídos em 4 a 15 cachos alternos e cruzados, com dois tipos de flores. As flores masculinas são pequenas, esbranquiçadas, dispostas em racimos, pediceladas, 4 a 5 pétalas, dialipétalas, actnomorfas, com 17 a 19 estames, polistêmones. As flores femininas, em geral, estão localizadas na base das inflorescências, mas podem ocorrer no pecíolo foliar e são na maioria dos casos solitárias e podem acontecer em duas ou mais flores, possuem ovário súpero com 4 a 7 lóculos (CÉSPEDES, 2006; FOLLEGATTI, 2007).

Os frutos de *P. volubilis* possuem cápsulas de 3 a 5 cm de diâmetro, tem cor verde quando imaturo e castanho-escuro quando maduros. Normalmente, tem quatro lóculos, mas pode ocorrer 4 a 7 cápsulas com sementes ovais, ligeiramente levantadas no centro e achatadas nas bordas; sua cor é marrom escura apresentando nervura oval, e possui de 1,5 a 2 cm de diâmetro. As sementes têm formato lenticular de 1,5 a 2 cm e de 0,7 a 0,8 cm de espessura (**Figura 1**). O peso de cada semente pode variar de 0,8 a 1,4g com percentual de 33 a 35% de tegumento e 65 a 67% de endosperma (CÉSPEDES, 2006; FOLLEGATTI, 2007; CAI, 2011).

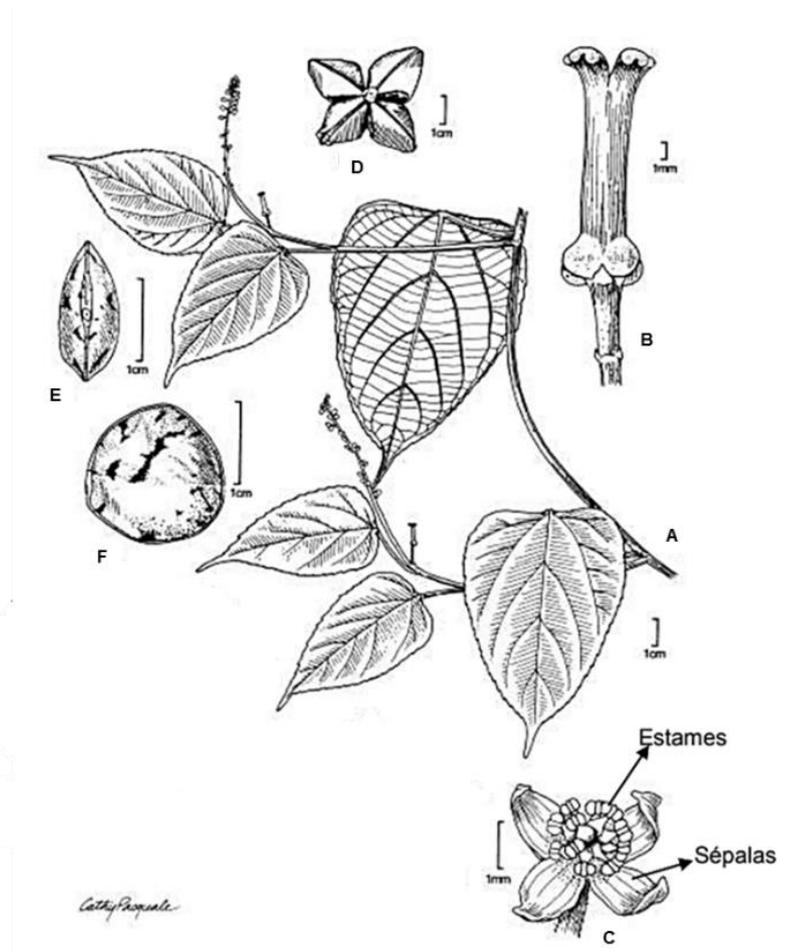


Figura 1. A) Hábito de *P. volubilis*: trepadeira; B) Pistilo da flor; C) Flor estaminada de *P. volubilis* com 16 a 30 estames robustos e cônicos de 0,4 a 0,5 mm de comprimento e 4 sépalas; D) Cápsula seca do fruto tetralocado; E) Semente em vista ventral; F) Semente em vista lateral. Adaptado de Gillespie (1993).

A Sacha-inchi ainda é uma espécie bastante desconhecida. Pelo apresenta fato, a **figura 2** apresenta de um espécime e suas estruturas.

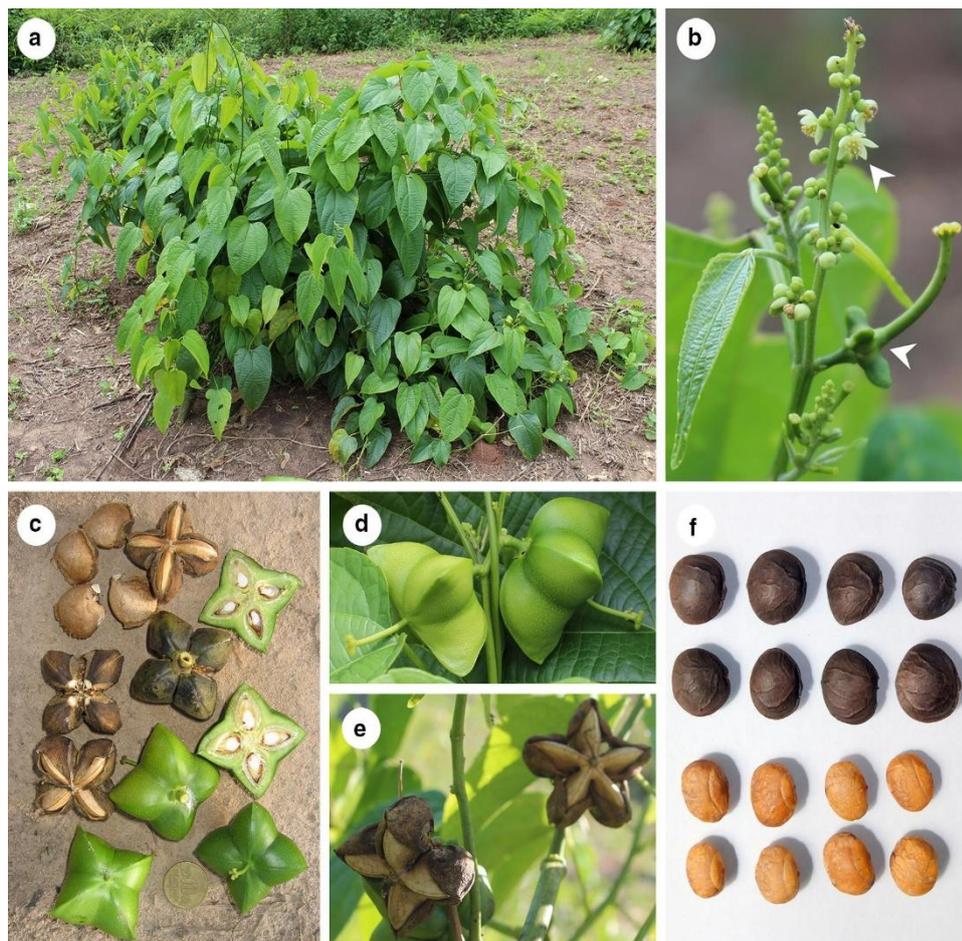


Figura 2. *Plukenetia volubilis* L. A) Um espécime de sachá-inchi em ambiente de cultivado, B) inflorescência; uma flor estaminada e uma pistilada fertilizada são indicadas com flechas, C) cápsulas secas e frescas, uma dividida em seções e outra com seção transversal, D) cápsulas frescas na planta, E) cápsulas secas na planta, F) sementes com tegumento (topo) e torrado, sem tegumento (inferior). Adaptado de Kodahl (2020).

4.3. Características agronômicas

4.3.1. Clima

Do ponto de vista climático, a sachá-inchi se estabelece nos ambientes nos quais há uma faixa de temperatura de 10 a 37°C (ARÉVALO, 1995), sugerindo uma ampla elasticidade climática. Adicionalmente as altitudes entre 200 e 1.500 m são consideradas as ideais para seu desenvolvimento (CAI, 2011). Apesar disso, em outras regiões de menor altitude, essa espécie tem sido cultivada sem maiores problemas. Fatores relacionados à estação climática e elevação

(altitude), podem afetar o desempenho fotossintético, ganho de biomassa, rendimento e principalmente a qualidade das sementes (CAI et al., 2012).

4.3.2. Germinação

O entendimento da dinâmica da germinação é um aspecto desejável para o desenvolvimento das práticas de cultivo, sobretudo em larga escala. As sementes de sachá-inchi são do tipo ortodoxas (CARDOSO et al., 2015) apresentando teor baixo de umidade, <10% (GUTIERREZ et al., 2011; CARDOSO et al., 2015). A germinação dessa espécie é do tipo fanerocotiledonar, epigeal e relativamente lenta, com surgimento de hipocótilo após cerca de 18,5 dias. A temperatura ideal para a germinação é de 30°C (25–35° C) (JIAO et al., 2011; BONETI et al., 2014; SILVA et al., 2016).

Por outro lado, existe pouco conhecimento sobre a viabilidade de germinação após armazenamento, dessecação e congelamento prolongado (KODAHN, 2020). As melhores condições de armazenamento visando a qualidade da semente foram câmara fria, independente das embalagens (saco de rafia, embalagens a vácuo e de vidro), com viabilidade por mais de um ano (PACHECO JUNIOR, 2018) para essa espécie em Manaus, AM. Na região de Manaus no qual há duas estações bem definidas, descobriu-se que existe uma pequena influencia na emergência das plântulas. De acordo com alguns estudos, ficou demonstrado que o período de emergência de plântula varia entre 19 e 41 dias e 25 e 42 dias, respectivamente para o período de inverno e verão amazônicos (OLIVEIRA et al., 2013).

4.3.3. Floração

A sachá-inchi é uma espécie preferencialmente alógama, ou seja, polinização cruzada (VALENTE et al., 2017). Adicionalmente há um predomínio de formação de flores masculinas (60) em detrimento de flores femininas (1-2) por inflorescência. A antese geralmente ocorre de 3 a 5 meses após o plantio, seguida de frutificação em aproximadamente 8 a 9 meses (ARÉVALO 1995; CACHIQUE, 2006; MANCO, 2013). Na **figura 3** observamos a evolução da estrutura floral até o fruto maduro.



Figura 3. Aspectos do desenvolvimento da biologia floral até fruto seco. Fotos: DIAS, J. L. L. (2021).

Esse fato é fundamentalmente limitador para o aumento da produtividade em condições de cultivo econômico (FU et al., 2014). No entanto, o uso de reguladores de crescimento do tipo citocinina têm demonstrado que podem induzir a produção de flores femininas e

contribuindo para contornar esse problema, ou seja, tornando as flores masculinas em femininas e aumentando a formação de frutos em até 20% (FU et al., 2014; CHANDRASEKARAN et al., 2015).

4.3.4. Frutos e Sementes

O fruto é uma cápsula tetra-lobulares na forma de estrela com tamanho em torno de 3-5 cm em diâmetro. Os frutos em estágio de crescimento apresentam tons variados de verde ao marrom quando maduro. Adicionalmente cada cápsula contém 1 semente do formato tipo oval ou reta e com massa que pode variar entre 0,8 a 1,4g. O tamanho das sementes varia entre 1,5 a 2,0 cm (FU et al., 2014, SATHE et al., 2002).

Por outro lado, suas sementes possuem alta concentração de ácido oleico, alfa linolênico ou ômega 3 (45,2%), vitaminas E (tocoferóis e tocotrienóis) (SATHE et al., 2002) em comparação com os valores de outros tipos de sementes oleaginosas. O fruto desta espécie possui deiscência, quando está maduro, cuja coloração é marrom, sendo, portanto, uma característica importante pois o avanço no período da colheita dos frutos pode representar perdas ainda no campo, além de que sementes ao serem lançadas no local de cultivo, comprometem a qualidade destas, pois além de ficar expostas às condições ambientais, perdendo qualidade fisiológica, ainda podem ser contaminadas com agentes biológicos presentes no solo. E ainda, ressalta-se que por serem classificadas como oleaginosas, alterações nos ácidos graxos (PACHECO JUNIOR, 2019), podem contribuir com azeites de baixo valor nutricional e comercial.

4.3.5. Ácidos Graxos

Os óleos podem ser classificados como secantes, semi-secantes e não secantes, dependendo da quantidade de insaturação em ácidos graxos (RAQUEZ et al., 2010; ZHANG et al., 2017). Os óleos secantes apresentam o maior grau de insaturação, o que favorece a reticulação radical das cadeias de ácidos graxos com o oxigênio atmosférico, formando um produto sólido. Os óleos mais saudáveis são aqueles ricos em ácidos graxos monoinsaturados, como o azeite de oliva, e aqueles ricos em ácidos graxos ômega-3 de cadeia longa, como os óleos de peixe (DAMUDE et al., 2008; HARDIN-FANNING et al., 2008).

O óleo de *P. volubilis* possui grande valor econômico nas indústrias cosmética, farmacêutica e de alimentos (GUILLÉN et al., 2003; KRIVANKOVA et al., 2007; MOSER et al., 2007; CAI, 2011). Paralelamente o óleo de *P. volubilis* é um recurso promissor para a produção de biocombustíveis (ZULETA et al., 2012). O óleo de sachá inchi é proposto como outra fonte importante de ácidos graxos. O óleo de *P. volubilis* pertence ao grupo dos óleos secantes, pois contém aproximadamente 36% de ácido linoleico (ω -6) e 47% de ácido linolênico (ω -3), teor de ácidos graxos polinsaturados semelhantes (~ 85%) (GUTIÉRREZ et al., 2011).

A qualidade e produção do óleo da sachá-inchi podem ser afetadas por fatores climáticos e pela altitude. Já foi demonstrado que a altitude e a temperatura impactam positivamente o conteúdo de ácidos graxos insaturados (oleico, linoleico e linolênico) nas sementes (CAI et al., 2011; WANG e LIU, 2014). Adicionalmente, as condições não tropicais já não são tão limitantes para o desenvolvimento da sachá-inchi (BUENO-BORGES et al., 2018).

4.3.6. Adubação

A adubação é uma técnica de manejo que visa corrigir a carência dos nutrientes no solo e proporcionar um ambiente no qual as plantas podem expressar todo o seu potencial produtivo.

As culturas principais com fins de produção de alimentos, fibras e energia possuem um programa de adubação bem estabelecido (RAIJ, 2011). Por outro lado, as espécies marginalizadas, não possuem programas de adubação. Com a sachá-inchi também não é diferente.

A sachá-inchi é uma espécie que exige muito cuidado com adubação, sobretudo a nitrogenada, uma vez, que essa espécie geralmente forma grande volume de massa verde. Um estudo dirigido com e sem adubação nitrogenada, indicou que essa espécie aumentou a produção de sementes ($1.340 - 2.486 \text{ kg ha}^{-1}$) e para óleo ($501 - 899 \text{ kg ha}^{-1}$) quando se comparou os tratamentos sem e com adubação, respectivamente (YANG et al., 2014).

O Boletim Técnico do Peru sugere uma fertilização generalizada para sachá-inchi. Na formação de mudas, ou seja, na condição de viveiros, é indicada a formulação NPK 32-10-10 correspondente a 3 kg ha^{-1} e que seja desejável a aplicação dividida em 2 ou 3 parcelas. Nas condições de campo, a adubação seria de acordo com a análise de rotina do solo. Adicionalmente, admite-se uma adubação foliar, igualmente generalizada. Isso incluiria adubação nitrogenada de 1 a $1,5 \text{ L ha}^{-1}$. Para Potássio e fósforo, seria algo em torno de 1 a 2 L ha^{-1} , no período de floração e frutificação (MANCO, 2013).

4.4. Importância dos nutrientes no desenvolvimento das plantas

Com exceção do carbono, oxigênio e hidrogênio, todos os nutrientes que os vegetais necessitam provêm da desintegração das rochas e matéria orgânica. A maioria dos elementos minerais ocorre nas formas inorgânicas e orgânicas de solubilidade e assimilação variáveis. Os nutrientes contidos na solução do solo são absorvidos pelos vegetais nas formas íons ou cátions (ALLISON, 1973).

Ao longo da história da pesquisa envolvendo nutrição mineral e adubação, descobriu-se que os elementos contidos nos tecidos das plantas nem sempre são um indicativo que estes

são essenciais. Com frequência, os elementos estão presentes em concentrações maiores do que as necessidades mínimas dos vegetais (MILLER, 2014). Por exemplo, alguns tecidos vegetais, como o mesofilo, contêm quase tanto ferro ou manganês como enxofre ou magnésio. As plantas também podem absorver elementos indesejáveis os quais podem prejudicar o desenvolvimento dos vegetais em diferentes estádios de crescimento e conseqüentemente ter reflexos na fase reprodutiva, ou seja, diminuição da produção de frutos e sementes (BROADLEY e WHITE, 2012).

Em condições de campo, as plantas podem absorver elementos que são considerados essenciais, benéficos e os elementos tóxicos (EPSTEIN e BLOOM, 2006; MARSCHNER, 2012; KAUR et al., 2016). Os elementos tóxicos podem ter sua atividade amenizada através da correção do solo, propiciando um ambiente favorável a absorção dos nutrientes da solução do solo. Nos solos tropicais onde os fatores edafoclimáticos originaram solos de baixa fertilidade, a adubação de correção é fundamental para o estabelecimento de cultivo econômico de qualquer vegetal. Adicionalmente, entender as funções de cada nutriente e sua interação com os demais é fundamental para suprir a necessidade de cada vegetal e para o sucesso no manejo dos fertilizantes.

4.4.1. Nitrogênio (N)

O nitrogênio (N) é um macronutriente e quando presente na planta em níveis adequado promove elevado crescimento. Na planta o N é um constituinte de proteínas, ácidos nucléicos, clorofila, coenzimas, fitormônios e metabólitos secundários (TAIZ et al., 2017). Os vegetais quando crescem com teores adequados de nitrogênio geralmente apresentam concentrações na parte aérea entre 1-5% do peso da matéria seca.

A deficiência de N pode prejudicar o crescimento dos vegetais e o ganho de biomassa. Da mesma forma, o excesso de N faz a planta investir muito em crescimento vegetal, ou seja,

grande produção de biomassa em detrimento de outras partes de interesse econômico como frutos e sementes. Os indicativos de deficiência de N são o amarelecimento ou formação de clorose gradual nas folhas mais velhas. Por ser um elemento de alta mobilidade nos vegetais, os reflexos da deficiência manifestam-se sempre nas folhas mais velhas (HAWKESFORD et al., 2012).

4.4.2. Fósforo (P)

O fósforo (P) na planta exerce várias funções. É um elemento de dinâmica complexa na planta, pois, P está ligado à fotossíntese, a produção de biomassa, armazenamento e transferência de adenosina trifosfato (ATP). Sua deficiência na planta pode ser identificada através de plantas atrofiadas, pela cor verde escura sem brilho ou verde azulada nas folhas. Em alguns casos, o acúmulo de antocianina promove a formação de cores roxa-avermelhada nas folhas (HENRY et al., 2012). Além disso, na condição de deficiência de P, a planta apresenta menor crescimento e conseqüentemente menor produção de flores e frutos em quantidade e tamanho inferior (HAWKESFORD et al., 2012; ZIMDAHL, 2015).

Nas regiões tropicais, pela natureza dos solos existentes, este elemento torna-se facilmente indisponível para os vegetais. As formas de fósforo disponível para os vegetais são as formas orgânicas e inorgânicas. O P é absorvido pelo sistema radicular preferencialmente nas formas iônicas (H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-}). Assim como o nitrogênio, é um elemento que confere grande crescimento as plantas. Adicionalmente, o manejo incorreto do P, como a ausência de calagem do solo pode não surtir efeitos na produção vegetal. O P tem efeito sinérgico com o N, pois, o mesmo auxilia os vegetais na absorção de N.

4.4.3. Potássio (K)

O potássio (K) na planta não tem função estrutural como os demais macronutrientes. O K é absorvido pelo sistema radicular na forma iônica (K^+). A principal função do K é a ativação enzimática, regulação estomática e neutralização de cargas. Outras funções do K no interior da planta são síntese de proteínas e manutenção de sua estabilidade, permeabilidade de membrana plasmática e controle de pH. Os sintomas de deficiência de K visíveis nas plantas são manifestados na forma de clorose e depois necrose nas margens e extremidade (pontas) das folhas mais velhas (HAWKESFORD et al., 2012).

4.4.4. Cálcio (Ca)

O cálcio (Ca) na planta tem funções estruturantes nas paredes celulares, regulatórias nas membranas plasmáticas e sinalização sistêmica, respectivamente (WHITE e BROADLEY, 2003; CHOI et al., 2016). Os vegetais quando crescem com teores adequados de Ca geralmente apresentam concentrações na parte aérea entre 0,1 e 5% do peso da matéria seca. A deficiência de Ca pode implicar no crescimento dos vegetais e produção de alimentos.

Os sintomas de deficiência de Ca vão desde queimadura até a rachadura de folhas e frutos, respectivamente. A deficiência do Ca é rara, mas, em solos tropicais, os teores encontrados para Ca são considerados baixos e são críticos para o desenvolvimento dos vegetais. Este elemento é facilmente perdido por lixiviação, erosão e exportação das culturas (HAWKESFORD et al., 2012). A deficiência do Ca prejudica sobremaneira a absorção de outros macronutrientes (N, P, K), uma vez que esses elementos requerem uma condição de pH $>5,5$ para serem absorvidos satisfatoriamente pelas plantas.

4.4.5. Magnésio (Mg)

O Magnésio (Mg) na planta exerce várias funções. A função mais importante do Mg é ativação enzimática. Os teores considerados ideais nos vegetais são em torno de 1,5 – 3,5 g/kg. As principais funções do Mg são como o átomo central da molécula de clorofila, ou seja, é parte estrutura do anel da molécula de clorofila. A deficiência de Mg pode implicar em várias funções da maquinaria fotossintética da planta. A clorofila depende de 15 a 20 % do total de magnésio presente na planta. Os sintomas de deficiência de Mg vão de redução do crescimento, inibição da floração e em alguns casos necrose foliar. Nas células vegetais é envolvido na regulação do pH e no balanço cátion-ânion (HAWKESFORD et al., 2012). Adicionalmente, os teores de Mg nos alimentos têm sido muito baixos em função da não atenção da fertilização do solo, produzindo alimentos pobres em Mg e micronutrientes (GUO et al., 2016; KIHARA et al., 2017; KIHARA et al., 2020).

4.4.6. Enxofre (S)

Nas plantas o enxofre (S) exerce algumas funções essenciais. A nutrição com enxofre é particularmente importante, pois as plantas são nossa fonte primária do aminoácido essencial metionina, além de outros aminoácidos (cisteína, cistina). Além disso, o S é constituinte de ácido lipoico, coenzima A (coA), tiamina pirofosfato, glutatona, biotina, 5'-adenilil-sulfato e 3'-fosfoadenosina (KOPRIVA et al., 2019; JOBE et al., 2020). O S é absorvido pelo sistema radicular predominantemente na forma de sulfato (SO_4^{2-}). Diferentemente do N no qual a deficiência manifesta-se pelo amarelecimento das folhas mais velhas, no caso do S os sintomas são os mesmos, no entanto, ocorre primeiro nas folhas mais novas.

4.4.7. Ferro (Fe)

O Ferro (Fe) nos vegetais exerce várias funções na respiração. Por exemplo, a deficiência do Fe compromete a atividade respiratória (Consumo de O₂, liberação de CO₂) e transporte de elétrons. O Fe é considerado o metal chave para as transformações energéticas necessárias para síntese e muitos outros processos vitais das células. O Fe é absorvido na solução do solo nas formas de Fe³⁺ e Fe²⁺. A deficiência de Fe nos vegetais pode ser manifestada pela clorose nas folhas. A assimilação de Fe pode ser afetada por outros cátions macronutrientes (K, Ca e Mg). Por outro lado, os micronutrientes Cu, Zn e Mn, podem levar a deficiência por meio da inibição competitiva (HAWKESFORD et al., 2012; MALAVOLTA et al., 1997).

É importante registrar que os micronutrientes por serem elementos funcionais (ativadores de enzimas) e não constituintes de tecidos, sua deficiência normalmente pode ser confirmada através de análises de tecidos vegetal.

4.4.8. Zinco (Zn)

O zinco (Zn) nas plantas exerce várias funções que compreendem desde a participação em processos de respiração, controle hormonal, síntese de compostos como ácido indolilacético (AIA), ácido ribonucleico (RNA) e redução de nitrato (BROADLEY et al., 2007). O Zn é absorvido pelo sistema radicular na solução do solo na forma de Zn²⁺. O ambiente rizosférico ideal para absorção de Zn é de pH <5,5 (BROADLEY et al., 2012). Os sintomas de deficiência de Zn podem ser caracterizados por encurtamento dos internódios. Por outro lado, o excesso de Zn afeta o tamanho da área foliar, promovendo sua diminuição e conseqüentemente a formação de clorose. Adicionalmente em alguns casos, pode até surgir pigmentos pardo-avermelhados (MALAVOLTA et al., 1997).

4.4.9. Boro (B)

O boro (B) nas plantas é essencial para o crescimento e participa de muitos processos tais como absorção iônica, transporte de carboidratos, síntese de lignina, ácidos nucleicos e proteínas. O B está envolvido na integridade estrutural e funcional da parede celular e membranas plasmáticas, fluxos de íons (H^+ , K^+ , PO_4^{3-} , Rb^+ , Ca^{2+}) através das membranas (SHIREEN et al., 2018). A forma de absorção de B pelas plantas é a forma ácido bórico ($H_3BO_3^-$). A nutrição adequada com B nas plantas cultivadas pode ser de grande importância, pois afeta a produção de frutas, nozes e grãos, bem como a qualidade das safras colhidas.

O B pode auxiliar o crescimento do sistema radicular em condições de solos com altos teores de alumínio. A deficiência de B podem impactar os processos e os constituintes dos quais ele participa. A deficiência de B pode promover inibição do crescimento, morte da gema apical, necrose e menor produção de sementes (BLEVINS et al., 1998).

4.4.10. Cobre (Cu)

O cobre (Cu) nas plantas é essencial porque é constituinte estrutural de inúmeras proteínas regulatórias. Além disso, participa da respiração mitocondrial (GARCIA et al., 2014), metabolismo da parede celular, transporte fotossintético de elétrons (plastocianina), respostas ao estresse oxidativo (ganha e perde de elétrons), síntese de proteínas, sinalização hormonal e detecção de etileno (NAZIR et al., 2019; ZHANG e LI, 2019; ZHANG et al., 2019).

O Cu é absorvido pelas plantas na forma iônica (Cu^{2+}). Nos vegetais o excesso de Cu promove desajustes nos processos fisiológicos e químicos, alterando o crescimento das plantas, diminuindo a capacidade de absorção de água e nutrientes (OUZOUNIDOU et al., 1993; SINGARE et al., 2011; MAZEN, 2004) e podem danificar macromoléculas, inclusive formando

acúmulo de espécies reativas de oxigênio (CONTRERAS et al., 2009; DEMIREVSKA-KEPOVA et al., 2004).

Os sintomas de deficiência de Cu são observados nas folhas novas, que permanecem alongadas, deformadas e com as margens cloróticas voltadas para baixo.

4.4.11. Manganês (Mn)

O Manganês (Mn) é fundamental para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, sendo utilizado no metabolismo e proteção biológica. Por exemplo, o Mn está envolvido na biossíntese da polimerização da lignina, muito importante no combate à doenças fúngicas (SCHMIDT et al., 2016).

Os óxidos e sulfetos de manganês são as formas mais comuns de Mn nos solos. O Mn é absorvido da solução do solo na forma iônica (Mn^{2+}) pelas plantas. A disponibilidade do Mn pode ser bastante variável, no entanto, a exposição excessiva ao Mn pode provocar efeitos tóxicos nas plantas. Por outro lado, a deficiência de Mn afeta fortemente a fotossíntese, refletindo em distúrbios fotoquímicos, sendo visíveis apenas quando o crescimento da planta está gravemente afetado. Os sintomas da deficiência do Mn são a formação de clorose difusa e/ou internerval nas folhas (HANNAM et al., 1988; LIU et al., 2014; SCHMIDT et al., 2016; LIU et al., 2019).

4.5. Marcha de absorção de nutrientes em plantas

O estudo da marcha de absorção dos macronutrientes e micronutrientes tem como objetivo investigar o período no qual a plantas absorvem mais nutrientes. Essa informação é fundamental para estabelecimento de plano de adubação e produção de safra. Nas grandes

culturas os valores de referências de absorção e exportação dos nutrientes são bem conhecidos (MALAVOLTA et al., 1997).

Nas culturas marginais ou ainda pouco estudadas, essa caracterização ainda é ausente na literatura científica. Com cerca de 6 milhões de km² a Amazônia comporta um pouco mais de 16.000 espécies vegetais (TER STEEGE et al., 2013), boa parte delas ainda é pouco conhecida sobretudo em termos agronômicos. A sacha-inchi é uma delas.

Para a espécie sacha-inchi a caracterização de marcha de absorção ainda não foi realizada. O conhecimento do aproveitamento dos nutrientes nas diferentes fenofases e a produção de frutos é um passo importante para maximizar o uso desta espécie.

5. REFERÊNCIAS

ALLISON, F. E. Formation and characteristics of mineral soils. In: **Developments in Soil Science**. P. 27-40. 1973.

ARÉVALO G.G. El cultivo del sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L) en la Amazonía. Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología (PRONARGEB), Tarapoto. 1995.

BERNAL, H.Y.; CORREA, J.E.Q. Especies vegetales promisorias de los países del Convenio Andrés Bello, vol 8. Secretaría Ejecutiva del Convenio Andrés Bello, Bogotá. p.28. 1992.

BONETI, J. E. B.; BARROS, R. T. ; MELO, L. F. ; LOPES, M. T. G. ; MARTINS, C. C.. Temperature effects on the germination of *Plukenetia volubilis* L. seeds.. In: ASA, CSSA, and SSSA Annual Meeting, 2014, Long Beach, CA.. Seed Physiology, Production and Technology: II, p.1.2014.

BUENO-BORGES, L. B.; SARTIM, M. A.; GIL, C. C.; SAMPAIO, S. V.; RODRIGUES, P. H. V.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Sacha-inchi seeds from sub-tropical cultivation: effects of roasting on antinutrients, antioxidant capacity and oxidative stability. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 10, p. 4159-4166, 2018.

BRACK, E. A. Diccionario enciclopédico de plantas útiles del Perú. PNUD, Cuzco. P.400, 1999.

BLEVINS, D. G.; LUKASZEWSKI, K. M. Boron in plant structure and function. **Annual Review of Plant Biology**, 49(1), 481-500. 1998.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. **iron**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants (p. 191-200). Academic Press. 2012.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. **Manganese**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants Academic Press. (p. 200-212). 2012

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. **Copper**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. (p. 206-212). 2012

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. **Zinc**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. (p. 212-223). 2012.

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytologist**, 173(4), 677-702. 2007.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. **Molybdenum**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. (p. 216-233). 2012.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I., RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. **Boron**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. (p. 223-243). 2012.

CARDOSO, A. A.; OBOLARI, A. D. M. M.; SILVA, C. J. D.; RODRIGUES, H. S. Environmental factors on seed germination, seedling survival and initial growth of sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Journal of Seed Science*, v. 37, n. 2, p. 111-116, 2015.

CAI, Z. Q.; JIAO, D. Y.; TANG, S. X.; DAO, X. S.; LEI, Y. B.; CAI, C. T. Leaf photosynthesis, growth, and seed chemicals of Sacha-inchi plants cultivated along an altitude gradient. **Crop Science**, v. 52, n. 4, p. 1859-1867, 2012.

CAI, Z. Q.; JIAO, D. Y.; LEI, Y. B.; XIANG, M. H.; LI, W. G. Growth and yield responses of *Plukenetia volubilis* L. plants to planting density. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 88, n. 4, p. 421-426, 2013.

CAI, Z. Q. Shade delayed flowering and decreased photosynthesis, growth and yield of Sacha-inchi (*Plukenetia volubilis*) plants. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 1, p. 1235-1237, 2011.

CHANDRASEKARAN, U. e 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. 8, p. 1764-1766, 2015.

CARDOSO, A. A.; OBOLARI, A. D. M. M.; SILVA, C. J. D.; RODRIGUES, H. S. Environmental factors on seed germination, seedling survival and initial growth of sachá-inchi (*Plukenetia volubilis* L.). **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 2, p. 111-116, 2015.

CACHIQUE, D. H. Biología floral y reproductiva de *Plukenetia volubilis* L. (Euphorbiaceae) (Sacha Inchi). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto.p. 52. 2006.

CÉSPEDES, E.I.M. Cultivo de sachá inchi. Tarapoto, San Martín, Peru: INIIA, Subdirección de Recursos Genéticos Y Biotecnología, 2006. 11p

CONTRERAS, L.; MELLA, D.; MOENNE, A.; CORREA, J. A. Differential responses to copper-induced oxidative stress in the marine macroalgae *Lessonia nigrescens* and *Scytosiphon lomentaria* (Phaeophyceae). **Aquatic Toxicology**, 94(2), p. 94-102. 2009.

CHOI, W. G.; HILLEARY, R.; SWANSON, S. J.; KIM, S. H.; GILROY, S. Rapid, long-distance electrical and calcium signaling in plants. **Annual Review of Plant Biology**, 67, 287-307. 2016.

DAIRIKI, J.; ARAÚJO-DAIRIKI, T. B.; LITAIFF, I.; MAEDA, J. D. L.; BOIJINK, C. D. L.; da ROCHA, T. L. P.; CHAVES, F. C. M. **Nutrição de juvenis de tambaqui com sachá-inchi.**

Embrapa Amazônia Ocidental - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2018.

DAMUDE, H. G.; KINNEY, A.J. Enhancing plant seed oils for human nutrition. **Plant Physiology**, v. 147, n. 3, p. 962-968, 2008.

DEMIREVSKA-KEPOVA, K.; SIMOVA-STOILOVA, L.; STOYANOVA, Z.; HÖLZER, R.; FELLER, U. Biochemical changes in barley plants after excessive supply of copper and manganese. **Environmental and Experimental Botany**, 52(3), P. 253-266. 2004.

DIAS, J. L. L. **Maturação e qualidade fisiológica de sementes de sacha-inchi (*Plukenetia Volubilis* L.)**. 75 F. Dissertação (Dissertação em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

DUKE, J.A.; VASQUEZ, R. Amazonian ethnobotanical dictionary. CRC Press. P.215. 2018.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, p. 403. 2006.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, 99, p. 345-399. 2008.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. **Advances in Agronomy**, 110,p. 251-331. 2011.

FOLLEGATTI-ROMERO, L. A. **Extração de óleo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) com dióxido de carbono supercrítico**. 2007. 95p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

FU, Q.; NIU, L.; ZHANG, Q.; PAN, B. Z.; HE, H.; XU, Z. F. Benzyladenine treatment promotes floral feminization and fruiting in a promising oilseed crop *Plukenetia volubilis* L. **Industrial Crops and Products**, v. 59, p. 295-298. 2014.

GILLESPIE, L. J. A synopsis of neotropical *Plukenetia* (Euphorbiaceae) including two new species. **Systematic Botany**, p. 575-592, 1993.

GILLESPIE, L. J. A revision of paleotropical *Plukenetia* (Euphorbiaceae) including two new species from Madagascar. **Systematic Botany**, 32(4), 780-802.2007.

GONG, H. D.; GENG, Y. J.; YANG, C.; JIAO, D. Y.; CHEN, L.; CAI, Z. Q. Yield and resource use efficiency of *Plukenetia volubilis* L. plants at two distinct growth stages as affected by irrigation and fertilization. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-14. 2018.

GUILLÉN, M.D.; RUIZ, A.; CABO, N.; CHIRINOS, R; PASCUAL, G. Characterization of sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with linseed oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 80, n. 8, p. 755-762, 2003.

GUTIÉRREZ, L.P.; ROSADA, L.M.; JIMÉNEZ, A. Chemical composition of sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. **Grasas y Aceites**, v. 62, n. 1, p. 76-83, 2011.

JIAO, D., TAN, Y., TANG, S., DAO, X., & CAI, Z. Ecological characteristics of germination of *Plukenetia volubilis* seeds. **Journal of Tropical and Subtropical Botany**, 19(6), 529-535.2011.

JIAO, D.Y.; XIANG, M.H.; LI, W.G.; CAI, Z.Q. Dry-season irrigation and fertilisation affect the growth, reproduction, and seed traits of *Plukenetia volubilis* L. plants in a tropical region. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 87, n. 4, p. 311-316, 2012.

GONZALES, G. F.; TELLO, J.; ZEVALLOS-CONCHA, A.; BAQUERIZO, L.; CABALLERO, L. Nitrogen balance after a single oral consumption of sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) protein compared to soy protein: a randomized study in humans. **Toxicology Mechanisms and Methods**, v. 28, n. 2, p. 140-147, 2018.

GUO, W.; NAZIM, H.; LIANG, Z.; YANG, D. Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. **The Crop Journal**, 4(2), 83-91. 2016.

HARDIN-FANNING, F. The effects of a Mediterranean-style dietary pattern on cardiovascular disease risk. **Nursing Clinics of North America**, 43(1), p.105-115.2008.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J., MØLLER, I. S., & WHITE, P. Functions of macronutrients. **Nitrogen**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. (p. 135-151). 2012.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Functions of macronutrients **iron**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants Academic Press. (p. 151-158).2012.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; **Sulphur**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants Academic Press. (p. 151-158).2012.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. **Phosphorus**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. (p. 158-165). 2012.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. **Magnesium**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. (p. 165-171). 2012.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. **Calcium**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. (p. 171-178). 2012.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J., MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. **Potassium**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. (p. 178-189). 2012.

HANNAM, R. J.; OHKI, K. Detection of manganese deficiency and toxicity in plants. In Manganese in soils and plants **Springer, Dordrecht**. (p. 243-259). 1988.

KOPRIVA, S.; MALAGOLI, M.; TAKAHASHI, H. Sulfur nutrition: impacts on plant development, metabolism, and stress responses. **Journal of Experimental Botany**. 2019, 70, 4069–4073.2019.

KRIVANKOVA, B.; POLESNY, Z.; LOJKA, B.; LOJKOVA, J.; BANOUT, J.; PREININGER, D. sacha-inchi (*Plukenetia volubilis*, Euphorbiaceae): a promising oilseed crop from Peruvian Amazon. In: Tropentag, 2007, Witzenhausen. **Proceedings. Witzenhausen: University of Kassel**, 2007.

KAUR, S.; KAUR, N.; SIDDIQUE, K. H.; NAYYAR, H. Beneficial elements for agricultural crops and their functional relevance in defence against stresses. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 62(7), p. 905-920. 2016.

KODAHN, N. sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) — from lost crop of the Incas to part of the solution to global challenges? **Planta**, v. 251, n. 4, p. 1-22, 2020.

JOBE, T. O., KOPRIVA, S. Sulfur metabolism in plants. John Wiley & Sons, Ltd (Ed.). 2020.

LI, Y.; LIU, K.; ZHU, J.; JIANG, Y.; HUANG, Y.; ZHOU, Z.; YU, F. Manganese accumulation and plant physiology behavior of *Camellia oleifera* in response to different levels of nitrogen fertilization. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 184.109603.p.1-7. 2019.

LIU, J.; SHANG, W.; ZHANG, X.; ZHU, Y.; YU, K. Mn accumulation and tolerance in *Celosia argentea* Linn.: a new Mn-hyperaccumulating plant species. **Journal of Hazardous Materials**, 267, p.136-141.2014.

LOAIZA, M.E.E. Manejo agroecológico del cultivo de sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil.p.58. 2013.

MALAVOLTA, E. ; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas. 2. ed. Piracicaba: **Potafos**, p.319 .1997.

- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 3. ed London: Elsevier, p.643. 2012.
- MANCO, E. I. C. Manejo agroecologico del cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria, Tarapoto, Perú. P.4. 2013.
- MAZEN, A. M. A. Accumulation of four metals in tissues of *Corchorus olitorius* and possible mechanisms of their tolerance. **Biologia Plantarum**, 48(2), p. 267-272. 2004.
- MILLER, A. J. Plant mineral nutrition. In: eLS. **John Wiley & Sons**, Ltd: Chichester. P.1-6. 2014.
- MOSER, P.; FREIS, O.; GILLON, V.; DANOUX, L. Extract of a plant belonging to the genus *Plukenetia volubilis* and its cosmetic use. U.S. **Patent Application**, N. 11/666,769, 15 nov. 2007.
- NAZIR, F.; HUSSAIN, A.; FARIDUDDIN, Q. Hydrogen peroxide modulate photosynthesis and antioxidant systems in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants under copper stress. **Chemosphere**, 230, P. 544-558. 2019.
- NIU, L.; LI, J.; CHEN, S. M.; XU, F. Z.; Determination of oil contents in sachá 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
- OLIVEIRA, S. A. G.; LOPES, M. T. G.; CHAVES, F. C. M.; MARTINS, C. C.; ALVES, E. U. Estimation of genetic parameters of *Plukenetia volubilis* L. seed germination. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. Suple, p. 49-54, 2013.
- OSMAN, K. T. Biological properties of soils. In: Solos. **Springer**, Dordrecht.p.113-128. 2013.

OUZOUNIDOU, G.; LANNOYE, R.; KARATAGLIS, S. Photoacoustic measurements of photosynthetic activities in intact leaves under copper stress. **Plant Science**, 89(2), P. 221-226.1993.

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

RAMÍREZ, J.J.; GORDILLO, M.M.; DURAN, R.C. El género *Plukenetia* (Euphorbiaceae) em México. *Anales Del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, Série Botânica* 71(1): p.11-18. 2000.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** International Plant Nutrition Institute, 1ª ed. Piracicaba, .420, 2011.

RAQUEZ, J. M., DELÉGLISE, M., LACRAMPE, M. F., KRAWCZAK, P. Thermosetting (bio) materials derived from renewable resources: a critical review. **Progress in Polymer Science**, 35(4), p.487-509. 2010.

ROY, A. H. Fertilizers and food production. In: KENT J., BOMMARAJU, T., BARNICKI, S. (eds) **Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology.** Springer, 2017.

SATHE, S.K.; HAMAKER BR, SZE-TAO KWC, VENKATACHALAM M. Isolation, purification, and biochemical characterization of a novel water soluble protein from Inca peanut (*Plukenetia volubilis* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 17, p. 4906-4908, 2002.

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**, v. 20, n. 11, p. 1031-1035, 2016.

SINGARE, P. U., JAGTAP, A. G., & LOKHANDE, R. S. Water pollution by discharge effluents from gove industrial area of Maharashtra, Índia: dispersion of heavy metals and their toxic effects. **International Journal of Global Environmental Issues**, 11(1), P. 28-36. 2011.

SCHMIDT, S. B.; JENSEN, P. E.; HUSTED, S. Manganese deficiency in plants: the impact on photosystem II. **Trends in Plant Science**, 21(7), P. 622-632. 2016.

SHIREEN, F.; NAWAZ, M. A.; CHEN, C.; ZHANG, Q.; ZHENG, Z.; SOHAIL, H., BIE, Z. Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. **International Journal of Molecular Sciences**, 19(7), p.1856. 2018.

SINGARE, P. U., JAGTAP, A. G., LOKHANDE, R. S. Water pollution by discharge effluents from gove industrial area of Maharashtra, Índia: dispersion of heavy metals and their toxic effects. **International Journal of Global Environmental Issues**, 11(1), P. 28-36. 2011.

TAKEYAMA, E.; FUKUSHIMA, M. Physicochemical properties of *Plukenetia volubilis* L. seeds and oxidative stability of cold-pressed oil (green nut oil). **Food Science and Technology Research**, v. 19, n. 5, p. 875-882, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Nutrição mineral. In: **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. ARTMED EDITORA.119. 2017.

TER STEEGE, H.; PITMAN, N. C.; SABATIER, D.; BARALOTO, C.; SALOMÃO, R. P.; GUEVARA, J. E.; MONTEAGUDO, A. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. **Science**, 342(6156). 2013.

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.

WANG, S.; ZHU, F.; KAKUDA, Y. sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. **Food Chemistry**, v. 265, p. 316-328, 2018.

WANG, X.; LIU, A. Expression of genes controlling unsaturated fatty acids biosynthesis and oil deposition in developing seeds of sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.). **Lipids**, v. 49, n. 10, p. 1019-1031, 2014.

WHITE, P. J.; GEORGE, T. S.; HAMMOND, J. P.; JAMES, E. K. Improving crop mineral nutrition. **Plant Soil**.p.384:1–5, 2014.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, 92(4), p. 487-511, 2003.

BRADLEY, M. R.; WHITE, P. J. Plants minerals. In: Salter, A.; Wiseman, H.;Tucker, G. (Eds.). **Phytonutrients**. John Wiley & Sons.p.254-277, 2012.

YANG, C.; JIAO, D. Y.; GENG, Y. J.; CAI, C. T.; CAI, Z. Q. Planting density and fertilisation independently affect seed and oil yields in *Plukenetia volubilis* L. plants. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 89, n. 2, p. 201-207, 2014.

ZIMDAHL, R. L. Phosphorus. In: **Six Chemicals that Changed Agriculture**, 73–88. 2015.

ZHANG, D.; LIU, X.; MA, J.; YANG, H.; ZHANG, W.; LI, C. Genotypic differences and glutathione metabolism response in wheat exposed to copper. **Environmental and Experimental Botany**, 157, p. 250-259, 2019.

ZHANG, C.; GARRISON, T. F.; MADBOULY, S. A.; KESSLER, M. R. Recent advances in vegetable oil-based polymers and their composites. **Progress in Polymer Science**, 71,p. 91-143.2017.

ZULETA, E. C.; RIOS, L. A.; BENJUMEA, P. N. Oxidative stability and cold flow behavior of palm, sacha-inchi, jatropha and castor oil biodiesel blends. **Fuel Processing Technology**, v. 102, p. 96-101, 2012.

6. CAPÍTULO I: Análise do crescimento da Sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) na Amazônia brasileira

Resumo:

A Sacha-inchi é uma espécie oleaginosa amazônica pouco conhecida. Suas principais descobertas têm sido concentradas em duas frentes, tais como as características e propriedade do óleo contido em suas sementes e sua diversidade genética. Por outro, tem sido negligenciado os estudos sobre o desenvolvimento da espécie, sobretudo as fenofases. O presente estudo tem como objetivo investigar as fenofases vegetativa e reprodutiva. O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa Amazônia Ocidental. Foi empregado um delineamento inteiramente ao acaso com 15 períodos de avaliação (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280 e 300) após a emergência com 4 repetições. Para cada período foi obtida a massa seca de raízes, caules, folhas, inflorescências, frutos e massa seca total. De posse desses dados foram calculadas as variáveis de razão de massa radicular, caulinar e foliar. Adicionalmente, foram obtidos a área foliar, área foliar específica e a razão de área foliar. Os resultados mostraram que a fenofase vegetativa durou 77 dias. A fenofase reprodutiva é de 78 dias ou 136 dias após a emergência nas condições do município de Manaus no estado do Amazonas. A massa seca de raízes apresentou o valor máximo ($20,0 \text{ g planta}^{-1}$) aos 120 DAE. O maior valor de fruto total atingido foi $80,0 \text{ g planta}^{-1}$. O maior valor de conteúdo de matéria seca total alcançado foi de $350,0 \text{ g planta}^{-1}$ e a razão de área foliar foi decrescente, saído de 180 mm para 20 mm mostrando a grande perda de capacidade de resposta de área fotossintética ativa promovida pelo autosombreamento dessa espécie.

Palavras-chave: *Plukenetia volubilis* L., Desenvolvimento da sachá-inchi, Crescimento vegetal, Biomassa vegetal.

Abstract:

Sacha-inchi is a little known Amazonian oleaginous species. The main discoveries have been concentrated on two fronts, such as the characteristics and property of the oil contained in its seeds and its genetic diversity. On the other hand, studies on the development of the species have been neglected, especially the phenophases. The present study aims to investigate the vegetative and reproductive phenophases. The study was carried out in the experimental field of Embrapa Amazônia Ocidental. A completely randomized design was used with 15 evaluation periods (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280 and 300) after emergence with 4 four replicates. For each period, the dry mass of roots, stems, leaves, inflorescences, fruits and total dry mass was obtained. With these data in hand, the root, stem and leaf mass ratio variables were calculated. Additionally, leaf area, specific area and leaf area ratio were obtained. The results showed that the vegetative phenophase lasted 77 days. The reproductive phenophase is 78 days or 136 days after emergence (DAE). The dry mass of roots showed the maximum value (20.0 g/plant) at 120 DAE. The highest total fruit value achieved was 80.0 g/plant . The highest value of total dry matter content achieved was 350.0 g/plant and the leaf area ratio was decreasing, going from 180 mm to 20 mm, showing the great loss of responsiveness of the active photosynthetic area promoted by self-shading in this species.

Key-words: *Plukenetia volubilis* L., Development of sachá-inchi, Plant growth, Plant biomass.

6.1. Introdução

A Sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) é uma oleaginosa da Bacia Amazônica de grande potencial econômico, pouco conhecida. A sachá-inchi é uma espécie da família Euphorbiaceae. Esse vegetal pode ser encontrado desde os Andes peruanos, Bolívia, Brasil, Colômbia, Pequenas Antilhas, Suriname e Venezuela (GILLESPIE, 1993; DUKE e VASQUEZ, 1994; LOAIZA, 2013; KODAHN, 2020).

É um vegetal de crescimento rápido, são monoicas, do tipo semiperene, lenhosa, hábito trepador e crescimento indeterminado. As folhas são do tipo alternadas, com tons verde escuro, membranosa, oval e penínérveas. As folhas adultas podem medir entre 6-10 cm de largura, 9-16 cm de comprimento e o pecíolo apresenta comprimento que varia entre 3 e 7cm (MANCO, 2013; KODAHN, 2020).

As sementes de sachá-inchi são do tipo ortodoxas apresentando teor baixo de umidade, <10% (Gutierrez *et al.*, 2011; Cardoso *et al.*, 2015). A germinação dessa espécie é do tipo fanerocotiladonar, epigeal e relativamente lenta, com surgimento de hipocótilo geralmente em torno de 18,5 dias. A temperatura ideal para a germinação é de 30°C (25–35° C) (JIAO *et al.*, 2011; BONETI *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2016).

As sementes podem ser utilizadas para suplementação alimentar, na indústria de cosmético e além disso, possuem propriedades úteis para uso em terapia e farmacologia (WANG *et al.*, 2018). As quantidades de ácidos graxos poli-insaturados essenciais contidos nas sementes estão entre 35,2-50,8% para ácido alfa-linolênico (C₁₈H₃₀O₂) e 33,4-41,0% para ácido linoleico (C₁₈H₃₂O₂). Por serem ricos nesses compostos, o consumo de sachá-inchi ou derivados dela, são relevantes para a saúde, sobretudo na prevenção de doenças cardiovasculares.

A sachá-inchi é uma planta que admite ser cultivada desde região de baixa altitude (30 m) até alta altitude e sob variadas condições edafoclimáticas. O grande interesse pelo óleo e a

possibilidade de mais uma opção de exploração de um vegetal cujas sementes são ricas em ômega, tem despertado o interesse em várias partes do mundo, como Estados Unidos, Filipinas, Japão, Malásia e, sobretudo na China (CHANDRASEKARAN e LIU, 2015; GUTIÉRREZ *et al.*, 2017). No Peru a sachá-inchi está entre os 10 produtos agrícolas mais exportados. Nesse país essa cultura tem se constituído numa importante fonte de emprego e renda. Adicionalmente, em muitas comunidades tradicionais a sachá-inchi estende-se de uso para saúde, alimento, cosméticos e ração para pequenos animais (Del-CASTILHO *et al.*, 2019).

O cultivo da sachá-inchi é conduzido através de tutores tipo espaldeira e sua condução depende de manejo e poda específica (poda de condução e poda fitossanitária). Apesar desses aspectos, pouco tem sido os estudos direcionados na produção vegetal. Esse fato é muito importante, pois só assim, é possível entender o crescimento e o desenvolvimento do vegetal. Uma vez conhecido as características do crescimento, será possível traçar estratégias para aumentar a produção e a produtividade da sachá-inchi. Portanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar os parâmetros de crescimento e definir as fenofases (vegetativa e reprodutiva) da sachá-inchi.

6.2. Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação na Embrapa Amazônia Ocidental, localizada em Manaus, Amazonas. O município está situado na região do nordeste amazonense a 03° 08' 05" S, 60° 01' W e altitude de 100 m.

Durante o período experimental a temperatura no interior da casa de vegetação variou de 25°C a 36°C, a umidade de 75% a 95%. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Af, com duas estações climáticas bem definidas: uma chuvosa (outubro-junho) e outra seca (julho-setembro).

A precipitação média anual é de 2.286 mm, umidade relativa do ar de 80% a 90% com variação de temperatura entre 25°C a 27°C, e média anual de 26,7 °C (Alvares *et al.*, 2013). Para este estudo foi utilizado um Latossolo Amarelo distrófico argiloso (Santos *et al.*, 2013) coletado em uma floresta primária de uma camada subsuperficial de 20-40 cm de profundidade e realizada a extração e determinação química do solo (**Tabela 1**).

Tabela 1. A análise química do solo foi realizada de acordo com a metodologia do manual de análises de solo da Embrapa (2018).

Atributos do solo químicos	Antes da adubação	Depois da adubação
pH (H ₂ O)	3,69	5,72
C (g kg ⁻¹)	10,19	8,50
M.O. (g kg ⁻¹)	17,53	14,62
P (mg dm ⁻³)	4,00	5,31
K (mg dm ⁻³)	20,00	12,00
Na (mg dm ⁻³)	2,00	2,00
Ca (cmolc dm ⁻³)	0,35	2,99
Mg (cmolc dm ⁻³)	0,08	0,40
Al (cmolc dm ⁻³)	0,69	00,00
H+Al (cmolc dm ⁻³)	2,72	1,73
SB (cmolc dm ⁻³)	0,49	3,43
t (cmolc dm ⁻³)	1,18	3,43
T (cmolc dm ⁻³)	3,21	5,16
V (%)	15,25	66,44
M (%)	58,48	00,00
Fe (mg dm ⁻³)	132,00	69,00
Zn (mg dm ⁻³)	1,63	13,44
Mn (mg dm ⁻³)	3,10	2,90
Cu (mg dm ⁻³)	0,19	2,16
Argila (%)	44,53	-
Areia (%)	38,39	-
Silte (%)	6,58	-

Antes do experimento foi realizada a neutralização da acidez do solo utilizando CaCO₃ P.A + MgCO₃ P.A, equivalente a 3,0 t ha⁻¹, na proporção 4:1. A incorporação do carbonato de cálcio e carbonato de magnésio ao solo foi feita através da mistura manual em bacias plásticas com capacidade de 25 dm³ e incubado em vasos de 13 dm³ com água deionizada e permaneceu na capacidade de campo. Foi obtida a equação pH = 4,852 + 0,0132x (R² = 0,83), foi considerado um período de incubação de 45 dias, para atingir um pH em torno de 6,0 (CATANI e ALONSO, 1969).

Para adubação básica foi utilizada a recomendação de adubação para a cultura do maracujazeiro conforme Ribeiro *et al.* (1999), por não haver nenhum registro de recomendação para sachá-inchi, e pela característica de crescimento da espécie, ser semelhante a sachá-inchi. A adubação básica foi aumentada sua concentração em 5x conforme indicado por Resende *et al.* (2012), para experimentos em vasos (**Tabela 2**).

Tabela 2. Concentração de macro e micronutrientes que foi fornecido na adubação básica para sachá-inchi.

Elementos	Adubação kg ha ⁻¹	Doses mg dm ⁻³	Conc. (5x) mg dm ⁻³	Quant. Elem. mg vaso ⁻¹	Quant. reagente (g vaso ⁻¹)	Fontes
N	290,00	145,00	725,00	8,70	18,66	Ureia/nitrato de cálcio (p.a.)
P	52,39	26,20	130,99	1,57	7,72	Superfosfato triplo
K	218,80	109,4	547,00	6,56	12,51	Cloreto de potássio (p.a.)
S	20,00	10,00	50,00	600,00	0,60	Enxofre puro/diversos
Zn	3,00	1,50	7,5	90,00	0,39	Sulfato de zinco (p.a.)
Cu	2,00	1,00	5,00	60,00	0,09	Sulfato de cobre (p.a.)
Mo	0,27	0,14	0,68	8,10	0,01	Molibdato de amônio (p.a.)
B	0,50	0,25	1,25	15,00	0,08	Ácido bórico (p.a.)
Mn	0,10	0,05	0,25	3,00	0,009	Sulfato de manganês (p.a.)

Nitrogênio (**N**), Fósforo (**P**), Potássio (**K**), Enxofre (**S**), Zinco (**Zn**), Cobre (**Cu**) Molibdênio (**Mo**), Boro (**B**), Manganês (**Mn**).

As sementes utilizadas foram de um banco de germoplasma de sachá-inchi da Embrapa Amazônia Ocidental. Foram utilizadas cinco sementes por vaso, na qual obteve-se uma germinação de 95%. Após 10 dias de germinação foram deixadas apenas uma plântula por vaso. Aos 20 dias após a germinação foram avaliados número de folhas, número de ramos e diâmetro do coleto.

Após essas medidas, as plantas foram coletadas e separadas em raiz, caule e folhas. Foram mensuradas o diâmetro do coleto das plantas, medidas a 3 cm do solo, utilizando um paquímetro digital STARRET® (0 - 150 mm). A área foliar foi obtida com amostragem das folhas de cada planta a partir da imagem digitalizada em scanner e uso do Programa Image J. As imagens foram transformadas para 8 bits (preto e branco) neste programa juntamente com uma imagem

padrão de 1,0 cm², a partir do qual o programa realizou cálculo a área das imagens em preto, como área foliar.

Em cada período de avaliação, após a separação das partes da planta, o material foi colocado em estufa até obter a massa constante e obtido a massa seca de cada parte. De posse desses dados foram calculadas as variáveis razão radicular, caulinar e foliar. Adicionalmente, foram obtidos a área foliar específica, e a razão de área foliar (RAF) de acordo com Benincasa (1988). Além disso, as variáveis de crescimento tais como taxa de crescimento relativo, absoluto (altura, diâmetro) e diâmetro foram calculados (BENINCASA,1988).

Para as variáveis de crescimento foram realizadas algumas medidas a fim de mensurar o desempenho cultural de sacha-inchi e inferir sobre outras variáveis que constam na **Tabela 3**.

Tabela 3. Alguns parâmetros de crescimento que foram avaliados, nas plantas de sacha-inchi.

VARIÁVEIS	EQUAÇÃO	UNIDADE
Área foliar	$AF_a \times (PSF_t + PSF_a) / PSF_a$	mm ² g ⁻¹
Área foliar específica	$AFE = Af/Wf$	m ² kg ⁻¹
Razão de área foliar (RAF)	$RAF = Af/Wt$	m ² kg ⁻¹
Razão de massa radicular	$RMR = W_r/W_t$	g g ⁻¹
Razão de massa caulinar	$RMC = W_c/W_t$	g g ⁻¹
Razão de massa foliar	$RMF = W_f/W_t$	g g ⁻¹
Diâmetro do caule		mm
Crescimento absoluto em diâmetro	$CA = d_2 - d_1$	mm
Nº de ramos		unid
Massa seca das raízes (R)		g planta ⁻¹
Massa seca do caule (C)		g planta ⁻¹
massa seca das folhas (F)		g planta ⁻¹
Massa seca da inflorescência (I)		g planta ⁻¹
Massa seca dos frutos (FT)		g planta ⁻¹
Massa seca total (R+C+F+I+FT)		g planta ⁻¹

Sendo: A₂ = altura mês posterior; A₁ = altura inicial, Ln = logaritmo neperiano, D₂ = diâmetro no mês posterior; D₁ = diâmetro inicial; T₂ = mês posterior; T₁ = tempo inicial experimental (i plantio). MST = Matéria Seca Total (g); AP = Altura da Planta (cm); DC = Diâmetro do Caule (mm); MSPA = Matéria Seca da Parte Aérea (g); MSR = Matéria Seca das Raízes (g); AF = área foliar da planta; AF_a = área foliar da amostra escaneada; PSF_a = Massa seca da amostra escaneada; PSF_t = Massa seca de folha total; W_f = Massa de folha; W_t = Massa seca total; W_r = massa seca de raiz; W_c = Massa seca de caule; W_f = Massa seca de folha.

A avaliação das fenofases se deu por observação. Foi considerado fenofase reprodutiva quando mais de 50% do estande apresentava inflorescência. A partir dessa etapa deu-se continuidade das avaliações somadas às avaliações de inflorescência total e massa total do fruto (MTF).

Com os dados de massa de todas as variáveis foram calculadas as relações físicas: razão de área foliar (RAF = área foliar/massa seca total), razão de massa foliar (RMF = massa seca das folhas/massa seca total); razão de massa do caule (RMC = massa seca do caule/massa seca total).

O delineamento foi inteiramente ao acaso, com 15 períodos de avaliação (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280 e 300) após a emergência com 4 repetições, sendo cada repetição constituída de 2 plantas.

No entanto, na fenofase vegetativa com vista a obtenção de material vegetal suficiente para a análise de tecido, foi utilizada maior número de vasos, conforme OKA (2017).

Para verificar a normalidade dos dados foi utilizado teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) para homogeneidade das variâncias pelo teste Levene ($p < 0,05$). Os dados que apresentaram normalidade e homogeneidade foram submetidos à análise de regressão considerando adequação a diferentes equações resposta. Os resultados foram dispostos na forma gráfica com suas respectivas equações.

6.3. Resultados e discussão

6.3.1. Germinação de sementes e fenofases de crescimento

As avaliações de crescimento e acúmulo de nutrientes foram iniciadas aos 20 Dias Após a Emergência (20 DAE). A emergência da plântula ocorreu 13 dias após a semeadura, iniciando com a embebição dos cotilédones, protusão da raiz, ocorrência do eixo hipocotilar, seguida da

liberação dos cotilédones e alongamento do hipocótilo e expansão das folhas cotiledonares. Esses eventos também foram registrados por OLIVEIRA *et al.*, (2013), ao estudar a germinação da espécie nas condições de Manaus, AM e por DIAS (2021), sendo a germinação classificada como epígea fanerocotiledonar (**Figura 1**).

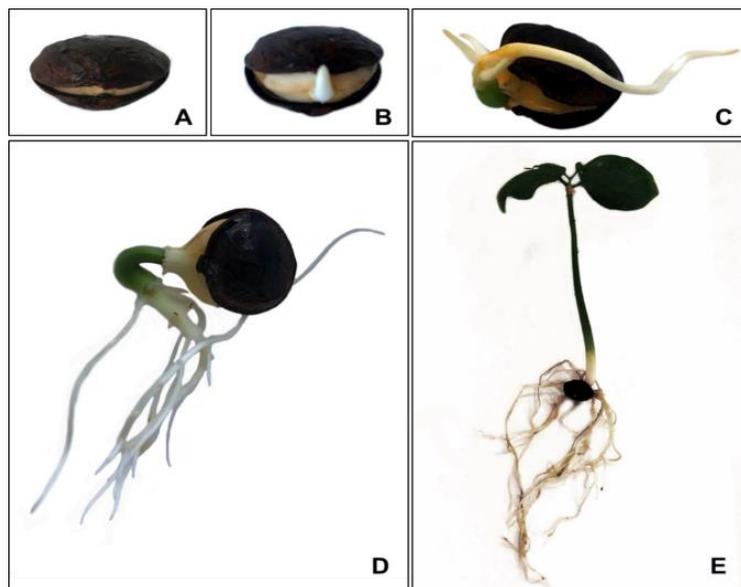


Figura 1. Morfologia do crescimento inicial de *Plukenetia volubilis* L. (A) Rompimento do tegumento da semente, (B) Emergência da radícula da semente, (C) Alongamento do hipocótilo, (D) Raízes secundárias da plântula, (E) Folhas cotiledonares totalmente expandidas. Fotos: J. L. L. Dias (2021).

Foram identificadas 3 fases de desenvolvimento fenológico da sacha-inchi em casa de vegetação a partir da emergência (DAE):

1. **Primeira fenofase: Emergência** (0 a 15 DAE) – a planta tem sua germinação epígea com desenvolvimento radicular pouco prolongado, apresentado folhas cotiledonares;
2. **Segunda fenofase: Vegetativa** (15 a 100 DAE) – Esta fase é marcada pelo surgimento do primeiro par de folhas e crescimento exponencial de ramos e folhas e consequente ganho em matéria seca de partes vegetativas.
3. **Terceira fenofase: Reprodução** (100 a 300 DAE) – Esta fase é marcada pelo surgimento de meristemas florais, que em poucos dias se tornarão inflorescências do tipo racemo, de onde se desenvolverão em média um a dois frutos.

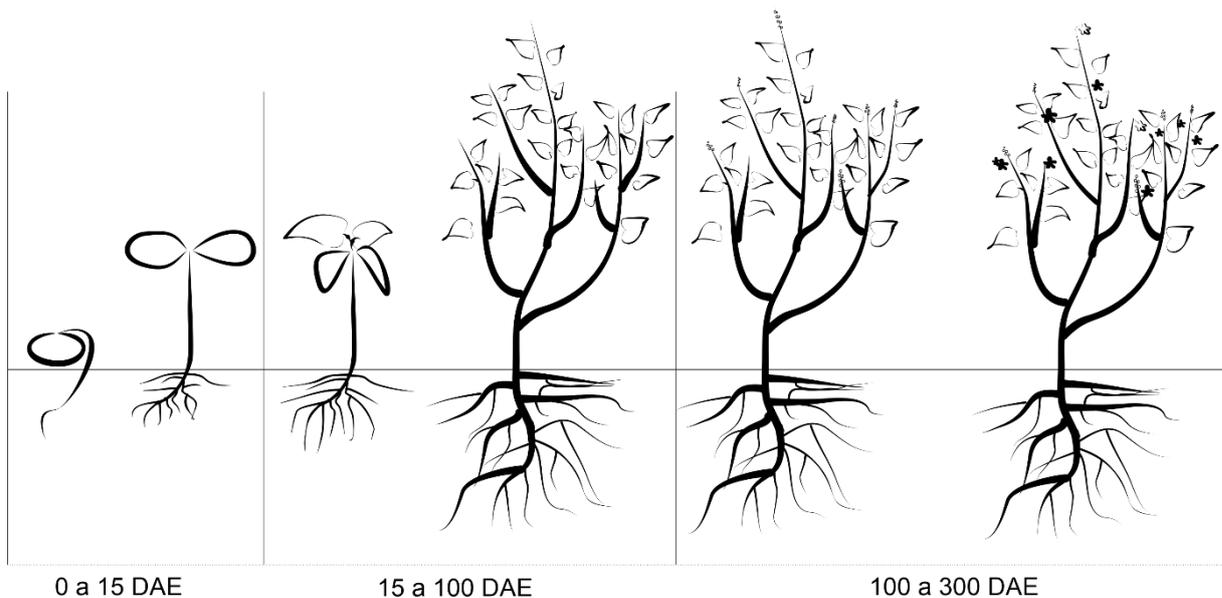


Figura 2. Ilustração das Fenofases de desenvolvimento de *Plukenetia volubilis* L. em casa de vegetação a partir de Dias após a Emergência (DAE).
Ilustração: OKA, J. M. (2022).

6.3.2. Parâmetros fenológicos

Considerando que a emergência teve duração de 13 dias e a primeira avaliação aos 20 DAE, já houve influência do local de cultivo da planta, com um diâmetro do caule já observado de 6,0 mm (Figura 3A), ou seja, já tinha pelo menos 2 pares de folhas definitivas, refletindo esse desenvolvimento na área foliar (Figura 3C) e área foliar específica (Figura 3D), maior valor para esse estudo dessa variável.

O diâmetro do caule mostrou-se crescente até os 180 DAE, em seguida tem comportamento de estabilidade na expansão dessa estrutura de sustentação da planta. Até o final do estudo não houve mudanças significativas mesmo com o avanço da idade da planta e também a ocorrência das fases vegetativa e reprodutiva da espécie. Também verificou-se que outros eventos ocorreram, como ocorrência de ramos (Figura 3B), a partir da idade de 60 DAE, com 6 ramos por planta e sem apresentar muitas mudanças até a avaliação seguinte. Mas de 80 a 100 DAE a emissão de ramos foi muito acentuada, com um número maior do que o dobro verificado anteriormente.

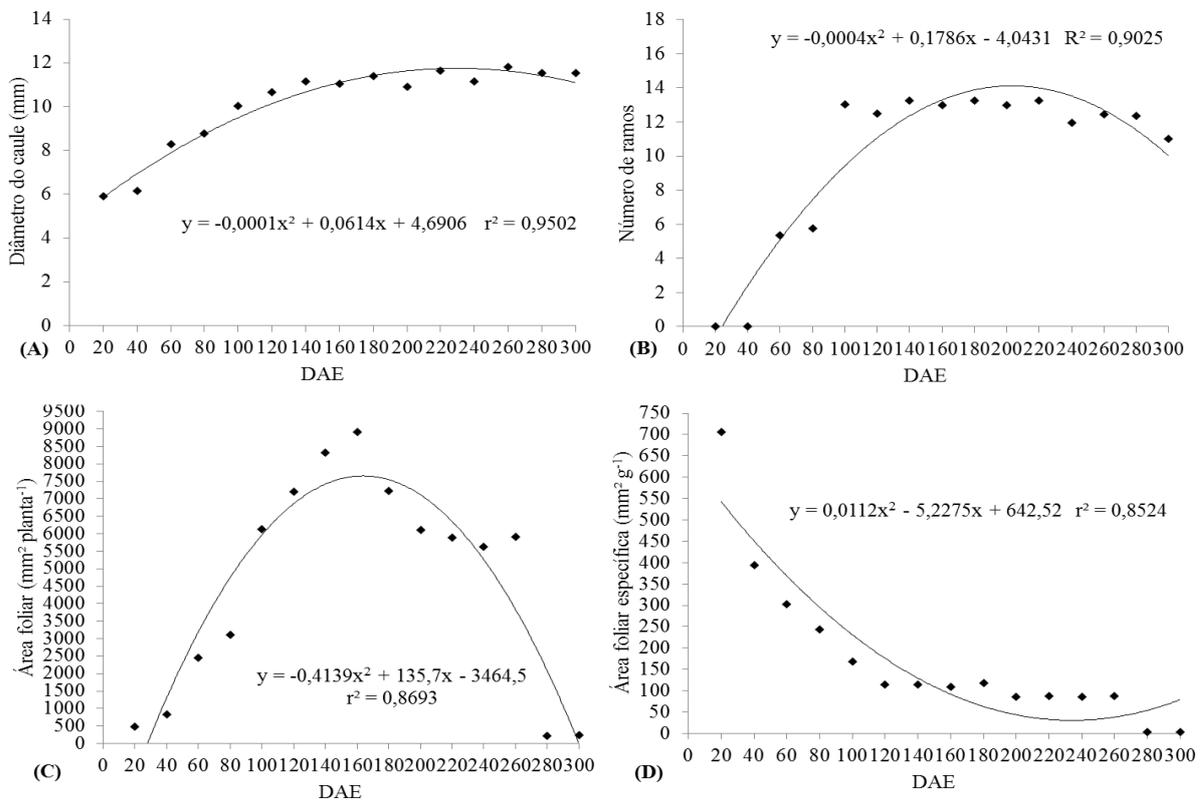


Figura 3. Diâmetro de caules (A), número de ramos (B), área foliar (C) e área foliar específica (D) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

A sachá-inchi é uma planta volúvel, trepadeira, com alta capacidade de se desenvolver com suporte de sustentação. A área foliar também se beneficiou destes ramos, pois compreende-se que o aumento desses favoreceu ao aumento constante da superfície foliar, pelo menos até aos 140 de idade da planta, com 9.500 mm²/planta. A diminuição drástica só foi verificada já no avanço da idade da planta, compreensível, pois nas duas últimas avaliações as plantas já apresentavam emissão de novos ramos, corroborando esse comportamento no baixo índice de área foliar específica, planta com ramos, mas com poucas folhas, na sua maioria folhas novas, não refletindo em folhas maduras, expandidas e, portanto, em aumento da área foliar.

6.3.3. Massa seca da planta

A massa seca das partes da planta de sacha-inchi apresentou comportamento inicial crescente para todos os componentes. Para inflorescências e frutos (Figuras 4E e 4D), mesmo sendo crescentes, esses eventos só foram se manifestar aos 100 e 160 DAE, respectivamente, neste estudo. Silva *et al.* (2013) verificaram que a planta de sacha-inchi entra na fase reprodutiva em torno de 90 dias após a emergência e ocorre a emissão das primeiras inflorescências em torno de 150 dias após esse evento fisiológico, nas condições de cultivo em Manaus, AM.

Esse comportamento é esperado, pois a espécie exige desde a polinização, em torno de 86 dias até o amadurecimento total do fruto (cor marrom-escuro), sendo isso comprovado na Figura 4C, onde a massa seca de frutos já inicia com o valor de $30,0 \text{ g planta}^{-1}$. Com exceção das variáveis produção de inflorescências e produção total de massa seca, a partir praticamente dos 260 DAE, há uma queda na massa seca. A planta de sacha-inchi emite inflorescências continuamente desde o advento desse evento biológico, sendo a proporção de aproximadamente 20 flores masculinas para uma feminina, também verificado por Silva *et al.* (2013).

A massa seca de raízes apresentou o valor máximo aos 120 DAE, mesmo sendo vasos de 13 dm^3 , mostrando grande capacidade de crescimento deste órgão. Vale mencionar que a adubação do solo, conforme recomendado por Resende *et al.* (2012), em estudos dessa natureza, em que pelo menos 5 vezes o recomendado para cultivo em solo, deve ser adotado, quando se define os adubos e suas quantidades.

As raízes, estrutura responsável pela absorção, distribuição e liberação de nutrientes para a parte aérea da planta embora tenha alcançado o volume máximo, aos 120 DAE, não comprometeu o desenvolvimento e crescimento da planta, pois aos sinais de deficiência visível ou não, houve reposição dos nutrientes no solo, para aqueles nutrientes em que é feita a

adubação fracionada, prática adotada quando se estuda crescimento e acúmulo de nutrientes nas espécies vegetais.

Das partes da planta estudadas, foram as raízes quem menos apresentaram contribuição para a massa seca total da planta (Figura 4C), estando o valor máximo em torno de 100 DAE com aproximadamente 18,0 g planta⁻¹. Apesar da pouca expansão nesse órgão, após os 100 DAE, não se observou limitação do crescimento das outras partes, pois folhas, caules, inflorescências e frutos situaram-se em torno do valor máximo de 80,0 g planta⁻¹.

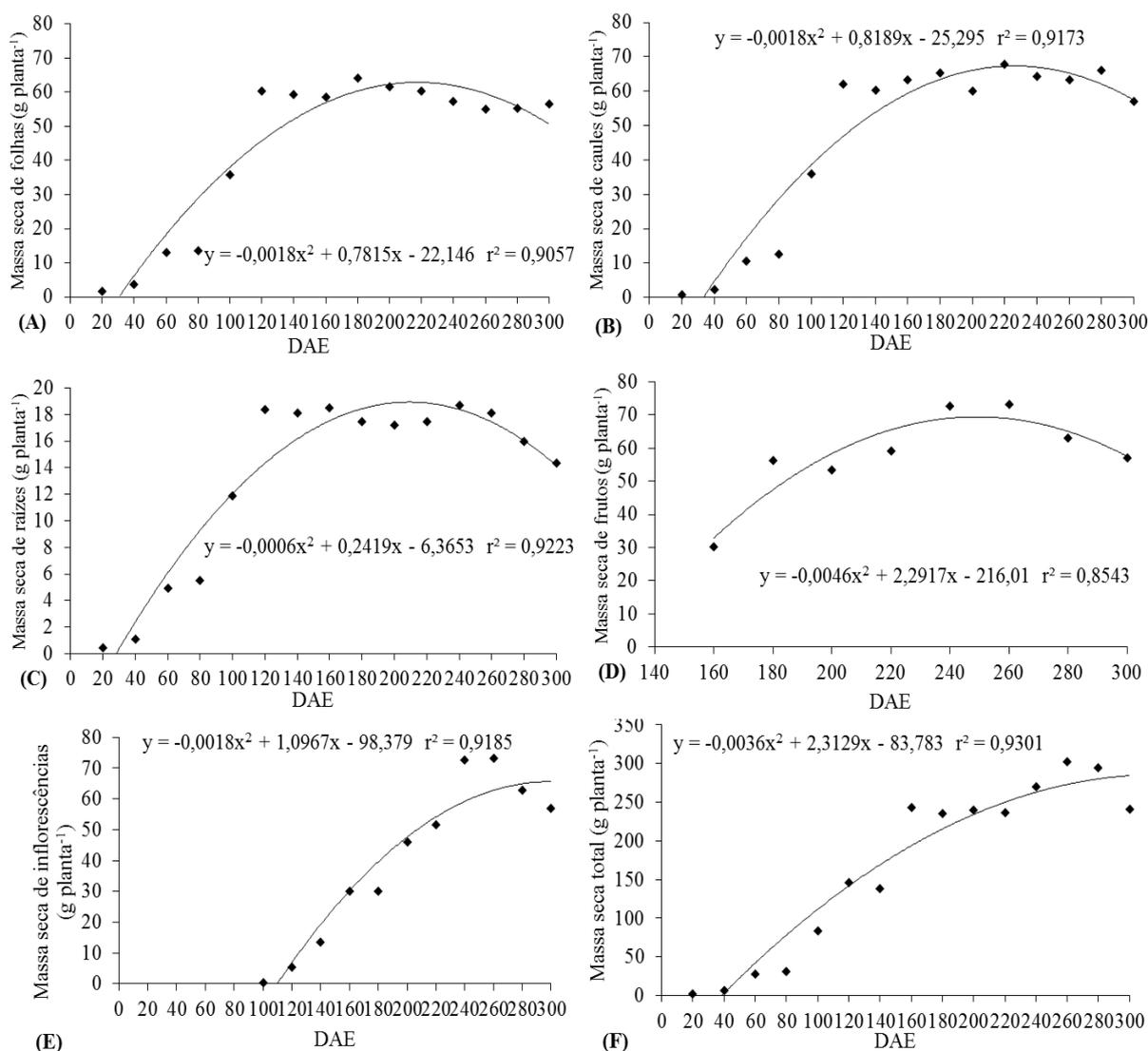


Figura 4. Massas secas de folhas (A), caules (B), raízes (C), frutos (D), inflorescências (E) e total (F) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

Embora decréscimo tenha sido observado praticamente nas duas avaliações finais (280 e 300 DAE), a massa seca de frutos apresentou já um decréscimo antes dessas datas, sendo compreensível, pois primeiro ocorre a emissão de inflorescências, somente aos 100 DAE e para frutos, somente aos 160 DAE. A planta apresentou no seu máximo de massa seca valores próximos de 350,0 g planta⁻¹ (Figura 3F). Da emissão das inflorescências, antese, polinização, fertilização, desenvolvimento do fruto, são necessários até 110 dias após a antese floral, nas condições de Manaus, AM (DIAS, 2020).

Para Niu *et al.* (2014), são necessários até 145 dias após a antese para o desenvolvimento do fruto, isso nas condições da China. Vale mencionar que a espécie após a ocorrência da fase reprodutiva, permanece com as várias fases reprodutivas, ou seja, as primeiras inflorescências darão formação a frutos maduros, mas outras inflorescências continuam sendo lançadas, sendo, portanto, verificado esses vários estádios nas estruturas reprodutivas. Por outro lado, nossos resultados são semelhantes ao encontrados por Liu *et al.* (2014) para o desenvolvimento de frutos no qual foi constatou 112 dias para o desenvolvimento do fruto.

6.3.4. Parâmetros morfofisiológicos

As relações dos órgãos da planta de sachá-inchi, individualmente, em contraponto à produção total da planta, obtidas para folhas, caules e raízes (Figuras 5A, 4B e 4C, respectivamente) demonstraram que a menor contribuição foi identificada para o órgão as raízes, iniciando com 0,18 e decrescendo até o valor de 0,06, três vezes menor daquele inicial, com comportamento de uma reta, decrescente. Em representação numérica isso significa que aos 20 DAE as raízes apresentavam 0,46 g planta⁻¹, enquanto a produção total de biomassa acumulada na planta estava com 2,62 g planta⁻¹, em média. Para folhas e caules, os valores iniciais foram 1,52 e 0,64 g planta⁻¹, respectivamente. wq

Raízes e folhas apresentaram comportamento semelhante, com representação de retas decrescentes, ou seja, à medida que a planta se desenvolvia, a contribuição dos outros órgãos, como o caule (Figura 4B), com comportamento não apresentado em forma de reta, mas de equação de segundo grau, não foi suficiente para contribuir na modificação dos resultados para folhas e raízes.

A Razão de Área Foliar (RAF), segundo Magalhães (1979), expressa a área foliar útil para a fotossíntese, ou seja, é uma medida da dimensão do aparelho assimilador, servindo como parâmetro apropriado para as avaliações de efeitos genotípicos, climáticos e do manejo de comunidades vegetais. Segundo esse autor, é um componente morfofisiológico, pois é a razão entre a área foliar (área responsável pela absorção de luz e CO₂) e a massa seca total (resultado da fotossíntese líquida), ou seja, a RAF é a área foliar em dm² que é usada para produzir 1g de massa seca. A RAF é importante estudar, pois no início, quando a planta é constituída em grande parte por folhas, os valores dessa razão são elevados, decrescendo com o tempo (autossombreamento), pois, à medida que a planta se desenvolve, surgem outras partes que crescem à custa de material importado das folhas, principal órgão-fonte da planta, considerando que 90% dos assimilados são produzidos na folha e translocados para o resto da planta, tendo-se agora os órgãos-dreno. A RAF se caracteriza como um parâmetro fisiológico, pois expressa a fração de massa seca não exportada das folhas para o resto da planta.

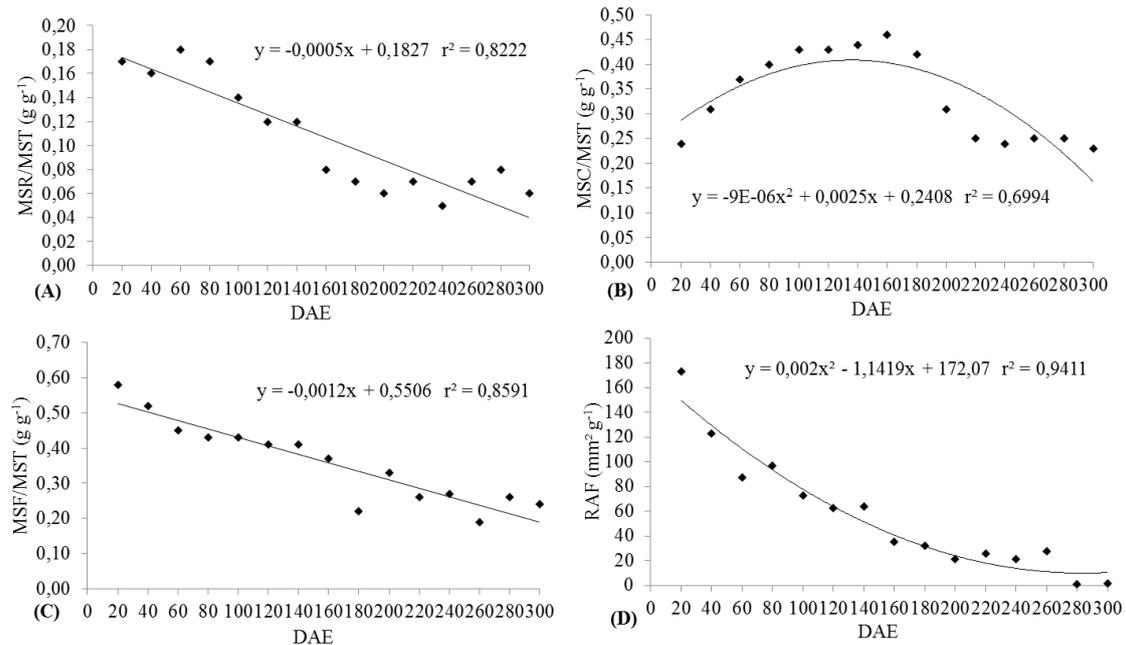


Figura 5. Razão de massa radicular (MSR) (A), Razão de massa caulinar (MSC), Razão de massa foliar (MSF) e razão de área foliar (RAF) (D) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

Além das variáveis mostradas até então, o comportamento de crescimento da sachá-inchi foi avaliado. Foi observado que a taxa de crescimento relativo em altura (TCr-a), é de $0,170 \text{ (cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1})$ e taxa de crescimento absoluto em altura (TCA-a) de $0,462 \text{ cm mês}^{-1}$. Igualmente foi constatado um crescimento absoluto em altura (Ca) de $2,7 \text{ cm}$. Adicionalmente a taxa de crescimento relativo em diâmetro (TCR-d) foi de $0,288 \text{ mm mm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCA-d) $0,938 \text{ mm mês}^{-1}$ e crescimento absoluto em diâmetro de $5,63 \text{ mm}$, respectivamente. Essas variáveis dão a noção da capacidade de incremento de biomassa da espécie, ou seja, uma espécie de rápido de crescimento.

6.4. Conclusões

A sachá-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) apresentou três fenofases principais, sendo a primeira emergência, crescimento e reprodução, cuja emergência teve duração de 15 dias. O primeiro par de folhas opostos completamente expandido foi observado com 24 dias após a

emergência. Posteriormente foram emitidos os primeiros ramos, ocasião em que a planta já estava com 27 dias de idade. O comportamento volúvel dos ramos foi verificado a partir de 34 dias.

A fenofase vegetativa durou 75 dias. A primeira formação de inflorescências (fase reprodutiva) foi observada aos 78 dias. O desenvolvimento das estruturas reprodutivas ocorreu inicialmente com a emissão de flores masculinas, em forma de racemos, sendo a flor feminina localizada na base destes, geralmente isolada.

O desenvolvimento total do fruto até a deiscência teve duração mínima de 72 dias ou 136 dias após a emergência das sementes. A deiscência dos frutos normalmente ocorre com coloração do tipo marrom.

Portanto, o ciclo da **fenofase vegetativa** da sachá-inchi é 75 dias e ciclo da **fenofase reprodutiva** é de 78 dias ou 136 dias após a emergência nas condições do município de Manaus, Amazonas.

6.5. Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

BONETI, J. E. B.; BARROS, R. T.; MELO, L. F. ; LOPES, M. T. G. ; MARTINS, C. C.. **Temperature effects on the germination of *Plukenetia volubilis* L. seeds..** In: ASA, CSSA, and SSSA Annual Meeting, 2014, Long Beach, CA.. Seed Physiology, Production and Technology: II, p.1.2014.

CARDOSO, A. Á.; OBOLARI, A. D. M. M.; SILVA, C. J. D.; RODRIGUES, H. S. Environmental factors on seed germination, seedling survival and initial growth of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 2, p. 111-116, 2015.

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.

DEL-CASTILLO, A. M. R., GONZALEZ-ASPAJO, G., DE FÁTIMA SÁNCHEZ-MÁRQUEZ, M., KODAHN, N. Ethnobotanical knowledge in the peruvian Amazon of the neglected and underutilized crop Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). **Economic Botany**, 73(2), 281-287. 2019.

DA SILVA, P. S.; DE SOUZA, C. D. R.; CHAVES, F. C. M. **Avaliação do potencial energético dos resíduos da Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivada no Amazonas.** In Embrapa Amazônia Ocidental - Artigo em anais de congresso (ALICE). In: WEB ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA QUIMÍCA, 1., 2021. Anais... Recife: Even3, 2021.

DIAS, J. L. L. **Maturação e qualidade fisiológica de sementes de sachá-inchi (*Plukenetia volubilis* L.).** 75 F. Dissertação (Dissertação em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

GILLESPIE, L. J. Pollen morphology and phylogeny of the Tribe Plukenetieae (Euphorbiaceae). **Ann. Mol. Bot. Gard.** 81(2):317–348. 1994.

GOYAL, A.; TANWAR, B.; SIHAG, M. K.; SHARMA, V. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): An emerging source of nutrients, omega-3 fatty acid and phytochemicals." **Food Chemistry** 373 (2022): 131459.2022.

GUTIÉRREZ, L. F.; QUIÑONES-SEGURA, Y.; SANCHEZ-REINOSO, Z.; DÍAZ, D. L. ABRIL, J. I. Physicochemical properties of oils extracted from γ -irradiated Sacha-Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. **Food Chemistry**, 237, 581-587. 2017.

JIAO, D.Y.; TAN, Y.H.; TANG, S.X.; DAO, X.S.; CAI, Z.Q. Ecological Characteristics of germination of *Plukenetia volubilis* seeds. **J Trop Subtrop Bot** 19(6):529–535. 2011.

KODAHL, N. Sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) — from lost crop of the Incas to part of the solution to global challenges?. **Planta**, v. 251, n. 4, p. 1-22, 2020.

LIU, Q.; XU, Y. K.; ZHANG, P.; NA, Z.; TANG, T.; SHI, Y. X. "Chemical composition and oxidative evolution of sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil from Xishuangbanna (China)." *Grasas Aceites* 65.1 (2014): e012.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. *Fisiologia Vegetal*. EPU/EDUSP, São Paulo. 1979. v.1, p. 331-350.

MANCO, E. I. C. Manejo agroecológico del cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria, Tarapoto, Perú. P.4. 2013.

NIU, L.; LI, J.; CHEN, S. M.; XU, F. Z.; Determination of oil contents in sachá 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.

OKA, J. M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita, em Manaus, AM.** 2017. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas. 2017.

RESENDE, Á. V.; MARTINS, E. S.; HURTADO, S. M. C.; OLIVEIRA, C. G.; SENA, M. C. **Protocolo de avaliação agrônômica de rochas e produtos derivados como fontes de nutrientes às plantas ou condicionadores de solo.** Documentos - Embrapa Milho e Sorgo, v. 143, p. 30, 2012.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação.** Viçosa, p. 359, 1999.

RODRIGUES, P. H. V.; BORDIGNON, S. V.; AMBROSANO, G. M. B. Desempenho horticultural de plantas propagadas in vitro de sachá inchi. *Ciência Rural* (versão online), 2014. v. 44, n. 6, p. 1050-1053. ISSN 1678-4596. DOI 10.1590/S0103- 84782014000600016.

SANTOS, R.D; LEMOS, R.C; SANTOS, H.G; KER, J.C; ANJOS, L.H.C; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2015.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p, 2009.

SILVA, M. L. S.; VIANA, A. E. S.; SÃO JOSÉ, A. R.; AMARAL, C. L. F.; MATSUMOTO, S. N.; PELACANI, C. R. Desenvolvimento de mudas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) sob diferentes níveis de sombreamento. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 28, n. 4, p. 513-521, 2006.

SILVA, E. S.; KINUPP, V. F.; LOPES, M. T. G.; CHAVES, F. C. M. Caracterização da fase reprodutiva de sachá-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) em Manaus, AM. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 10., 2013, Manaus. Anais. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2013, 10p.

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* 20 (11):1031–1035. 2016.

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 sachá-inchi in central Amazon. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.47, n.2, p.226-236, 2017.

WANG, XIAOJUAN; LIU, AIZHONG. Expression of genes controlling unsaturated fatty acids biosynthesis and oil deposition in developing seeds of Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Lipids*, v. 49, n. 10, p. 1019-1031, 2014.

7. CAPÍTULO II: Acúmulo de nutrientes pela cultura da Sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) em um Latossolo amarelo distrófico.

Resumo:

A sachá-inchi é uma oleaginosa amazônica com grande potencial econômico. No entanto, para propiciar maior produção é necessário conhecer a dinâmica e o requerimento de nutrientes por essa cultura. O presente estudo tem como objetivo investigar o acúmulo de nutrientes e de matéria seca ao longo do ciclo da cultura. O presente estudo foi conduzido na Embrapa Amazônia Ocidental. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso. Os tratamentos foram 15 períodos de avaliações, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280 e 300 dias após a emergência. Foram utilizadas 4 repetições sendo 2 plantas por repetição e a unidade experimental foi uma planta por vaso de 13 dm³. Os principais resultados apontam que o nitrogênio é o elemento que mais acumula na sachá-inchi. O acúmulo total de nutrientes da cultura da sachá-inchi ocorreu até 240 DAE, enquanto o acúmulo total de biomassa ocorreu até 220 DAE.

Palavras-chave: Acúmulo de nutrientes, nutrição de sachá-inchi, taxa de absorção, interação de nutrientes.

Abstract:

Sacha-inchi is an Amazonian oilseed with great economic potential. However, to provide greater production is necessary and the dynamics and the requirement of nutrients by this crop. The present study aims to investigate the accumulation of nutrients and dry matter throughout the crop cycle. The present study was conducted in Embrapa eastern Amazon. The experimental design entirely random was used. The treatments were 15 evaluation periods, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280 and 300 days after emergence. Four replicates were used, 2 plants per repetition and the experimental unit was a vase of 13 dm³ per plant. The main results indicate that nitrogen is the element that accumulates the most in sachá-inchi. The total accumulation of nutrients from the sachá-inchi crop occurred up to 240 DAE, while the total biomass accumulation occurred up to 220 DAE.

Keywords: nutrient accumulation, sachá-inchi nutrition, uptake rate, nutrient interaction.

7.1. Introdução

A Sachá-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) é uma espécie semi-perene e monóica, pertencente à família das euforbiáceas. Acredita-se que a sachá-inchi seja originária da Amazonia, sendo cultivada no Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Peru, Pequenas Antilhas, Suriname e Venezuela (GILLESPIE, 1993; KODAH, 2020). É uma trepadeira de crescimento rápido, que pode atingir mais de 5 m de altura. Os frutos são do tipo cápsula lobulares, com 3

a 5,0 cm de diâmetro, treta-locular, contendo geralmente 4 a 7 sementes, sendo uma semente por lóculo. As sementes têm de 1 a 2,0 cm de comprimento e 4,6 a 6,5 cm de largura (RODRIGUES et al., 2018), apresentam teor de óleo variando entre 33 e 38 % e representam entre 53 e 79% do peso do fruto (HAMAKER et al., 1992; CHIRINOS et al., 2017).

O potencial da *P. volubilis* tem despertado a atenção devido às características do produto principal, ou seja, o óleo rico em ômega 3, 6 e 9 (HAMAKER et al., 1992). Adicionalmente, povos nativos apontam que a sacha-inchi possui propriedade farmacológica. Além disso, a sacha-inchi é uma importante fonte alimentar tanto humano quanto animal (Da SILVA et al., 2021; GOYAL et al., 2022). Apesar desse, aspectos pouco se sabe sobre o papel dos nutrientes no crescimento da sacha-inchi pois a maioria das pesquisas tem concentrado os esforços nos estudos ligados a qualidade do óleo, a composição centesimal e nutricional das sementes, diversidade genética, conservação de sementes, germinação e até aclimação em diversos ambientes de cultivo (GUTIÉRREZ et al., 2011; ARAUJO-DAIRIKI et al., 2018; YANTI et al., 2022, RODRIGUES et al., 2018; PACHECO JÚNIOR, 2019; DIAS, 2021 e CAI et al., 2012).

As funções dos nutrientes sobre o crescimento dos vegetais são bem conhecidas, por exemplo, o nitrogênio propicia rápido crescimento e coloração verde. O fósforo forma a molécula trifosfato de adenosina que desempenha duas funções principais como fonte de energia e a realização dos processos de fotossíntese. O potássio tem funções de sinalização e participação na translocação de solutos (açúcares e ácidos orgânicos), o cálcio tem papel estruturante nas paredes celulares, regulatórias nas membranas plasmáticas e sinalização sistêmica, respectivamente (WHITE e BROADLE, 2003; CHOI et al., 2016)), o magnésio é elemento central no esqueleto da clorofila, portanto, fundamental na fotossíntese. Função desempenhada também em menor escala pelo manganês, embora sua principal função seja, ativador enzimático (MARSCHNER'S et al., 2012).

O zinco participa de vários processos metabólicos (síntese de proteína, carboidratos e fito-hormônios), o ferro também auxilia na fotossíntese, respiração e fixação do nitrogênio. O cobre tem função fisiológica complexa, como participação na fotossíntese, respiração mitocondrial e metabolismo celular (BHATLA et al., 2018).

Ao longo da ontogenia da planta, os nutrientes são metabolizados e remobilizados, ora sendo fonte, ora sendo dreno. Essa dinâmica complexa varia entre os vegetais e em função da fenofase tanto vegetativa quanto reprodutiva (LONERAGAN et al., 1976; HILL, 1980; MILLA et al., 2005; DISTELFELD et al., 2015; MAILLARD et al., 2015). A quantificação ou ordem com que os nutrientes apresentam em função dos tecidos e também do tempo, denomina-se série liotrópica. A série liotrópica pode ser um indicativo de como as plantas utilizam os nutrientes ao longo das fenofases. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o acúmulo de nutrientes na biomassa das partes de sacha-inchi, em função das fenofases.

7.2. Material e métodos

O presente estudo foi realizado em condições de casa de vegetação no município de Manaus, AM, Brasil, localizado a 03° 08' 05"S, 60°01'W com altitude de 100 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é "AF" (Clima tropical úmido), com precipitação média de aproximadamente 2.286 mm, temperatura média anual de 26,7 °C, umidade de 80% (ALVARES et al., 2013). O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Amarelo argiloso distrófico (Santos et al.2013).

As sementes utilizadas foram do banco de germoplasma de sacha-inchi da EMBRAPA Amazônia oriental. Foram utilizadas cinco sementes por vaso, na qual obteve-se uma germinação de 95%.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram definidos por tempo, em dias após a emergência (DAE), sendo os tempos de coleta a cada 20 dias em função do desenvolvimento da cultura da sachá-inchi, que neste estudo terminou aos 300 DAE. Neste estudo, houve um total de quinze coletas: aos 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280 e 300 DAE. A primeira coleta foi realizada com maior número de unidades, devido ao pequeno tamanho das plântulas e conseqüentemente a necessidade de ter material suficiente para a realização da análise química dos tecidos (raízes, caules e folhas).

O preparo do solo consistiu na coleta da camada subsuperficial de 20-40cm, seguindo do destorroamento e descarte de restos orgânicos (raízes). Sendo em seguida peneirado em peneira de malha de 4 mm de diâmetro e colocado em vaso de 13 dm³. Para caracterização físico-química do solo (Embrapa, 2018), foram coletas 50 amostras triangular simples para obter 5 amostras compostas, como o seguinte resultado: pH(H₂O) = 3,69; P = 4 mg dm⁻³ e K = 20,00 mg dm⁻³ (Mehlich⁻¹); Al³⁺ = 0,69 cmol_c dm⁻³, Ca²⁺ = 0,35 cmol_cdm⁻³ e Mg²⁺ = 0,08 cmol_c dm⁻³ (1 molL⁻¹ KCl); H+Al = 2,72 cmol_c dm⁻³ (0,5 mol L⁻¹ acetato de cálcio, pH 7,0); Zn = 1,63 mg dm⁻³, Cu = 0,19 mg dm⁻³, Fe = 132 mg dm⁻³ e Mn = 3,10 mg dm⁻³ (Mehlich⁻¹); C = 10,19 g kg⁻¹ (Walkley-Black); e argila = 44,53%. A recomendação de fertilização utilizada neste experimento foi adaptada de Ribeiro *et al.* (1999) para a cultura do maracujazeiro, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Concentração de macro e micronutrientes que foi fornecido na adubação básica para sachá-inchi.

Elementos	Adubação kg ha ⁻¹	Doses mg dm ⁻³	Conc. (5x) mg dm ⁻³	Quant. Elem. mg vaso ⁻¹	Quant. reagente (g vaso ⁻¹)	Fontes
N	290,00	145,00	725,00	8,70	18,66	Uréia/nitrato de cálcio (p.a.)
P	52,39	26,20	130,99	1,57	7,72	Superfosfato triplo
K	218,80	109,4	547,00	6,56	12,51	Cloreto de potássio (p.a.)
S	20,00	10,00	50,00	600,00	0,60	Enxofre puro/diversos
Zn	3,00	1,50	7,5	90,00	0,39	Sulfato de zinco (p.a.)
Cu	2,00	1,00	5,00	60,00	0,09	Sulfato de cobre (p.a.)

Mo	0,27	0,14	0,68	8,10	0,01	Molibdato de amônio (p.a.)
B	0,50	0,25	1,25	15,00	0,08	Ácido bórico (p.a.)
Mn	0,10	0,05	0,25	3,00	0,009	Sulfato de manganês (p.a.)

Visando corrigir o pH e aumentar a disponibilidade de Ca e Mg no solo para a cultura do sacha-inchi, optou-se por aplicar o equivalente a 3 toneladas ha⁻¹ de carbonato de cálcio e magnésio. Após 45 dias obtivemos a equação do pH = 4,852+ 0,0132x (R² = 0,83).

A semeadura nos vasos constou de cinco sementes/vaso, na profundidade 2cm. Após 10 DAE foram descartada 4 plântulas, deixada aquela de tamanho maior para proporcionar uniformidade. Nas avaliações, cada vaso foi considerado uma unidade experimental.

A incorporação do CaO, MgO e posteriormente do fósforo e enxofre ao solo foi com auxílio de bacias. A aplicação foi dividida em 4 porções para o nitrogênio e potássio aos 20, 40, 75 DAE, período que antecedeu o início do florescimento da sacha-inchi. O objetivo da aplicação dos fertilizantes foi aumentar a eficiência de absorção de N e K pela sacha-inchi. Com exceção de fosforo e enxofre, os demais nutrientes foram aplicados em solução. No decorrer do experimento, o manejo deu-se pela condição de tutor e irrigação manual diária. Após feito a capacidade de campo do solo, foram aplicados diariamente 1 mL L⁻¹ de água).

À medida que as plantas cresciam houve a coleta de folhas senescentes e foram armazenadas em sacos plástico para serem contabilizada como matéria seca ao final de cada avaliação. Em cada coleta foram separadas as partes em função do ciclo (raízes, caules, folhas, inflorescência e frutos). Após a coleta, os materiais foram lavados em água corrente e seco em estufa até obter a massa constante. Após pesagem em balança de precisão, foram moídos e em seguida feita análise química dos tecidos, ou seja, extração e determinação.

O material vegetal moído foi submetido a digestão de solução nitroperclórica para extração de Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P e Zn. O Fósforo foi determinado em colorimetria. Enquanto Ca e Mg, foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Adicionalmente, o K foi determinado por fotometria de chama, e os micro Cu, Fe, Mn e Zn, foram determinados por Plasma por Acoplamento Indutivo.

A determinação dos acúmulos dos macros e micronutrientes foram obtidas através das expressões:

$$AC = Tn \times MSp/100$$

$$ACmi = Tn \times MSp/1000$$

Em que:

AC = macronutriente acumulado,

ACmi = micronutriente acumulado,

Tn = teor do macronutriente na parte analisada ($g\ kg^{-1}$) e

MSp = matéria seca da parte analisada (g).

Adicionalmente o acúmulo total foi obtida através da soma de total as partes, ou seja, $ACT = AC(raízes) + AC(caules) + AC(folhas) + AC(inflorescências) + AC(frutos)$.

Para verificar a normalidade dos dados foi utilizado teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) homogeneidade das variâncias pelo teste Levene ($p < 0,05$). Os dados que apresentaram normalidade e homogeneidade, foram submetidos a análise de regressão considerando adequação a diferentes equações resposta. Os resultados foram dispostos na forma gráfica com suas respectivas equações.

7.3. Resultados e discussão

7.3.1. Acúmulo de nutrientes

A folha da sachá-inchi é o órgão que mais acumulou nitrogênio e a raiz é o órgão que menos acumula nitrogênio. Podemos observar que os valores máximos alcançados foram 2.000 $mg\ planta^{-1}$ para folha, 1.600 $mg\ planta^{-1}$ para caule e 450 $mg\ planta^{-1}$ para raízes, aos 120, 160

e 100 DAE, respectivamente. É importante ressaltar que o decréscimo de acúmulo de N nas raízes acontece de forma mais suave, enquanto para caules e folhas essa queda é mais acentuada (Figuras 1 B e 2C).

Tal resposta deve-se ao fato do N ser o elemento químico mais abundante numa planta, contribuindo com aproximadamente de 2 a 5 % da massa seca total (Souza, 2017). Esses achados corroboram com os de Balta-Crisólogo et al. (2015), no qual constataram que o nitrogênio é o elemento que mais acumula na sachá-inchi.

As raízes após ocuparem todo o vaso não conseguiram espaço para incrementar N na sua massa, mas devido ao solo conter todos os nutrientes para o desenvolvimento da planta, permaneceram ativas, exercendo a sua função de fornecer alimentos para as folhas e caules e posteriormente para as estruturas reprodutivas.

O ritmo mais acentuado para caules e folhas demonstra que principalmente para folhas devido ser um órgão que apresenta um ciclo de vida menor em relação aos demais órgãos da planta, há uma emissão maior de folhas novas, mas o acúmulo só vai ocorrer após a folha exercer a sua função que é de fonte, portanto, no início a folha cresce, para depois acumular. Também merece destacar que considerando o que foi apresentado antes em relação ao número de ramos, praticamente constante dos 100 aos 280 DAE, houve emissão de novas folhas, não só em substituição daquelas que senesceram e caíram, mas também aquelas presentes nos ramos novos. O mesmo pode ser aplicado para os ramos, no caso os novos, pois embora esses estivessem presentes, mas não tinham ainda capacidade de apresentar acúmulo, pois podem ser classificados como ramos ainda não maduros. Essas duas estruturas, quando não ainda maduras, podem se comportar como estruturas não eficientemente capazes de acumular nutrientes, no caso N.

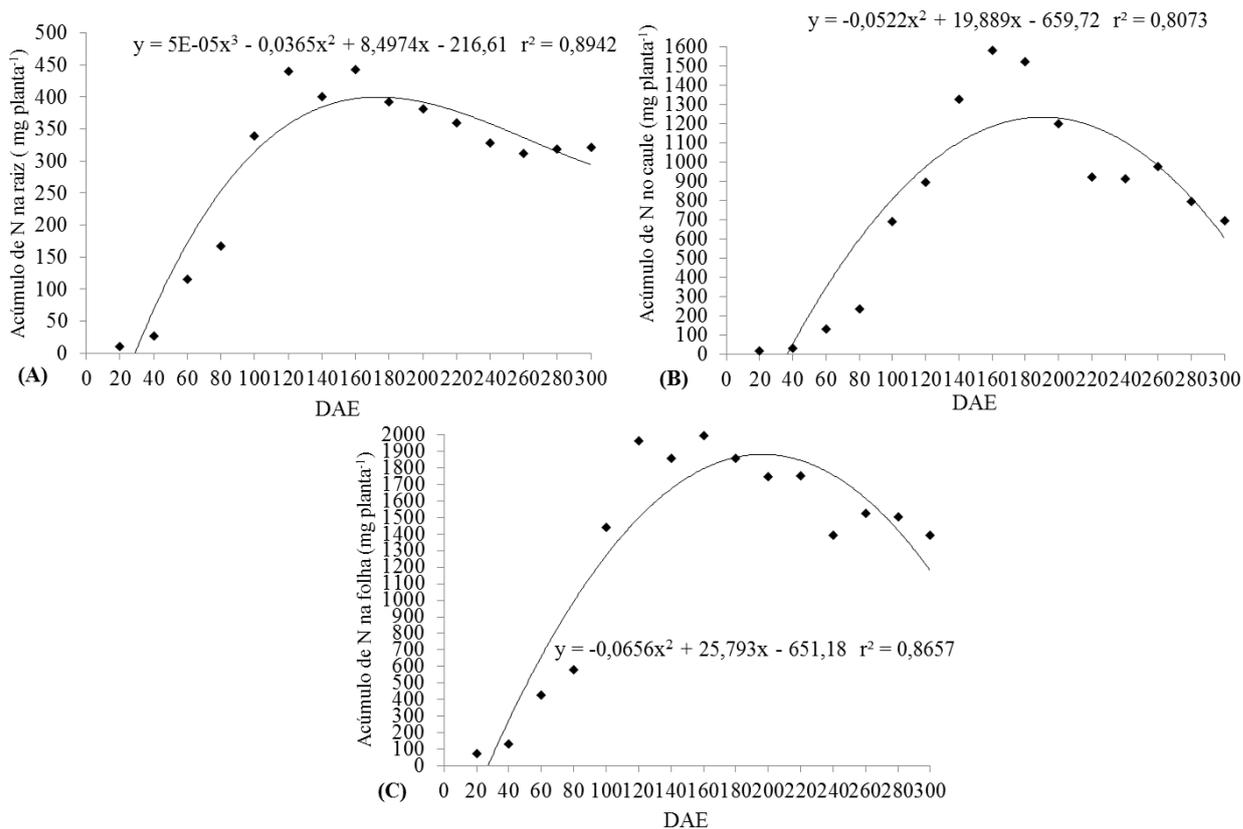


Figura 1. Acúmulo de N nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

Para o P ocorreu maior acúmulo na folha, seguido pelo caule e o menor ocorreu na raiz (Figuras 2C, 2B e 2A). O P também apresentou um acréscimo inicial rápido no acúmulo, alcançando os valores máximos em torno de 160 DAE para raiz e caule, mas na folha foi mais cedo, em torno de 120 DAE. O acúmulo de P em números não ultrapassou 30,0 mg nas raízes, enquanto caules e folhas foram respectivamente 80,0 e 100,0 mg. O trabalho de Balta-Crisólogo et al. (2015), constatou que o P de modo geral foi o elemento que menos acumulou na sachá-inchi. O P é elemento de difícil absorção pelas raízes, e nos tecidos dos vegetais ele quase sempre não está entre os mais acúmulos como constatou Pegoraro et al. (2014) na cultura do mamoeiro. P é um elemento de pouca mobilidade pois outros elementos presentes no solo conseguem indisponibilizar o P, isso principalmente para os solos tropicais, pois Al é imobilizador e em grande quantidade apresentam essa ação (PRADO, 2021). Esse menor acúmulo nas raízes está relacionado ao fato de que foram essas estruturas que menos

contribuíram para a massa seca total da planta. Também observa-se que nas folhas o decréscimo no acúmulo foi menos acentuado, não apresentando queda brusca nas últimas avaliações, ou seja, mesmo ao final das avaliações em que muitas folhas estavam ainda novas (Figura 2C), essas já apresentavam uma capacidade maior de acúmulo de P.

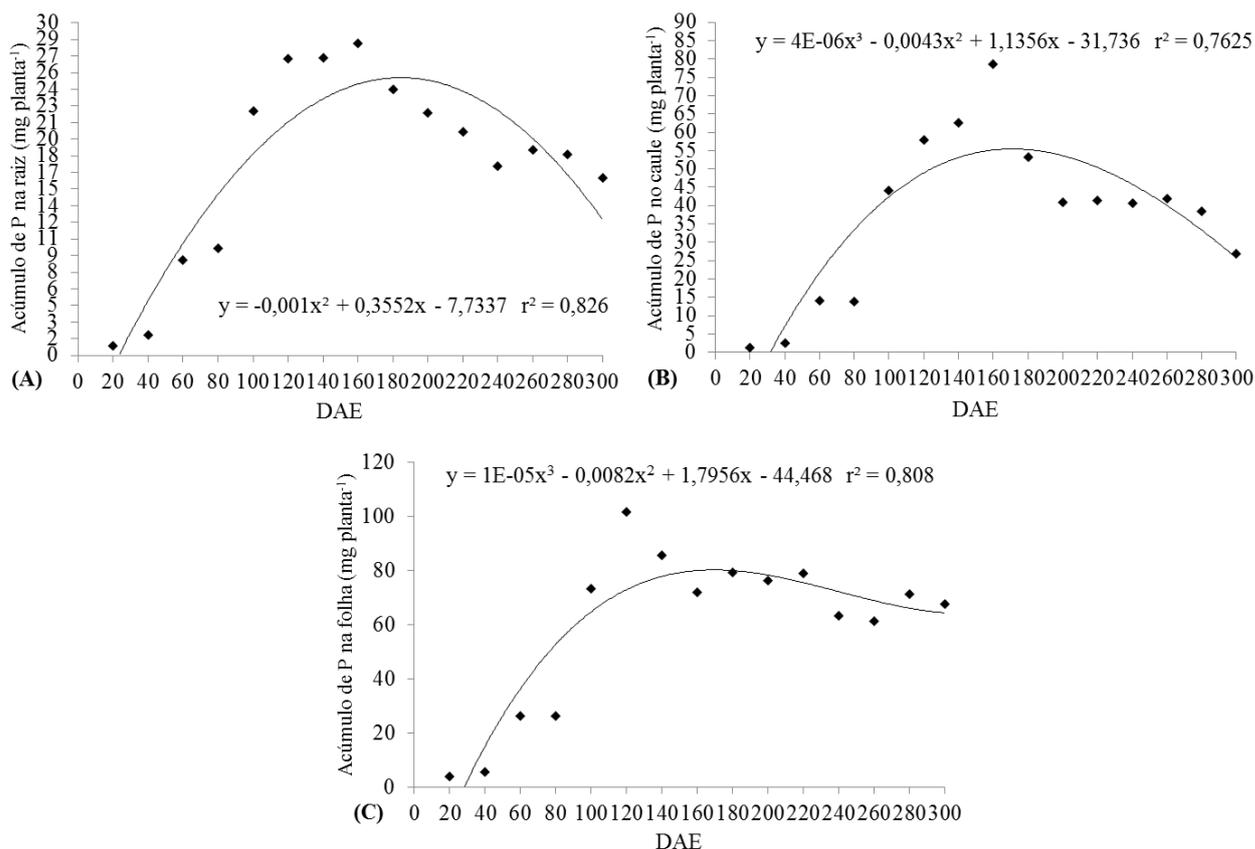


Figura 2. Acúmulo de P nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

O potássio apresentou maior acúmulo nos caules e folhas, enquanto menor acúmulo foi observado para as raízes (Figura 3C, 3B e 3A). O K segundo elemento que mais acumulou na cultura da sachá-inchi de acordo com BALTA-CRISÓLOGO et al (2015). Podemos observar que os valores máximos alcançados foram 1.800,00 mg planta⁻¹ para folha, 1.600 mg planta⁻¹ para caule e 320 mg planta⁻¹ para raízes, aos 180, 160 e 140 DAE, respectivamente. Nas raízes não houve acréscimo significativo no acúmulo de K nas duas primeiras avaliações (20 e 40 DAE), mas para a terceira avaliação novamente não houve acúmulo significativo, mas da quarta

avaliação (80 DAE), até a quinta avaliação (100 DAE), foi verificado aumento de praticamente 200 mg, não apresentando esse comportamento nas avaliações seguintes, pelo contrário, a partir de 140 DAE já é verificado decréscimo no acúmulo, permanecendo assim até o final das avaliações. Para caules e folhas não houve esse comportamento expressivo de acúmulo ao longo das avaliações, tendo apresentado um acúmulo mais regular, ou seja, até os 260 DAE e 220 DAE, respectivamente. A partir dessa idade da planta já há um decréscimo no acúmulo de K.

Esses resultados sugerem que o K pode ter sido exportado para os frutos. Geralmente o K é o elemento mais exportado pelo órgão frutos e/ou sementes como mostra os trabalhos de Vieira et al. (2018) para cultura do algodão e Zobiole et al. (2010) para a cultura do girassol.

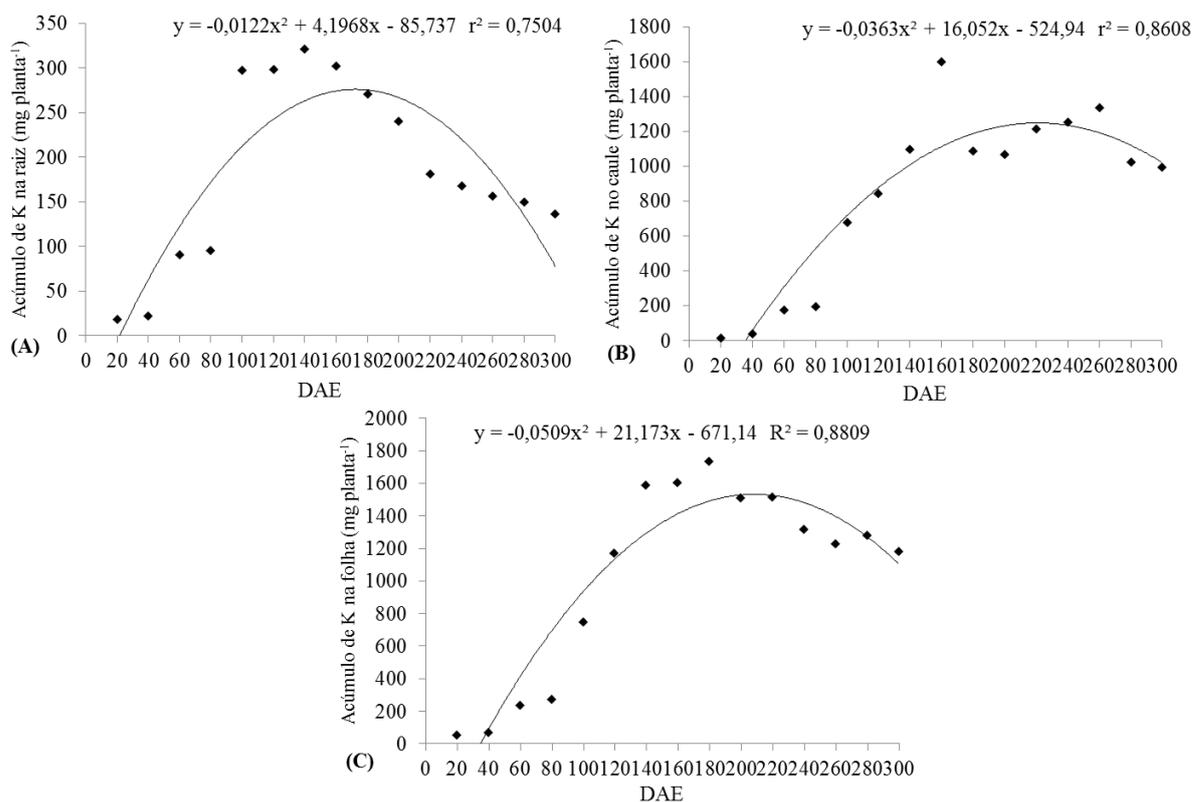


Figura 3. Acúmulo de K nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

Diferentemente dos demais nutrientes apresentados até aqui, já é notável a diferença no acúmulo de Ca para caule e folha (Figuras 4B e 4C), ou seja, não há decréscimo no acúmulo, mesmo com o avanço na idade da planta, e mesmo esta tendo apresentado as fases vegetativa e

reprodutiva. As raízes embora tenham apresentado aumento na matéria seca, até os 120 DAE e permanecido praticamente sem acúmulo de matéria seca até os 260 DAE, o acúmulo de Ca só foi crescente até os 160 DAE, decrescendo então até o final das avaliações.

Ca é um elemento de pouca mobilidade após ser absorvido pela planta. Então mesmo sendo essa característica um ponto importante, então esse acúmulo crescente deve ser compreendido mais pelo crescimento de massa seca de caules e folhas.

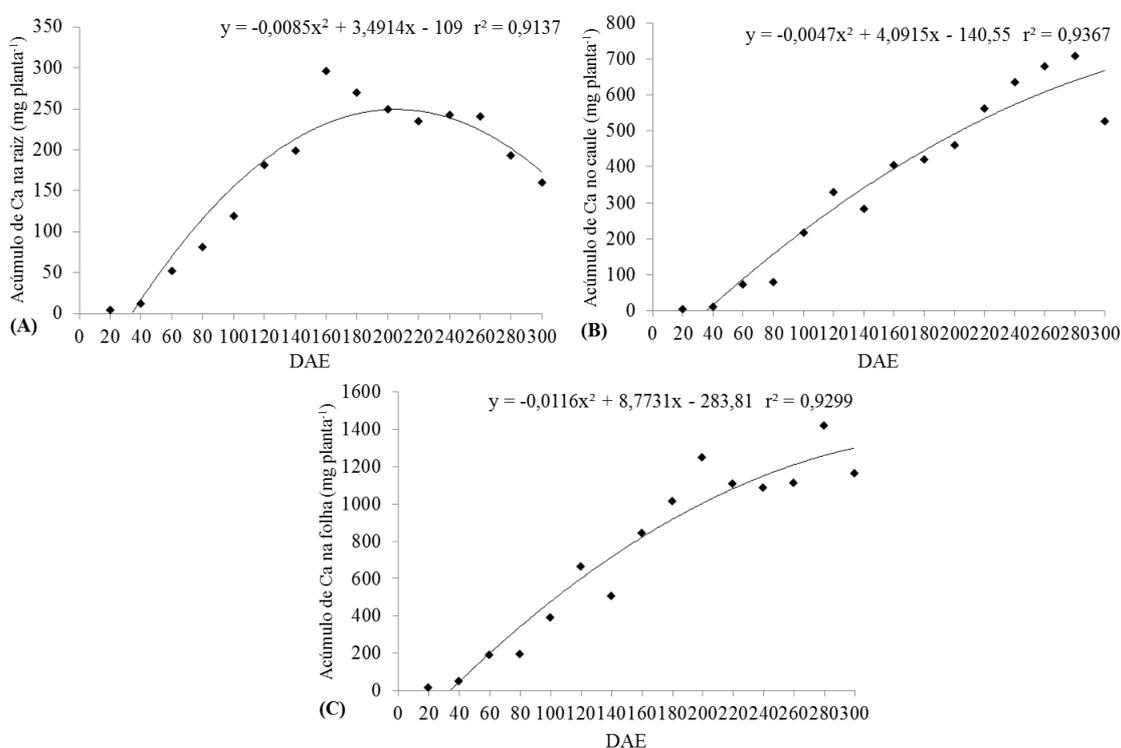


Figura 4. Acúmulo de Ca nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

Outro macronutriente estudado foi o Mg, considerado secundário, elemento importante para o crescimento e produção dos vegetais, pois participa ativamente de diversos processos metabólicos e outras funções essenciais para o crescimento e produtividade das lavouras. Essas afirmações dizem respeito ao fato de que o Mg se encontra como constituinte da clorofila, pois em torno de 25,0 % do magnésio total está ligado ao principal pigmento fotossintético da planta (HAWKESFORD et al., 2012). A maior expressão numérica de Mg foi verificada nas folhas,

cujo acúmulo chegou a 300,0 g planta, aos 220 DAE. Para raízes e caules o acúmulo ficou em 100,0 e 140,0 g planta⁻¹. Isso está de acordo com o que foi afirmado por Hawkesford et al. (2012).

Outro aspecto a ser considerado é que o acúmulo nas folhas ao longo do tempo foi decrescendo em um ritmo bem menor, comparado às raízes e caules, pois apresenta curva descendente a partir de 260 DAE, enquanto nas folhas praticamente somente na última avaliação. Também merece ser ressaltado que enquanto raízes e caules ao final do estudo apresentaram valores para acúmulo em torno de 70,0 mg planta, nas folhas o valor final foi de 180,0 mg planta, demonstrando a capacidade das folhas de manter esse acúmulo, possivelmente porque mesmo no final do estudo, novas folhas, embora não maduras na sua totalidade, precisam de clorofila para a fotossíntese e conseqüentemente produção de energia - ATP – para manutenção do organismo vivo.

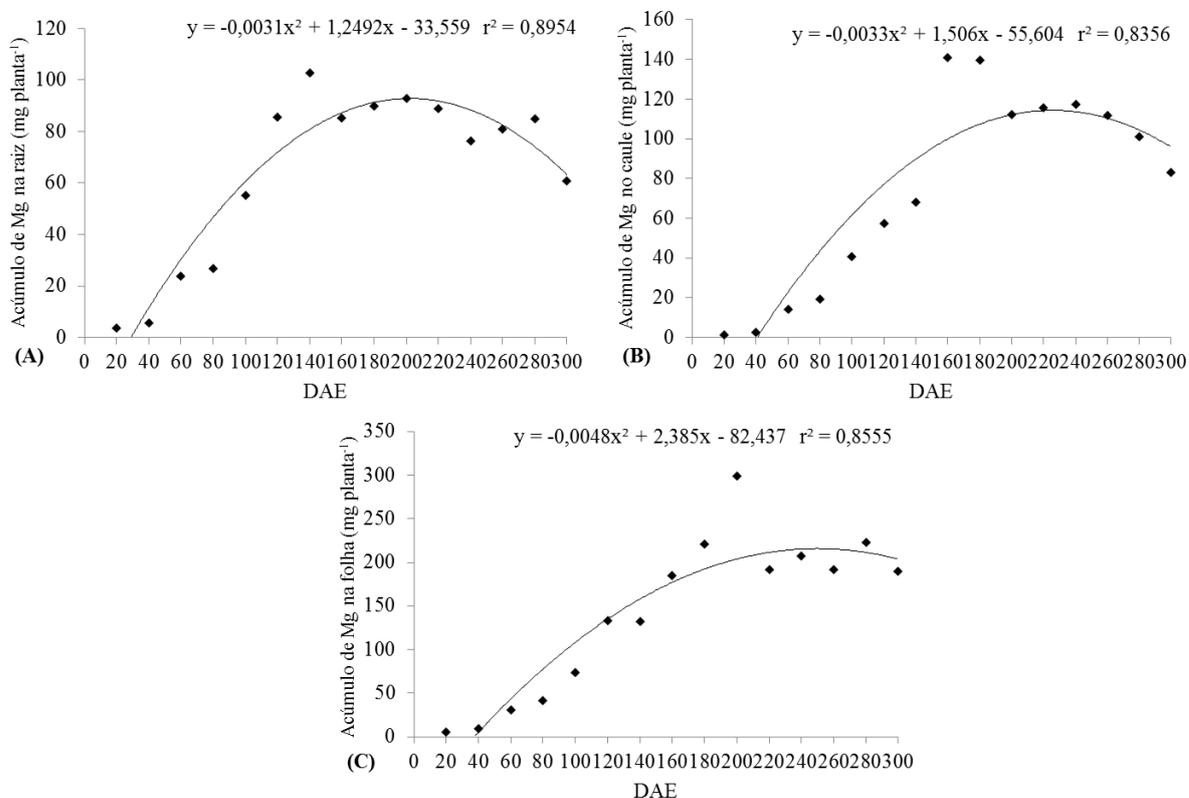


Figura 5. Acúmulo de Mg nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

O Cobre, primeiro micronutriente estudado na sachá-inchi, nas condições desse estudo, apresentou acúmulo da ordem de 0,6 mg planta, sendo esse o maior valor para raízes, aos 260 DAE. Para caules e raízes os valores foram 1,00 e 0,75 mg planta, respectivamente, aos 180 e 240 DAE. Também merece destacar que nas folhas não houve decréscimo no acúmulo de Cu, enquanto nos demais órgãos estudados isso ocorre até o final do estudo da planta.

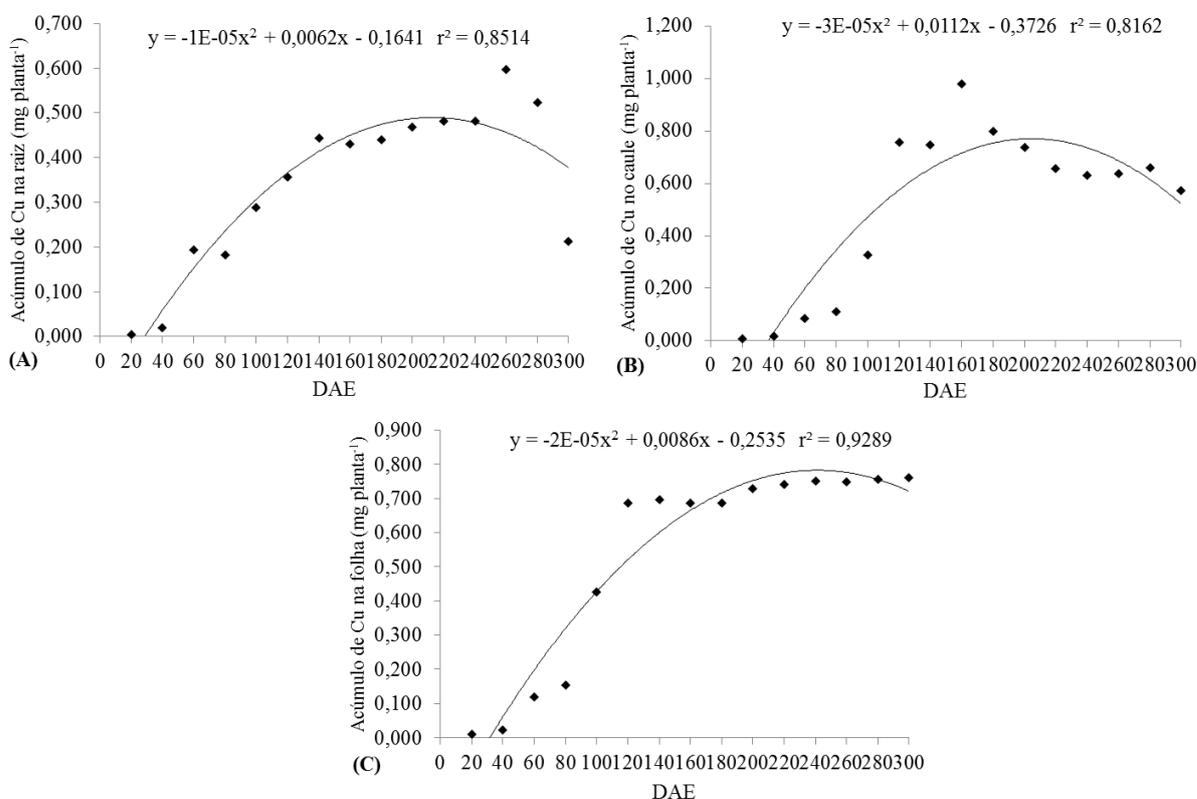


Figura 6. Acúmulo de Cu nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

O Ferro é um elemento presente em grande quantidade em Latossolo Amarelo, embora pode ficar indisponível, pois apresenta-se, originalmente, na estrutura dos minerais primários e, após sofrer oxidação, precipitasse como oxihidróxidos de baixa solubilidade, tornando-se pouco disponível às plantas (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989; GUERINOT e YI, 1994; KÄMPF e CURI, 2000). O maior acúmulo de Fe em sachá-inchi foi nas raízes, com até 40 mg planta aos 160 DAE, enquanto os máximos valores foram de 7,0 mg planta para caules –

praticamente 6 vezes mais – e 30,0 mg planta para folhas. Nas raízes e caules o acréscimo no acúmulo de Fe ocorreu até a metade do estudo, decrescendo então até o final das avaliações. Nas folhas, interessante observar a permanência desse acúmulo, até os 260 DAE. Adicionalmente, diferente dos macros, os nutrientes são pouco exportados nos órgãos frutos e/ou sementes (PEGORARO et al., 2014; VIEIRA et al., 2018).

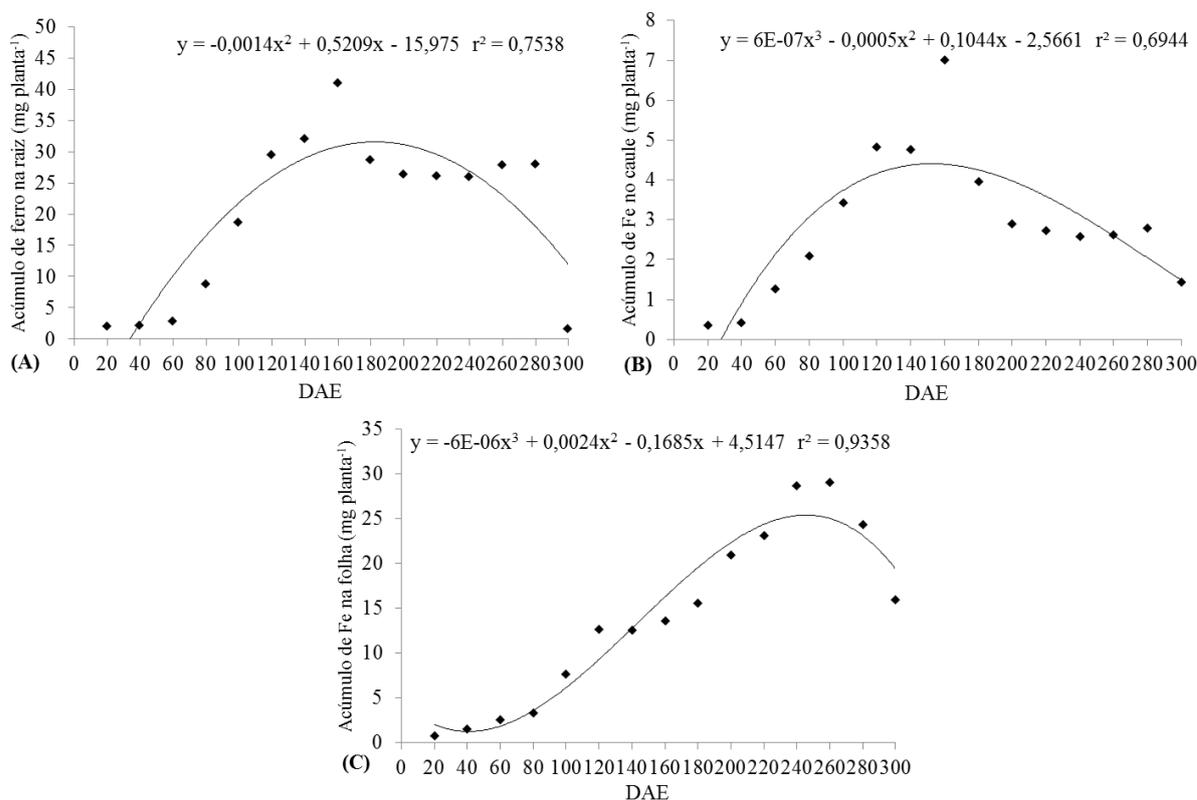


Figura 7. Acúmulo de Fe nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

O acúmulo de Mn na raiz se deu de forma quadrática, cujo valor máximo foi encontrado aos 160 DAE com 4,5 mg planta⁻¹. No caule e folhas, o Mn apresentou um comportamento crescente, porém a resposta em função do tempo de cultivo se adequou melhor ao modelo quadrático de regressão, tanto para caule, quanto para as folhas.

Observa-se que a redução do acúmulo de Mn na raiz pode indicar a mobilização deste elemento para a parte aérea, principalmente a partir dos 100 DAE, o qual há um aumento do acúmulo no caule e nas folhas, para ser direcionado à produção de inflorescências e dos frutos.

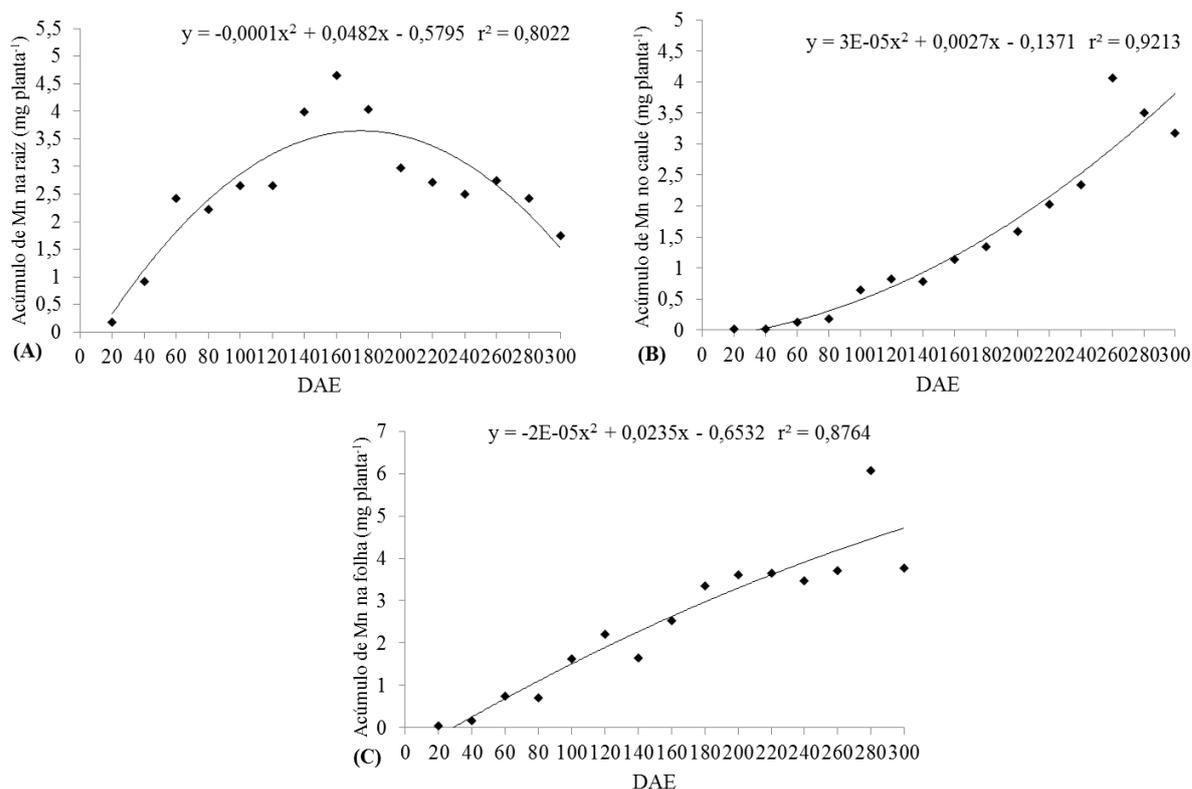


Figura 8. Acúmulo de Mn nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

De forma semelhante ao Mn, o Zn também apresentou comportamento quadrático quanto a seu acúmulo na raiz, cujo maior acúmulo aconteceu em torno de 250 DAE, com aproximadamente 5,0 mg planta⁻¹. Este elemento no caule e nas folhas apresentou acúmulo linear, sendo seus maiores valores de acúmulos encontrados aos 300 DAE para ambas as partes. O decréscimo no acúmulo de Zn nas raízes indica que há uma mobilização para a parte aérea da planta, principalmente para os frutos, considerando a quantidade de matéria seca produzida pelos frutos.

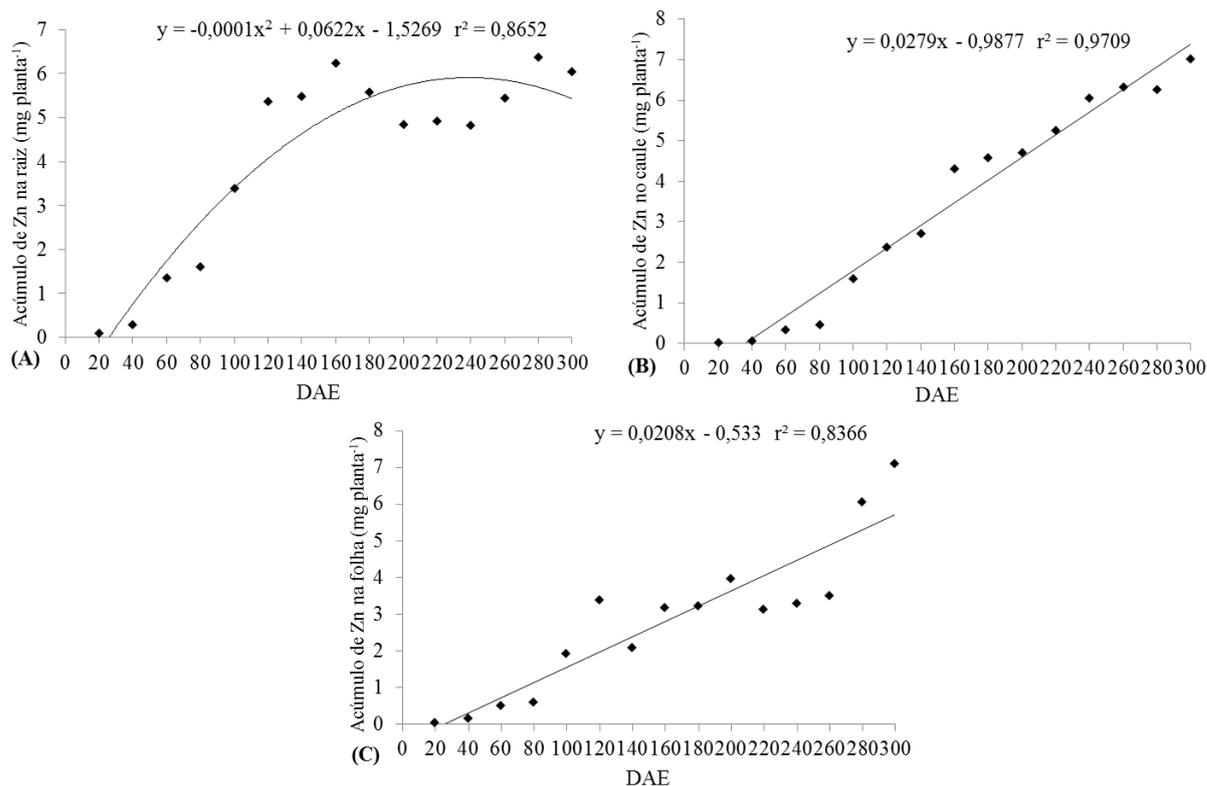


Figura 9. Acúmulo de Zn nas raízes (A), caules (B) e folhas (C) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

O maior acúmulo de nutrientes foi encontrado para N e K na inflorescência de sachá-inchi, os quais apresentaram uma diferença 9,0 mg planta⁻¹, sendo maior para N. O Ca foi o terceiro elemento mais acumulado nas inflorescências, sendo o Mg e o P os elementos seguintes em maior acúmulo, cuja diferença entre eles foi de aproximadamente um miligrama por planta. Dentre os micronutrientes, o Fe foi o elemento que apresentou maior acúmulo nas inflorescências, seguido pelo Zn, Mn e Cu (**Tabela 2**). Desta forma a inflorescência apresentou a seguinte série liotrófica de acúmulo de nutrientes N>K>Ca>Mg>P>Fe>Zn>Mn>Cu.

Em relação aos frutos de Sacha-inchi, o K foi o elemento de maior acúmulo, seguido pelo N. O potássio tem um papel fundamental na sinalização enzimática nas sementes no momento da germinação e adicionalmente é o elemento mais relacionado à qualidade e enchimento dos frutos. Isso talvez, explique esse acúmulo observado neste trabalho. De forma semelhante à inflorescência, os frutos de sachá-inchi apresentaram o terceiro maior acúmulo

nutricional para o Ca, seguido pelo P e Mg, no qual se observa uma inversão na preferência de acúmulo destes dois macronutrientes em relação à análise da inflorescência. Para os acúmulos de micronutrientes, os elementos seguiram o mesmo padrão observado para as inflorescências, sendo o maior acúmulo de Fe seguido pelo Zn, Mn e Cu. Desta forma a série liotrófica para acúmulo de nutrientes em frutos de sacha-inchi foi K>N>Ca>P>Mg>Fe>Zn>Mn>Cu.

Tabela 2. Acúmulo médio de nutrientes em inflorescência e em frutos de sacha-inchi em casa de vegetação em Manaus-AM.

Nutrientes	Inflorescência (100 a 160 DAE)	Frutos (180 a 300 DAE)
	11 coletas - média de 161,04 g planta ⁻¹	8 coletas - média de 225 g planta ⁻¹
	----- mg planta ⁻¹ -----	
N	312,29	1.573,25
P	26,23	110,33
K	303,44	2.029,41
Ca	130,44	336,49
Mg	27,54	106,44
Cu	0,16	0,75
Fe	2,01	5,82
Mn	0,26	1,29
Zn	0,62	3,64

O acúmulo total de nutrientes na planta demonstrou que N, de forma esperada, apresentou acúmulo crescente até os 160 DAE. A partir dessa idade houve um decréscimo até os 260 DAE. Importante mencionar que nas duas últimas avaliações, embora de forma discreta, houve um aumento.

A matéria seca de folhas também nessas duas avaliações se comportou de forma semelhante, pois houve emissão de folhas novas, embora ainda não maduras, mas que apresentaram N na sua estrutura e conseqüentemente acúmulo. Os demais macronutrientes apresentaram comportamento crescente, ao longo do crescimento da planta, sendo no K o maior acúmulo registrado, mas com a planta já na sua fase reprodutiva. Os micronutrientes apresentaram aumento em seus valores de acúmulo, com exceção de Fe.

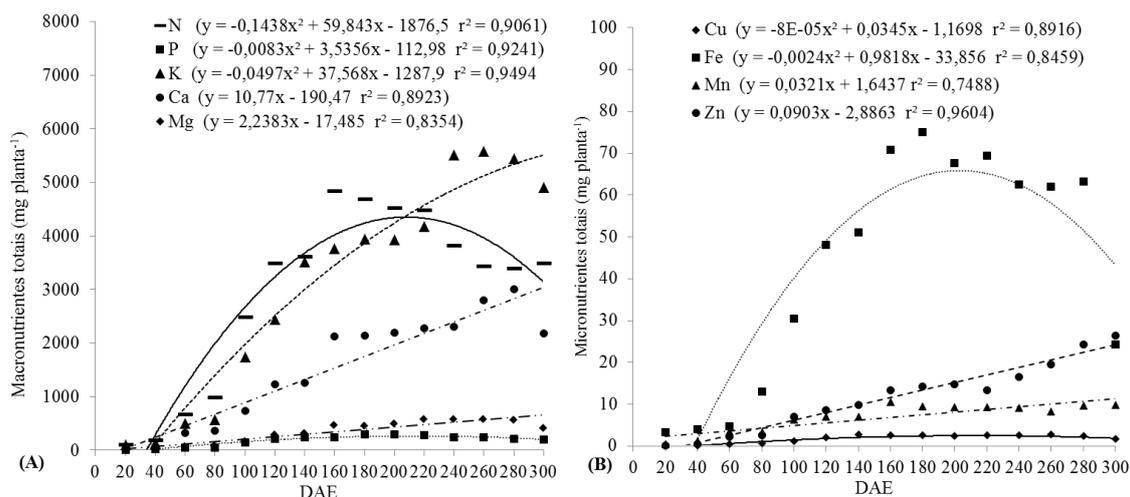


Figura 10. Macronutrientes (A) e micronutrientes totais (B) de plantas de sachá-inchi cultivadas em casa de vegetação em Manaus, AM.

Podemos observar que para macronutrientes os maiores acúmulos totais tendem a aumentar até 200 DAE nas condições de Manaus. Balta-Crisólogo et al. (2015) observaram que os maiores acúmulos ocorreram até 225 DAE, enquanto para os micronutrientes totais observaram um pequeno aumento ao longo das fenofases da cultura da sachá-inchi.

7.4. Conclusões.

Durante a fase vegetativa os elementos de maior acúmulo foram N>K>Ca>Mg>P>Fe>Zn>Mn e Cu apresentando comportamento crescente na planta e sendo o maior valor acumulado encontrado nas folhas. Na fase reprodutiva os elementos mais acumulados seguiram a seguinte ordem K>N>Ca>Mg>P>Fe>Zn>Mn e Cu. O K apresentou maior teor devido à quantidade deste elemento encontrado na matéria seca dos frutos.

Diante dos resultados, o fornecimento de N é essencial para o crescimento no período vegetativo da sachá-inchi, sendo esta espécie mais exigente em K no período de reprodução, sendo recomendada aumento da dose de K no período que antecede ao florescimento da espécie.

7.5. Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAUJO-DAIRIKI, T. B.; CHAVES, F. C. M.; DAIRIKI, J. K. Seeds of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*, Euphorbiaceae) as a feed ingredient for juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, and matrinxã, *Brycon amazonicus* (Characidae). **Acta Amazonica**, v. 48, p. 32-37, 2018.

BALTA-CRISÓLOGO, R. A.; RODRÍGUEZ-DEL CASTILLO, Á. M.; GUERRERO-ABAD, R.; CACHIQUE, D., EDÍN, A. P.; ARÉVALO-LÓPEZ, L.; OSCAR, L. O. L. I. Absorción y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en suelos ácidos, San Martín, Perú. *Folia Amazónica*, 24(2), 23-30.2015.

BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Springer, 2018.

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytologist**, 173(4), 677-702. 2007.

CAI, Z. Q.; JIAO, D. Y.; TANG, S. X.; DAO, X. S.; LEI, Y. B.; CAI, C. T. Leaf photosynthesis, growth, and seed chemicals of sacha-inchi plants cultivated along an altitude gradient. **Crop Science**, v. 52, n. 4, p. 1859-1867, 2012.

CHIRINOS, R.; PEDRESCHI, R.; DOMÍNGUEZ, G.; CAMPOS, D. Comparison of the physico-chemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species. **Food Chemistry**, 173, 1203-1206. 2015.

CHOI, W. G.; HILLEARY, R.; SWANSON, S. J.; KIM, S. H.; GILROY, S. Rapid, long-distance electrical and calcium signaling in plants. **Annual Review of Plant Biology**, 67, 287-307. 2016.

Da SILVA, P. S., de SOUZA, C. D. R.; CHAVES, F. (2021). Avaliação do potencial energético dos resíduos da Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivada no Amazonas. In Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em anais de congresso (*ALICE*). In: WEB ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA QUIMÍCA, 1., 2021. Anais... Recife: Even3, 2021.

DIAS, J. L. L. **Maturação e qualidade fisiológica de sementes de sachá-inchi (*Plukenetia Volubilis* L.)**.75 F. Dissertação (Dissertação em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

DISTELFELD, A.; AVNI, R.; FISCHER, A. M. Senescence, nutrient remobilization, and yield in wheat and barley. **Journal of Experimental botany**, 65(14), 3783-3798. 2014.

GILLESPIE, L. J. Pollen morphology and phylogeny of the Tribe Plukenetieae (Euphorbiaceae). **Ann. Mol. Bot. Gard.** 81(2):317–348. 1994.

GOYAL, A.; TANWAR, B.; SIHAG, M. K.; SHARMA, V. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): An emerging source of nutrients, omega-3 fatty acid and phytochemicals." **Food Chemistry** 373, 131459.2022.

GUTIÉRREZ, L. F.; ROSADA, L. M.; JIMÉNEZ, Á. Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. **Grasas y Aceites**, v. 62, n. 1, p. 76-83, 2011.

GUERINOT, M. L.; YI, Y. Iron: nutritious, noxious, and not readily available. **Plant Physiology**, 104(3), 815. 1994.

HAMAKER, B.; VALLES, C.; GILMAN, R. Amino acid and fatty Acid profiles of the inca peanut (*Plukenetia volubilis*). **Cereal Chemistry**, 6: 461-465. 1992.

HILL, J. The remobilization of nutrients from leaves. **Journal of Plant Nutrition**, v. 2, n. 4, p. 407-444, 1980.

KODAHL, N. Sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.) — from lost crop of the Incas to part of the solution to global challenges?. **Planta**, v. 251, n. 4, p. 1-22, 2020.

LONERAGAN, J. F.; SNOWBALL, K.; ROBSON, A. D. Remobilization of nutrients and its significance in plant nutrition. **Transport and Transfer Processes in Plants**, 463-469. 1976.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. **magnesium**. In Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. (p. 165-171). 2012.

MAILLARD, A.; DIQUÉLOU, S.; BILLARD, V.; LAÎNÉ, P.; GARNICA, M.; PRUDENT, M.; OURRY, A. Leaf mineral nutrient remobilization during leaf senescence and modulation by nutrient deficiency. **Frontiers in Plant Science**, 6, 317.2015.

MILLA, R., CASTRO-DÍEZ, P., MAESTRO-MARTÍNEZ, M., MONTSERRAT-MARTÍ, G. Relationships between phenology and the remobilization of nitrogen, phosphorus and potassium in branches of eight Mediterranean evergreens. **New Phytologist**, 168(1), 167-178.2005.

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

PRADO, R. M. **Mineral nutrition of tropical plants**. Springer, 2021.

PEGORARO, R. F.; SOUZA, B. A. M. D.; MAIA, V. M.; SILVA, D. F. D.; MEDEIROS, A. C.; SAMPAIO, R. A. Macronutrient uptake, accumulation and export by the irrigated vitória pineapple plant. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38, 896-904.2014.

RODRIGUES, P. H. V.; BORDIGNON, S. V.; AMBROSANO, G. M. B. Desempenho horticultural de plantas propagadas in vitro de Sacha inchi. *Ciência Rural* (versão online), v. 44, n. 6, p. 1050-1053. 2014.

RODRIGUES, H. S.; BOREM, A.; VALENTE, M. S. F.; LOPES, M. T. G.; CRUZ, C. D., CHAVES, F. C. M.; BEZERRA, C. D. S. Genetic diversity among accessions of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) by phenotypic characteristics analysis. **Acta Amazonica**, 48, 93-97.2018.

SANTOS, R.D; LEMOS, R.C; SANTOS, H.G; KER, J.C; ANJOS, L.H.C; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2015.

SOUZA, S. R. Absorção e metabolismo de nitrogênio em plantas. In: Fátima Maria de Souza Moreira; Maria Catarina Migumi Kasuya. (Org.). Fertilidade e biologia dos solos. Integração e Tecnologia para Todos. 1ed.Viçosa-MG: SBCS, v. 2, p. 87-112. 2017.

SCHWERTMANN, U. T. R. M.; TAYLOR, R. M. Iron oxides. **Minerals in Soil Environments**. 1, 379-438.1989.

THOR, K. Calcium — nutrient and messenger. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 440, 2019.

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.

VIEIRA, J. L. V., NARDI, K. T., SILVA, G. R. A., MOREIRA, L. A., ZAVASCHI, E., MOURA, T. A., OTTO, R. Nutrient uptake by high-yielding cotton crop in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42. 2018.

YANTI, S.; AGRAWAL, D. C.; SAPUTRI, D. S.; LIN, H. Y., & CHIEN, W. J. "nutritional comparison of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) residue with edible seeds and nuts in Taiwan: a chromatographic and spectroscopic study." **International Journal of Food Science**, 2022.

ZOBIOLE, L. H. S., CASTRO, C. D., OLIVEIRA, F. A. D., OLIVEIRA JUNIOR, A. D. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34, 425-434.2010.

8. Conclusões gerais

Nas condições deste estudo a fenofase vegetativa durou 77 dias. A fenofase reprodutiva é de 78 dias ou 136 dias após a emergência nas condições do município de Manaus no estado do Amazonas.

Na fenofase vegetativa os elementos de maiores acúmulos foram N>K>Ca>Mg>P>Fe>Zn>Mn e Cu apresentando comportamento crescente na planta e sendo o maior valor acumulado encontrado nas folhas. Na fenofase reprodutiva os elementos mais acumulados seguiram a seguinte ordem K>N>Ca>Mg>P>Fe>Zn>Mn e Cu.