

SEBASTIÁN GIRALDO MONTOYA

**CARACTERIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO FRUTO
DA PALMEIRA MACAÚBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

G516c
2013 Giraldo Montoya, Sebastián, 1987-
Caracterização do desenvolvimento do fruto da palmeira macaúba /
Sebastián Giraldo Montoya. - Viçosa, MG, 2013.
ix, 51 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.41-44.

1. Macaúba - Desenvolvimento. 2. Macaúba - Fenologia. 3. Amido.
4. Açúcar. 5. Óleos vegetais. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Program de Pós-Graduação em Fitotecnia.
II. Título.

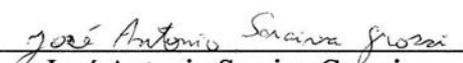
CDD 22. ed. 584.5

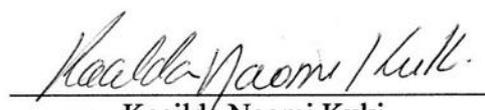
SEBASTIÁN GIRALDO MONTOYA

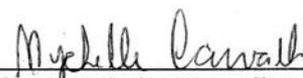
**CARACTERIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO FRUTO
DA PALMEIRA MACAÚBA**

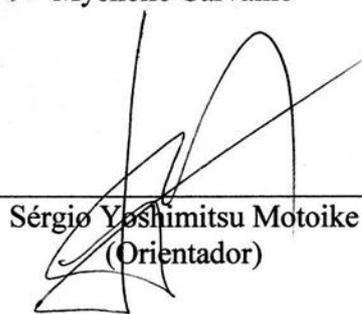
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de julho de 2013.


José Antonio Saraiva Grossi
(Coorientador)


Kacilda Naomi Kuki
(Coorientadora)


Mychelle Carvalho


Sérgio Yoshimitsu Motoike
(Orientador)

Aos meus pais **Rafael A. Giraldo Velásquez e Sara B. Montoya Jaramillo** pela vida, pelo amor, pelo carinho e pelo apoio financeiro tornando tudo isto possível.

A minha irmã **Catalina Giraldo Montoya** pelo exemplo de vida, pelos conselhos, pelo apoio e pelo incentivo tanto pessoal quanto profissional.

As minhas irmãs Brasileiras **Nívia Aniele Oliveira e Monique Oliveira** pelo carinho, pela amizade, pela ajuda, pela hospitalidade, pela paciência e principalmente por me permitirem fazer parte da linda família **Oliveira**.

A minha mãe Brasileira **Clenda Oliveira da Silva** pelo apoio, pelo carinho, pelo amor e pela ajuda incondicional, permitindo me tornar um Brasileiro de coração.

As famílias **Giraldo Velásquez e Montoya Jaramillo** pelo amor, pelo apoio e pelos conselhos.

Ao meu primo-irmão **Juan Rafael Giraldo Velásquez** pela amizade, pelo carinho e pela parceria incondicional.

A família **Giraldo Sanchez** pelo apoio e carinho.

Ao meu tio **Juan José Giraldo Velásquez**, Agrônomo de coração, pelo carinho, pelo incentivo e pelos inúmeros debates agronômicos.

Aos meus avós **Francisco Montoya, Emperatriz Jaramillo, Gabriela Velásquez e Rafael Giraldo** pelo exemplo de vida e sabedoria.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Sérgio Y. Motoike pela oportunidade, pelo apoio, ensinamentos e principalmente, por confiar no meu trabalho.

A pesquisadora Dra. Kacilda Naomi Kuki pela disponibilidade incondicional, pelas sugestões, pela orientação e pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Carlos Nick pelo apoio, pelos conselhos, pela amizade, pelo incentivo e pelo amor à vida acadêmica.

A Dra. Fabiana Souza pela ajuda incondicional, pelos conselhos e pela amizade.

A doutoranda Manuela C. Granja pelo amor, pela paciência e pelo carinho que possibilitaram manter a tranquilidade nas etapas finais e mais complicadas do meu mestrado.

Aos doutorandos Adalvan Martins e Neia Lopes pelo companheirismo, pela ajuda em todas as etapas deste trabalho e principalmente pela amizade.

A doutoranda Isabela C. Gomes Honório pelo apoio, pelos conselhos e pela amizade.

Ao grupo REMAPE pela ajuda, pelas críticas e pelas sugestões ao longo do desenvolvimento deste estudo.

A Universidad Nacional de Colômbia (UNAL) Sede de Medellín, a Universidad de Buenos Aires (UBA) Argentina e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) pelo aprendizado e pela oportunidade de crescer pessoal e profissionalmente.

A CAPES pelo apoio financeiro.

A PETROBRAS pelo apoio financeiro e pela oportunidade de participar no projeto da exploração da macaúba.

BIOGRAFIA

Sebastián Giraldo Montoya, filho de Rafael Ant3nio Giraldo Vel3squez e Sara Beatriz Montoya Jaramillo, irm3o de Catalina Giraldo Montoya, nasceu em 15 de julho de 1987 em Medell3n, Ant3quia Col3mbia. Ingressou, em 2005, no curso de Engenharia Agron3mica da Universidad Nacional da Col3mbia (UNAL) sede de Medell3n, graduando-se Engenheiro Agr3nomo em janeiro de 2011. Em 2010, trabalhou na empresa Flores de la Vega S.A. em Rionegro-Ant3quia Col3mbia. Realizou intercambio acad3mico na Universidad de Buenos Aires (UBA) Argentina no primeiro semestre de 2010. Em Agosto de 2011, iniciou o mestrado em Produ3o Vegetal pelo Programa de P3s-gradua3o em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), submetendo-se à defesa da disserta3o em 22 de julho de 2013.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	3
3.1. Padronização e marcação dos cachos avaliados.....	3
3.2. Local de coleta e material vegetal.....	5
3.3. Determinação alométrica e crescimento dos frutos de Macaúba	7
3.4 Análises química.....	9
3.4.1 Teor de óleo do mesocarpo	9
3.4.2 Determinação de açúcares e amido do mesocarpo.....	10
3.4.3 Quantificação dos Açúcares Solúveis Totais (AST).....	10
3.4.4 Quantificação de Açúcares Redutores (AR)	10
3.4.5 Quantificação de Açúcares Não Redutores (ANR).....	11
3.4.6 Extração e quantificação de amido	11
3.5 Análises estatísticas	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5. CONCLUSÕES	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
ANEXO I	45
ANEXO II.....	48
ANEXO III.....	51

RESUMO

MONTOYA, Sebastián Giraldo, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Caracterização do desenvolvimento do fruto da palmeira macaúba.** Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike Coorientadores: Kacilda Naomi Kuki e José Antonio Saraiva Grossi.

A Macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira nativa das regiões neotropicais e comumente habita áreas abertas e com alta incidência solar. Apesar de ser encontrada em regiões com solos arenosos e baixo índice hídrico, desenvolve-se melhor em locais onde há solos férteis. *Acrocomia aculeata* é considerada uma planta rústica e promissora na extração e produção de óleo combustível. Os cachos estão constituídos de frutos globosos, do tipo drupa, constituídos por cerca de 20 % de epicarpo (casca), 40 % de mesocarpo (polpa), 33 % de endocarpo (tegumento) e 7 % de semente (amêndoa). Os teores de óleo são ligeiramente maiores na polpa (60 %), em relação à amêndoa (55 %). A frutificação da Macaúba é supra anual (acima de 12 meses), o amadurecimento dos frutos é lento e indetectável visualmente. O epicarpo é duro e muda de coloração aproximadamente às 14 semanas após antese (SAA) tornando difícil determinar o desenvolvimento e maturidade do fruto, o que é possível em outros frutos carnosos. A comercialização de produtos vegetais como os frutos, precisa de informações detalhadas que permitam estimar o grau de desenvolvimento do órgão, diferenciação dos tecidos, acúmulo de reservas e principalmente o ponto de colheita, o qual determinará a perecibilidade e período de armazenagem do produto. Em geral, todos os frutos carnosos apresentam um padrão de crescimento similar. Esse padrão de crescimento é descrito por um comportamento sigmoide simples, duplo e em alguns casos, triplo. A descrição desse padrão de crescimento, influencia diretamente em algumas práticas agronômicas como, irrigação, aplicação de reguladores de crescimento, controle fitossanitário e período crítico de colheita. Este estudo teve como objetivo caracterizar o padrão de crescimento das partes constituintes do fruto e o acúmulo de reservas como amido, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), açúcares não redutores (ANR) e óleo do mesocarpo de frutos de macaúba. O experimento foi realizado com plantas adultas de população nativa do município de Acaiaca, região Sudeste de Minas Gerais - Brasil, catalogado como clima subtropical úmido segundo a classificação climática de Koppen-Geiger: Cwa. Coletou-se um fruto por cacho uma semana após abertura da espata (SAAP) até a queda natural dos frutos às 62 SAA. Determinou-se a

abertura da espata com base em um padrão visual da antese da flor masculina, intervalo compreendido entre 12-24h horas após abertura da espata (HAAP). Para as análises estatísticas foram usados os valores médios das variáveis analisadas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados e para cada avaliação foi estimada a equação de regressão. O teor de água dos frutos atingiu um pico máximo de 87 % às 8 SAA, posteriormente sofreu queda gradual com valor mínimo de 23 % de teor de água às 58 SAA. Os padrões de crescimento do epicarpo, do endocarpo e da amêndoa foram descritos por um comportamento sigmoide simples (uma fase de acúmulo de matéria seca), e do mesocarpo por um comportamento sigmoide duplo (duas fases de acúmulo de matéria seca). Às 6 SAA foi possível separar fisicamente o epicarpo, o endocarpo e o mesocarpo o qual, neste estágio, estava constituído por: 25 % de amido, 10,5 % de AST, 9% de AR e 1,5 % de ANR. O acúmulo de óleo no mesocarpo teve um comportamento linear com 10 % de teor de óleo às 34 SAA e atingindo 55 % às 62 SAA. O acúmulo de óleo no mesocarpo esteve diretamente relacionado com a queda no teor de amido. O epicarpo e o endocarpo atingiram o maior acúmulo de massa seca às 13 SAA e 24 SAA, respectivamente. O fruto de macaúba alcançaram o diâmetro externo transversal (DET) máximo (45 mm) às 13 SAA mantendo esse valor constante até a última avaliação. Observou-se que os primeiros dois tecidos desenvolvidos foram o epicarpo e o endocarpo, consideradas estruturas de proteção do fruto e da semente, respectivamente. Após 13 SAA, iniciou-se o processo de amadurecimento do fruto, o qual foi separado em duas fases, física e química.

ABSTRACT

MONTOYA, Sebastián Giraldo, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2013. **Development characterization of the palm fruit macaúba.** Adviser: Sérgio Yoshimitsu Motoike Co-advisers: Kacilda Naomi Kuki and José Antonio Saraiva Grossi.

The Macaúba (*Acrocomia aculeata*) is an oil palm native from the neotropical regions and it is often found in open areas with high solar incidence. Despite being found in regions with sandy soils and a low hydric index, it develops better in locations where there are fertile soils. *Acrocomia aculeata* is considered a rustic plant and promissory in the extraction and production of combustible oil. The bunches are constituted by globular fruits, drupe type, composed by nearly 20 % epicarp (shell), 40 % mesocarp (pulp), 33 % endocarp (tegument) and 7 % seed (almond). The oil contents are slightly bigger in the pulp (60 %) than in the almond (55 %). The fructification of the Macaúba is supra annual (above 12 months), the fruits maturation is slow and visually undetectable. The epicarp is rigid and it changes its color approximately at 14 weeks after antese (WAA) turning development and fruit maturity really difficult to determine, what is possible to do in other fleshy fruits. Commercialization of plant products such as the fruits, it needs detailed information that allows to estimate the degree of organ development, tissues differentiation, reservoir accumulation and mainly the harvesting point, which will determine perishability and storing period of the product. Generally, all the fleshy fruits show a growing pattern similar. That growing pattern is described by a simple sigmoid behavior, double and sometimes, triples. The description of that growing pattern, influence directly in some agronomic practices such as, irrigation, application of growing regulators, phytosanitary control and critic period of harvesting. This study had as an objective characterize the growing pattern of the constituents parts of the fruit and the reservoir accumulation such as amides, total soluble sugars, (TSS), reducing sugars (RS), no reducing sugars (NRS) and mesocarp oil of the macaúba fruit. The experiment was carried on with adult plants of the native population from the Acaiaca municipality, in the southeast of Minas Gerais – Brazil, cataloged as subtropical humid weather according to the climatic classification made by Koppen-Geiger: Cwa. One fruit per bunch was collected one week after the opening of the espata (SAAP) until the natural fall of the fruits at 62 WAA. The opening of the espata was determined based on a visual pattern of the antese of the masculine flower,

with an interval between 12-24 hours after opening of the espata (HAAP). For the statistic analyses, the averages of the analyzed variables were used. The experimental design was randomized blocks and for every evaluation a regression equation was estimated. The water content of the fruits reached a maximum pick of 87 % at 8 SAA, posteriorly, it suffered a gradual fall with a minimum value of 23 % of water content at 58 SAA. The growing patterns of the epicarp, endocarp and of the almond were described by a simple sigmoid behavior (an accumulation of dry matter phase), and of the mesocarp by a double sigmoid behavior (two phases of dry matter accumulation). At 6 SAA was possible to separate physically the epicarp, endocarp and the mesocarp which, at this stage, was constituted by: 25 % amide, 10,5 % TSS, 9 % RS and 1,5 % NRS. The oil accumulation in the mesocarp had a linear behavior with 10% oil content at 34 SAA and reaching 55 % at 62 SAA. The oil accumulation in the mesocarp was directly related to an amide content fall. The epicarp and the endocarp reached the biggest dry matter accumulation at 13 SAA and 24 SAA, respectively. The Macaúba fruits obtained the transversal external diameter (TED) maximum (45 mm) at 13 SAA maintaining that constant value until the last evaluation. It was observed that the two first tissues developed were the epicarp and the endocarp, considered structures of protection of the fruit and the seed, respectively. After 13 SAA, began the maturing process of the fruit, which was separated in two phases, physical and chemical.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos consta-se, ao nível mundial, um crescente interesse por fontes renováveis de energia. Essa tendência traduz o aumento da consciência e preocupação social pelo ambiente e pelo desenvolvimento sustentável (Souto e Methol, 2005). Este panorama incentiva a busca de novas fontes renováveis como os óleos vegetais. Entretanto a maior parte dos óleos vegetais produzidos mundialmente são oriundos de culturas voltadas para o setor alimentício, o que restringe o seu emprego para a produção de biocombustíveis. A prospecção de novas espécies vegetais oleíferas constitui uma solução necessária para atender a esta crescente demanda.

A palmeira macaúba também conhecida como bocaiuva, bacaiuveira, bacaúva, coco-babão, coco-de-catarro, imbocaia, macaíba, é uma espécie oleífera promissora (Almeida et al., 1998). Amplamente distribuída no Brasil, o fruto desta oleaginosa tem sido tradicionalmente usado para consumo humano quanto animal (CETEC 1983; Motta et al., 2010). Não obstante a alta produtividade desta palmeira e a qualidade do seu óleo tem grande propósito interesse agroindustrial, especialmente aquele voltado à produção de biocombustíveis (CETEC 1983; Motta et al., 2010). Quando adulta esta palmeira, produz massivos cachos constituídos de frutos globosos, do tipo drupa, constituídos por cerca de 20 % de epicarpo (casca), 40 % de mesocarpo (polpa), 33 % de endocarpo (tegumento) e 7 % de semente (amêndoa). Os teores de óleo são ligeiramente maiores na polpa (60 %), em relação à amêndoa (55 %). Estes frutos, na maturidade são constituídos por uma grande quantidade e variedade de ácidos graxos; sendo particularmente ricos em ácido oleico (53 %) e palmítico (19 %) no mesocarpo e ácido láurico (44 %) e oleico (26 %) na amêndoa. Ainda, após a extração dos óleos, os coprodutos gerados, como torta da amêndoa, torta da polpa, uma vez o endocarpo e epicarpo forem separados, podem ser aproveitados por outros setores, tornando a exploração da macaúba econômica e ambientalmente mais adequada (Ciconini, 2012, IICA, 2009).

A domesticação da macaúba encontra-se em seus primórdios, não havendo suficiente informação quanto ao desenvolvimento e crescimento de seus frutos. A floração da macaúba é anual e concentra-se geralmente nos meses de maior pluviosidade (dezembro e janeiro). A frutificação é supra anual compreendendo um

período aproximado de 14 meses desde a emissão da inflorescência até a abscisão do fruto. Contudo, não há informações detalhadas do desenvolvimento e acúmulo de reserva dos seus frutos. De uma forma geral, frutos do tipo drupa apresentam um padrão de desenvolvimento dividido em três estágios: Estágio I inicia no florescimento e caracteriza-se por um crescimento intenso do fruto; Estágio II, fase de diferenciação celular e baixo acúmulo de matéria seca; Estágio III, caracterizado por crescimento intenso, culminando com a maturação do fruto (Connors, 1919).

Durante o desenvolvimento dos frutos ocorrem importantes alterações físicas e químicas. Algumas das mudanças físicas, como largura, comprimento, volume, diâmetro, coloração, textura, entre outros permitem, em alguns casos, estimar o estágio de maturação dos frutos. Embora, nem toda mudança física está diretamente relacionada com as mudanças químicas. Isto impossibilita na maioria dos casos, estimar uma relação confiável entre o desenvolvimento físico e químico dos frutos. Amido, açúcares redutores (AR), açúcares não redutores (ANR) e ácidos graxos, constituem as principais moléculas de reserva dos frutos carnosos. Estas moléculas podem ser armazenadas ao longo do desenvolvimento físico dos frutos de forma simultânea e sincronizada. Por esse motivo, o conhecimento do padrão do acúmulo e degradação de reservas dos frutos, permite determinar índices de importância agronômica, como o índice de maturidade fisiológica e o índice de colheita.

Do ponto de vista fitotécnico, os estudos fenológicos são essenciais para a elucidação dos diversos estágios do desenvolvimento de uma planta, tanto em relação ao ciclo da cultura, quanto em uma etapa em particular. A biometria dos frutos fornece informações para detectar a variabilidade genética de populações de uma mesma espécie e as relações com os fatores ambientais, fornece subsídios para o aproveitamento agroindustrial. Adicionalmente as características biométricas do fruto, podem fornecer subsídios para seleção de sementes, aproveitamento das partes comestíveis e estudos de viabilidade econômica dos seus frutos, visando a subsidiar o uso sustentável dessa espécie (Chuba et. al., 2008; Carvalho et al., 2003). Segundo Al-Maaitah et. al., (2009) a compreensão bioquímica, morfológica e fisiológica durante o amadurecimento dos frutos, permite diferenciar características relevantes que possam contribuir para o melhoramento genético da espécie.

Uma investigação detalhada dos estágios fenológicos dos frutos permite caracterizar diversos aspectos bioquímicos e alométricos, sendo estes aspectos de

grande relevância, pois deles depende o valor econômico e industrial da matéria prima. Soma-se a isso o benéfico para o direcionamento de algumas práticas agronômicas da cultura e que em ultima instancia auxiliarão na definição de medidas de manejo para *Acrocomia aculeata*, uma oleaginosa emergente no panorama agrícola brasileiro.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o desenvolvimento e o acúmulo de reservas do fruto de macaúba (*Acrocomia aculeata*), avaliando o crescimento do epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa do fruto até a maturidade fisiológica; e caracterizando o padrão temporal de acumulo das reservas, em especial, amido, açúcares e ácidos graxos em frutos de macaúba não senescentes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Padronização e marcação dos cachos avaliados

A floração da macaúba (*Acrocomia aculeata*) concentrou-se nos meses de dezembro e janeiro, embora a abertura das espatas foi irregular ao longo desse período. Esse fenômeno dificultou a marcação dos cachos avaliados sendo necessário patronizar a abertura das espatas e consequentemente a idade dos frutos coletados.

Para isso, foram marcadas quatro espatas (Figura 1a) de quatro plantas adultas diferentes e realizou-se um registro fotográfico da inflorescência (Figura 1b). Em cada inflorescência, marcaram-se duas raquiles. As imagens foram capturadas com uma câmera Sony semiprofissional (Cyber-Shot 16,1 MP HD DSC) nas mesmas flores tanto masculinas quanto femininas (Figura 2) da mesma raque a cada doze horas após a abertura da espata até a abscisão da flor masculina (Anexo 1).

Estabeleceram-se características visuais das flores masculinas, as quais foram usadas para estimar o dia aproximado da abertura da espata. Com essas informações, foram marcados e agrupados os cachos com idades aproximadas, e posteriormente destinados para a coleta dos frutos avaliados neste estudo.



Figura 1: Espata de Macaúba (a); Inflorescência de macaúba (b).



Figura 2: Raquiles da espata de macaúba (a); Flor feminina de macaúba, 0 horas após a abertura da espata (HAAP) (b).

3.2. Local de coleta e material vegetal

Plantas adultas de macaúba, com mais de 10 anos (comunicação pessoal), em estágio reprodutivo, foram monitoradas em uma população nativa no município de Acaiaca, região sudeste de Minas Gerais – Brasil, localizado a 20° 21' 45" S e 43° 08' 41" W com altitude de 481m; clima subtropical úmido (Cwa) segundo a classificação climática de Köppen-Geiger.

Foram pré-selecionadas em campo, plantas sem doenças visíveis e estruturas físicas intactas. Durante o início do florescimento, 60 inflorescências foram escolhidas e marcadas de forma aleatória. Após decorrido um período pós-fecundação, estabelecido como o lapso de uma semana após antese (SAA), foram descartados aqueles cachos que apresentaram, visivelmente um elevado abortamento dos frutos recém-formados, selecionando-se 30 cachos de 24 plantas diferentes. Ressalta-se que cada cacho não necessariamente pertencia a um indivíduo distinto, ou seja, algumas plantas contribuíram com mais de um cacho para as análises pertinentes.

Os cachos foram marcados com no máximo 24 horas após antese (HAA), período compreendido entre a exposição da inflorescência e a abertura parcial das pétalas da flor masculina (sem exposição dos grãos de pólen). Isto foi realizado para padronizar a idade dos frutos.

Foram realizadas três marcações em três épocas distintas, constituindo assim, três grupos de cachos com idades diferentes/coleta. Esses três grupos (A, B, C) de cachos estavam constituídas por 12, 6 e 12 cachos. Foi colhido um fruto por cacho, obtendo três grupos de 12, 6 e 12 frutos cada um, com dos quais, usou-se o valor médio para cada tratamento (idade dos frutos) e posterior análise estatística (Figura 1).

Os frutos foram coletados manualmente, acondicionados em sacos plásticos e mantidos em caixas de isopor para transporte. As análises foram realizadas no laboratório de pós-colheita de macaúba do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

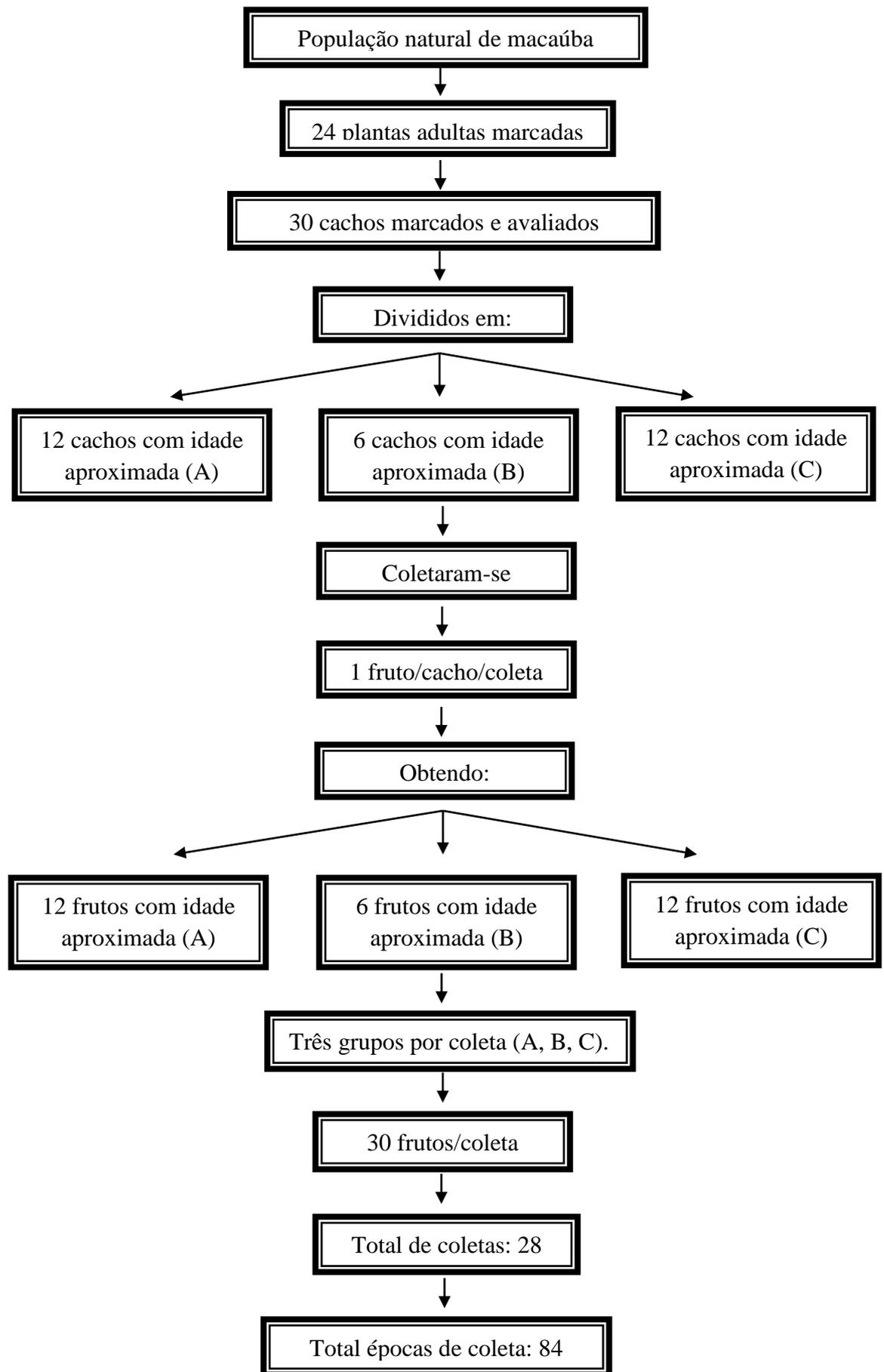


Figura 3. Esquema da metodologia usada nas coletas dos frutos de macaúba.

3.3. Determinação alométrica e crescimento dos frutos de Macaúba

A análise das variáveis físicas iniciaram no máximo 24h após a colheita. A massa fresca dos frutos (MFF) foi determinada gravimetricamente, usando-se a balança analítica GEHAKA modelo BG 400 com três casas decimais. Em seguida mediu-se o diâmetro externo transversal (DET) dos frutos, usando paquímetro digital 799 Starrett (Figura 4a).

Posteriormente os frutos foram acondicionados em sacos de papel e secos em estufa de ventilação forçada a 65° C (modelo TE-394/3-TECNAL) até a obtenção de peso constante. Após a secagem, os frutos inteiros foram novamente pesados para determinar a massa dos frutos secos (MFS). Em seguida foram separadas as partes constituintes do fruto: epicarpo (casca), mesocarpo (polpa), endocarpo (tegumento) e semente (amêndoa) (Figura 4b). Este procedimento foi realizado nos frutos com idade de 45 DAA, estágio no qual, foi possível a separação das partes anteriormente descritas, com exceção da amêndoa. Como ferramenta de dissecação utilizou-se uma lâmina de aço inox para separar o epicarpo e mesocarpo; e prensa manual para romper e separar o endocarpo e a semente. Para determinar a massa seca das partes do fruto, estas foram pesadas em balança analítica (GEHAKA modelo BG 400) com três casas decimais (Figura 4).

Posteriormente as porções epicarpo, mesocarpo, endocarpo e semente (Figura 5) foram acondicionados em sacos plásticos com dimensões 12x8 cm. e armazenadas em freezer a -20° C para posteriores análises químicas: quantificação de amido, açúcares e óleo.



Figura 4. Fruto de macaúba, diâmetro externo transversal (DET) (a); corte transversal de um fruto de macaúba, destacando-se as partes constituintes (b).

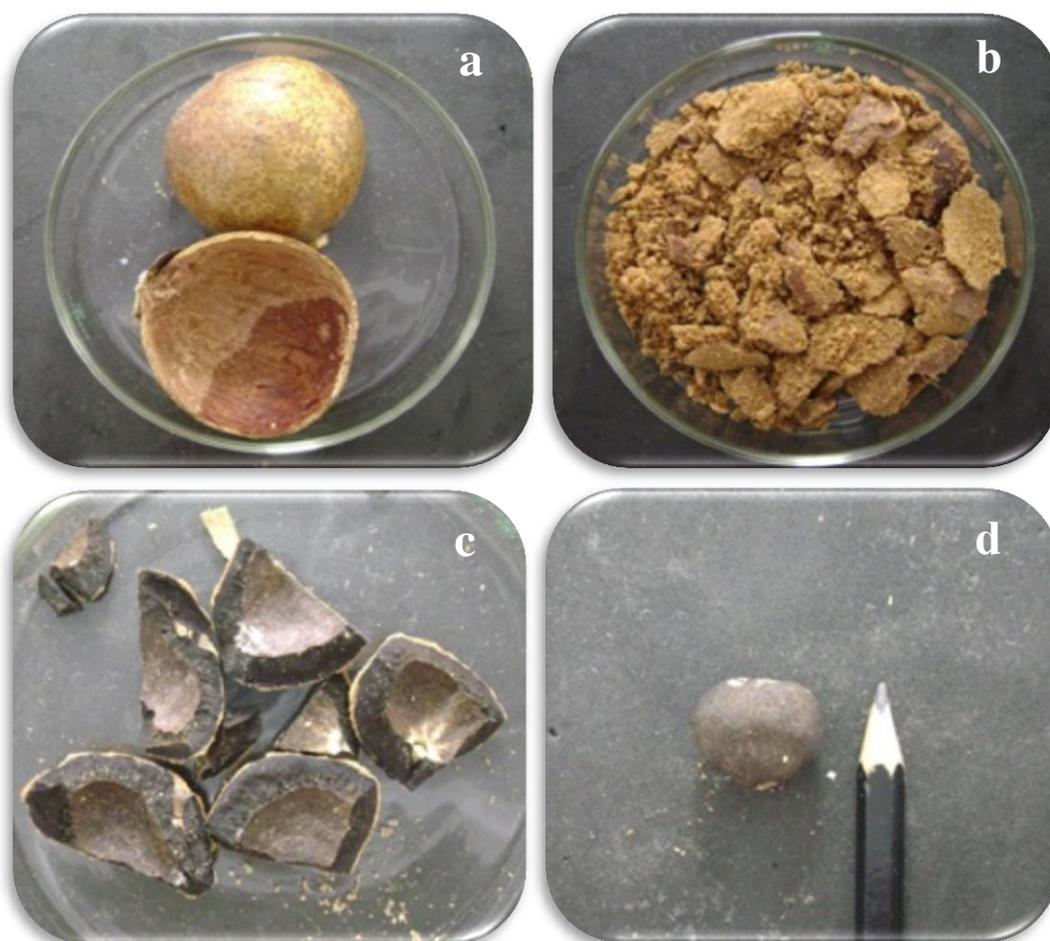


Figura 5. Partes constituintes do fruto de macaúba, epicarpo (a), mesocarpo (b), endocarpo (c), semente (d).

3.4 Análises química

3.4.1 Teor de óleo do mesocarpo

Para a quantificação de óleo do mesocarpo foi realizada por método AOAC (1990). Alíquotas de 2,0 g. do material desidratado foram acondicionadas em cartuchos de papel filtro pre-pesados, registrando-se o peso do conjunto. As amostras foram acomodadas no extrator Soxhlet utilizando-se como agente extrator o hexano (C₆H₁₄) à 80° C, e subsequentemente a 110° C. Após três horas de extração as amostras foram resfriadas as temperaturas ambientes e secas em estufas de circulação de ar forçado a 45° C por 24h. Após resfriamento os cartuchos foram pesados novamente em balança analítica (GEHAKA modelo BG 400) com quatro casas decimais (cartucho com amostras após a extração).

- Cálculos, valor da amostra submetida à extração do Soxhlet:

$$AAE = CCA - CSA$$

Onde:

Amostra antes da extração (g): AAE

Cartucho com amostra (g) (antes da extração): CCA

Cartucho sem amostra (g) (antes da extração): CSA

- Cálculos, diferença da extração:

$$DAE = CAA - CAD$$

Onde:

Diferença após a extração (g): DAE

Cartucho com amostra antes da extração (g): CAA

Cartucho com amostra depois da extração (g): CAD

- Cálculos, teor de óleo:

$$TO = DAE * 100 / AAE$$

Onde:

Teor de Óleo (%): To

Diferença após a extração (g): DAE

Amostra antes da extração (g): AAE

3.4.2 Determinação de açúcares e amido do mesocarpo

Para a extração e quantificação dos açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), açúcares não redutores (ANR) e amido, foram utilizadas amostras do mesocarpo seco e triturado dos frutos da mesma idade (DAA), aplicando-se a metodologia de extração segundo o AOAC (1990). Para a quantificação dos AST e AR foram utilizados os métodos Fenol-Sulfúrico descrito por Dubois et al., (1956) e o método descrito por Somogyi (1945) e Nelson (1944) respectivamente. Os ANR foram quantificados pela diferença dos AST e AR.

3.4.3 Quantificação dos Açúcares Solúveis Totais (AST)

- Cálculos para a quantificação dos AST:

$$\%AST = ((L \cdot v \cdot n/ms) \cdot 100)$$

Onde:

%AST = percentagem de açúcares solúveis totais

L = concentração da amostra obtida pela leitura em espectrofotômetro 490 nm.comprimento de onda (g . mL⁻¹) utilizando-se a reta da curva padrão (Y = a.x + b)

v = volume total do extrato bruto (25 mL)

n = número de diluições (50)

ms = massa seca da amostra (1 g)

3.4.4 Quantificação de Açúcares Redutores (AR)

- Cálculos para a quantificação de AR:

$$\%AR = ((L \cdot v \cdot n/mS) \cdot 100)$$

Onde:

%AR = percentagem de açúcares redutores

L = concentração da amostra obtida pela leitura em espectrofotômetro 540 nm (g . mL⁻¹) utilizando-se a reta da curva padrão (Y = a.x + b)

v = volume total do extrato bruto (25 mL)

n = número de diluições (10)

3.4.5 Quantificação de Açúcares Não Redutores (ANR)

Os açúcares não redutores foram estimados usando a seguinte equação:

$$\% \text{ANR} = \% \text{AST} - \% \text{AR}$$

Onde:

%ANR: percentagem de açúcares não redutores

%AST: percentagem de açúcares totais

%AR: percentagem de açúcares redutores

3.4.6 Extração e quantificação de amido

Para a extração do amido foi utilizada a porção de mesocarpo restante após a extração dos Açúcares Solúveis Totais. A amostra seca foi minimamente moída com auxílio de uma faca de aço inoxidável. As amostras foram acondicionadas em tubos plásticos falcon de 10 mL onde posteriormente foram adicionados 4,75 mL de ácido perclórico (HClO₄) 52% e 4,0 mL de água deionizada. Após agitação em vortex as amostras repousaram por 30 minutos. Posteriormente o material foi centrifugado a 3.700 rpm – 2.172 G, por 10 minutos (Excelsa II - modelo 206 BL). As ultimas duas etapas foram repetidas três vezes. Após cada centrifugação, o sobrenadante era transferido para num tubo falcon 50 mL, completando o volume para 25 mL com água deionizada.

As soluções foram armazenadas em geladeira a 5° C para posteriores análises químicas e a porção precipitada foi descartada. O conteúdo de amido na amostra foi determinado em espectrofotómetro Thermo Genesys 10-S, à 490nm de comprimento de onda, segundo o método descrito por Mc Cready et al., (1950) , em triplicata.

- Cálculos para a quantificação do Amido:

$$\% \text{Amido} = (((L \cdot n \cdot v) / (ms) \cdot 100)) \cdot 0,9$$

Onde:

%Amido = percentagem de amido

L = concentração da amostra obtida pela leitura em espectrofotômetro 490nm comprimento de onda (g . mL⁻¹) utilizando-se a reta da curva padrão (Y = ax + b)

n = número de diluições (75)

v = volume total do extrato bruto (25 mL)

ms = massa seca da amostra (1 g)

0.9 = fator de correção

ms = massa seca da amostra (1 g)

3.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Anexo 2), e as médias submetidas a análise de regressão 95% de probabilidade, utilizado o programa estatístico SAEG.

As análises de regressão foram realizadas utilizando o programa estatístico Sigma Plot versão 11.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A abertura das espatas de macaúba concentrou-se nas horas da madrugada e no final da tarde, entre as 17 e 18h. Notou-se um aumento considerável do diâmetro das espatas próximas ao caule da planta aproximadamente 48h antes da abertura e exposição da inflorescência. Embora, não foi possível determinar uma característica padrão para determinar com maior precisão a antese. Imediatamente após a abertura da espata, as inflorescências apresentaram uma coloração amarela clara, as raquiles compactas e a presença de água (gotas) tanto entre as raquiles quanto na parte interna da espata (Figura 6a, 6b).



Figura 6: Espatas de Macaúba vista inferior (a); espata de Macaúba vista lateral (b).

Entre as 0 e 12 horas após abertura da espata (HAAP) não houve diferenças físicas nas flores masculinas. As flores estavam compactas e as pétalas completamente fechadas (Figura 7a, 7b). No mesmo período, visualizou-se a flor feminina embranquecida, o estigma de coloração rosa claro, flexível e de aparência umedecida (Figura 8a, 8b).

Às 24 HAAP houve mudanças significativas, na flor masculina. As raquiles visualizaram-se mais separadas, de coloração amarelo claro com início da antese da flor (Figura 7c). Esse estágio fenológico foi claramente evidenciado nas inflorescências avaliadas e foi utilizado como padrão, para a marcação dos cachos, sendo possível separar cachos com no máximo 24h após a abertura da espata. Às 36 HAAP as inflorescências tornaram-se amarelo intenso, expondo o androceu e os grãos de pólen. Entre as 36 e 84 HAAP (Anexo 1) não foram observadas maiores diferenças nas flores masculinas. Após 84 HAAP houve queda das flores masculinas, intumescimento das flores femininas e uma leve mudança de coloração do cacho, passando de amarelo a verde claro. Por tanto a idade dos frutos foi contabilizado entre o intervalo de 12-24h HAAP.



Figura 7. Flor masculina da macaúba horas após antese (HAA); 0 HAAP (a); 12 HAAP (b); 24 HAAP (c); 36 HAAP (d).

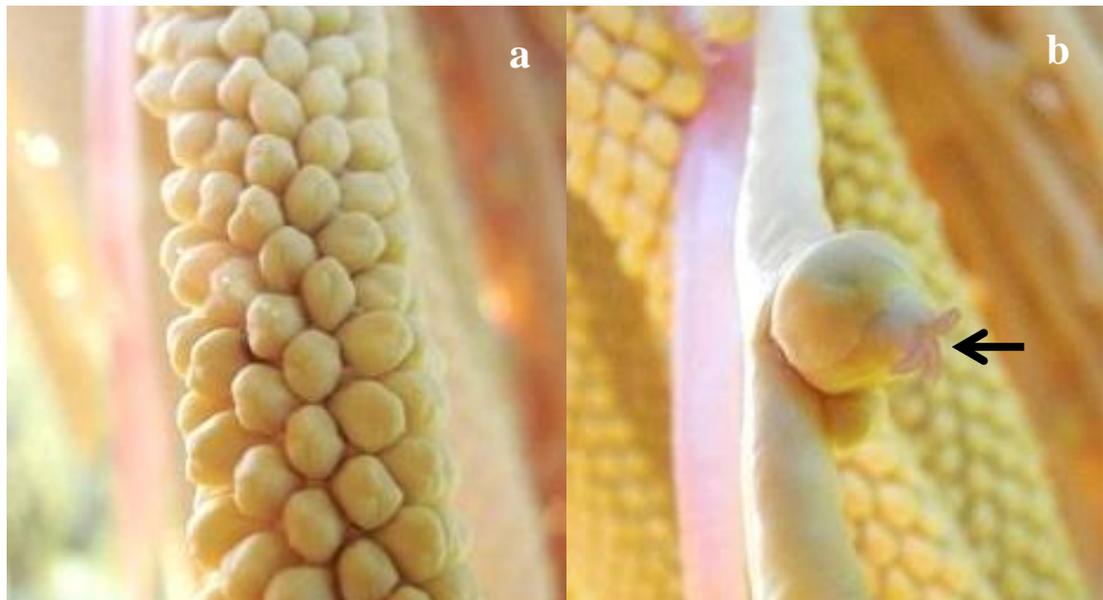


Figura 8. Flor masculina de macaúba 0 HAAP (a); flor feminina de macaúba 0 HAAP (b).

Após a abertura da espata foi possível observar a presença de pelos nas flores femininas, embora houve diferenças na exposição dessas estruturas dependendo da posição da flor no cacho. Nas flores da base da inflorescência, um pouco maiores comparadas com as flores do meio e do ápice do cacho, os pelos estavam mais expostos sendo fácil a sua visualização (Figura 9a). Estas estruturas, inicialmente de coloração amarela claro (Figura 9a, 9b), parcialmente cobertas pelas pétalas sofreram algumas alterações visuais ao longo do desenvolvimento dos frutos, tornando-se marrom escuro uma semana após antese (SAA). Segundo Reis et al. (2012) essa mudança de coloração deve-se à presença de taninos na estrutura dos tricomas.

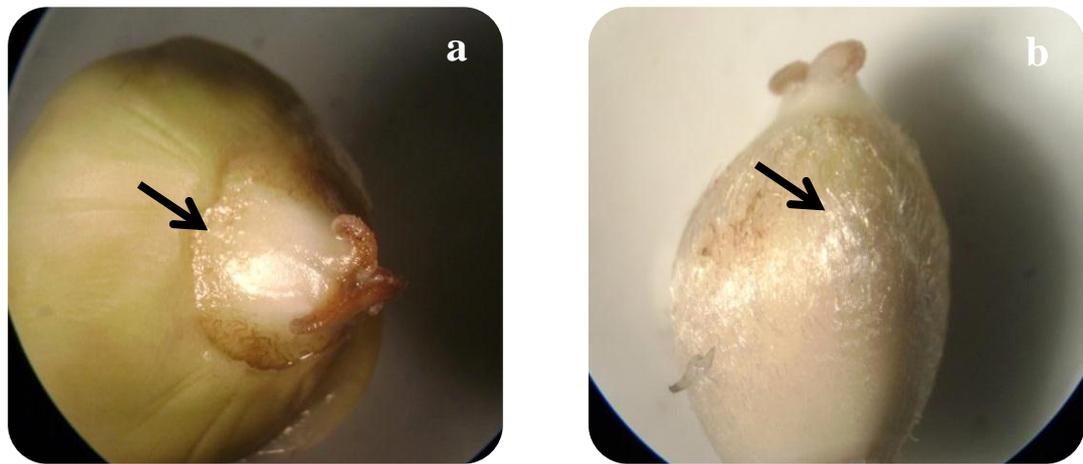


Figura 9. Flor feminina de macaúba 0 horas após abertura da espata HAAP. Exposição dos tricomas acima das pétalas (a); flor feminina de macaúba 0 HAAP sem o cálice (b).

Na 4ª SAA as mudanças de coloração dos frutos foram rápidas e diferenciadas. Entre a 1ª e 7ª SAA foi possível observar o epicarpo esverdeado coberto por pêlos de coloração marrom, os quais caíram naturalmente aproximadamente na 10ª SAA. Embora entre a 4ª e 14ª SAA tornou-se visível a superfície do epicarpo devido à queda parcial dos pêlos. Contudo, uma vez que o fruto atingiu o tamanho máximo (45 mm) às 14 SAA o epicarpo tornou-se marrom claro, e foi escurecendo gradualmente até a abscisão natural do fruto (Figura 10). Houve diferenças nas colorações dos frutos segundo a posição do cacho na planta. Observou-se que frutos dos cachos mais expostos à radiação solar, tornaram-se marrons com maior rapidez e alguns casos mais escuros do que frutos de cachos mais sombreados.



Figura 10. Vista superior e lateral dos estádios de desenvolvimento dos frutos de macaúba em relação as semanas após antese (SAA). A idade dos frutos baseia-se no padrão estabelecido de abertura da flor masculina (12-24 HAAP).



Figura 10. Vista superior e lateral dos estádios de desenvolvimento dos frutos de macaúba em relação as semanas após antese (SAA). A idade dos frutos baseia-se no padrão estabelecido de abertura da flor masculina (12-24 HAAP).

Foi possível separar fisicamente o epicarpo, mesocarpo e endocarpo dos frutos de macaúba às 6 SAA (Figura 11). Antes deste período, os tecidos ainda não estavam minimamente diferenciados. Esta detecção visual deve-se a presença de células especiais presentes na parede celular denominados componentes estruturais como a lignina.

Reis et al. (2012) relatam que em frutos de macaúba com cerca de 10 SAA a região parenquimática no epicarpo apresentava idioblastos e esclereides, sendo estes últimos também observados no endocarpo. Às 10 SAA o endocarpo dos frutos de macaúba de coloração amarelo claro, tornaram-se moderadamente rígidos e aumentaram de espessura. Este enrijecimento ocorreu de maneira precoce quando comparados com o endocarpo dos frutos de dendê (*Elaeis guineensis*), os quais iniciaram seu enrijecimento 16 SAA, (Oo et al., 1985; Sambanthamurthi et al., 2000). O final do enrijecimento foi alcançado as 28 SAA, com o endocarpo apresentando uma coloração preta homogênea e altamente rígido (Figura, 11).

Fatores abióticos com as altas temperaturas, alta intensidade luminosa e baixa pluviosidade ao longo do tempo, influenciam na estrutura da planta e principalmente dos frutos. O epicarpo da macaúba é considerado uma estrutura de proteção, a qual se desenvolve rapidamente na época de maior pluviosidade. Esta estrutura isola os tecidos internos ainda não diferenciados, de possíveis danos decorrentes da ação de fatores bióticos e/ou abióticos. Outra possível função de estruturas esclerificadas e lignificadas como o do epicarpo e o endocarpo, é a de limitar o crescimento dos frutos, uma vez que na fase de amadurecimento há expansão no volume do fruto, em decorrência do teor de água nos tecidos recém-formados, (Reis et al.2012). No presente estudo, foi possível observar rachaduras superficiais no epicarpo de alguns frutos, o que aponta a uma possível incapacidade da casca em suportar a alta pressão interna do fruto em crescimento (Reis et al. 2012).



Figura 11. Corte transversal do desenvolvimento das partes constituintes do fruto da macaúba, relação às semanas após antese (SAA). * Devido à rigidez do endocarpo houve dificuldade para realizar o corte transversal.

O teor de água do fruto variou significativamente em função do estágio de desenvolvimento. Uma SAA o fruto apresentou 73 % de teor de água, alcançando um pico máximo de 87 % às 8 SAA. Uma vez o fruto atingiu o tamanho externo definitivo as 14 SAA, houve uma redução no teor de água, alcançando um valor de 23 % às 62 SAA (Figura 12). Este valor é ainda menor, comparado com o teor de umidade dos frutos de outras palmáceas como açaí e butiá. O açaí e o butiá apresentam aproximadamente 85 % de água após a abscisão natural do fruto (Pereira et al., 2002).

Tecidos em divisão e expansão celular demandam grandes quantidades de energia e conseqüentemente de água. Em geral, após a fecundação do óvulo ocorre há divisão e crescimento celular, fenômenos biológicos que exigem grandes quantidades de água e transporte de solutos que possibilitem a expansão celular. Os frutos de macaúba cresceram rapidamente após antese até atingir o maior teor de água 87 % uma SAA.

A diferenciação celular interna dos frutos esteve acompanhada por uma redução gradual no teor de água, mesmo sem afetar a massa dos frutos frescos. Isto conduz a uma relação entre o teor de água e a diferenciação dos tecidos internos. Uma leve perda no teor de água foi observado entre as 50 – 57 SAA. Este fenômeno está relacionado com o aumento de temperatura do ambiente e o amadurecimento final dos frutos. Estima-se que a redução do teor de água continue após a abscisão dos frutos até a morte dos tecidos.

O baixo teor de água prévio à abscisão natural possibilita que o fruto da macaúba seja um fruto com potencialidade para a colheita mecanizada, transporte, manuseio e armazenamento sem maiores cuidados, graças aos reduzidos teores de água, uma vez atingido o ponto de maturidade fisiológica.

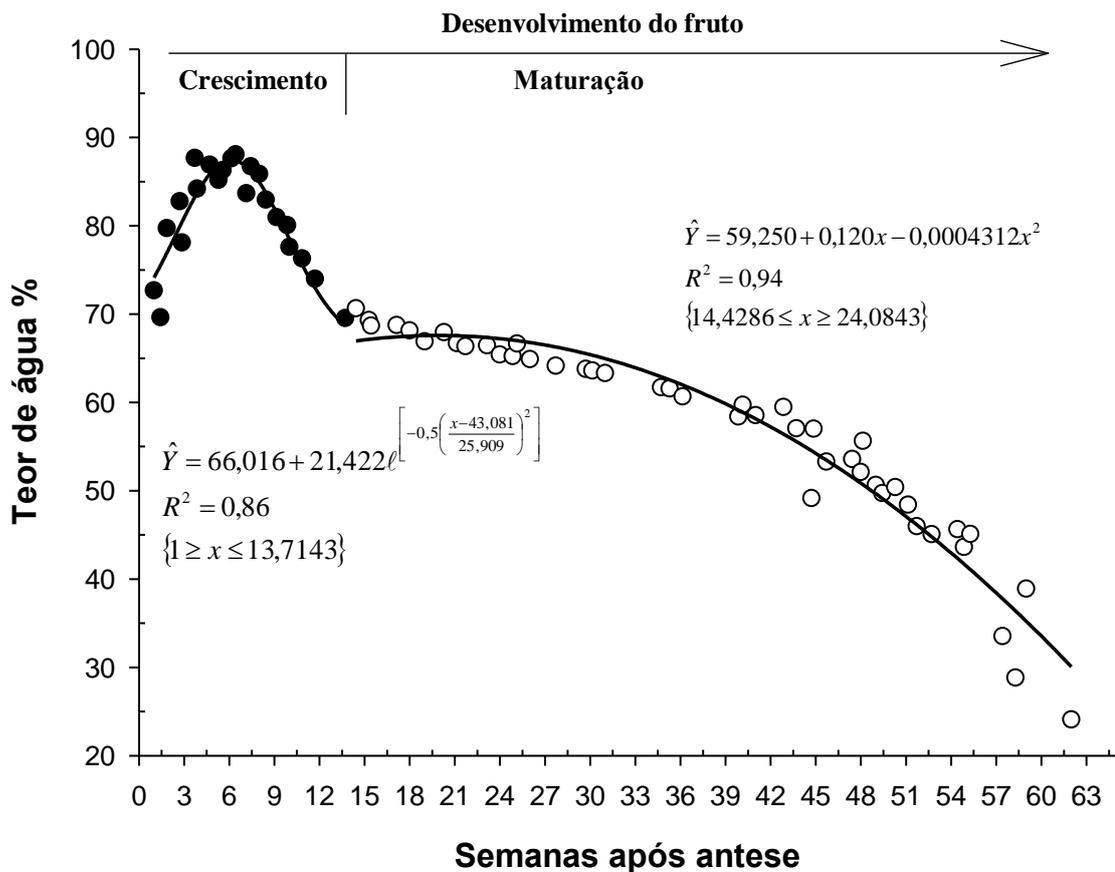


Figura 12. Percentagem do teor de água do fruto fresco de macaúba em relação às semanas após antese (SAA).

Entre as 15 e 20 SAA, o fruto da macaúba apresentou um rápido crescimento externo. O epicarpo e o endocarpo consideradas estruturas de proteção, foram descritas por um padrão de crescimento sigmoide simples com uma marcada fase de crescimento. A fase de crescimento do epicarpo esteve compreendida entre a 6ª e 14ª SAA alcançando o valor médio de 6,36 g (Figura 13a). Já o endocarpo atingiu um valor médio de 9,61 g as 21 SAA. (Figura 13b). Esses valores foram mantidos até a última avaliação as 62 SAA.

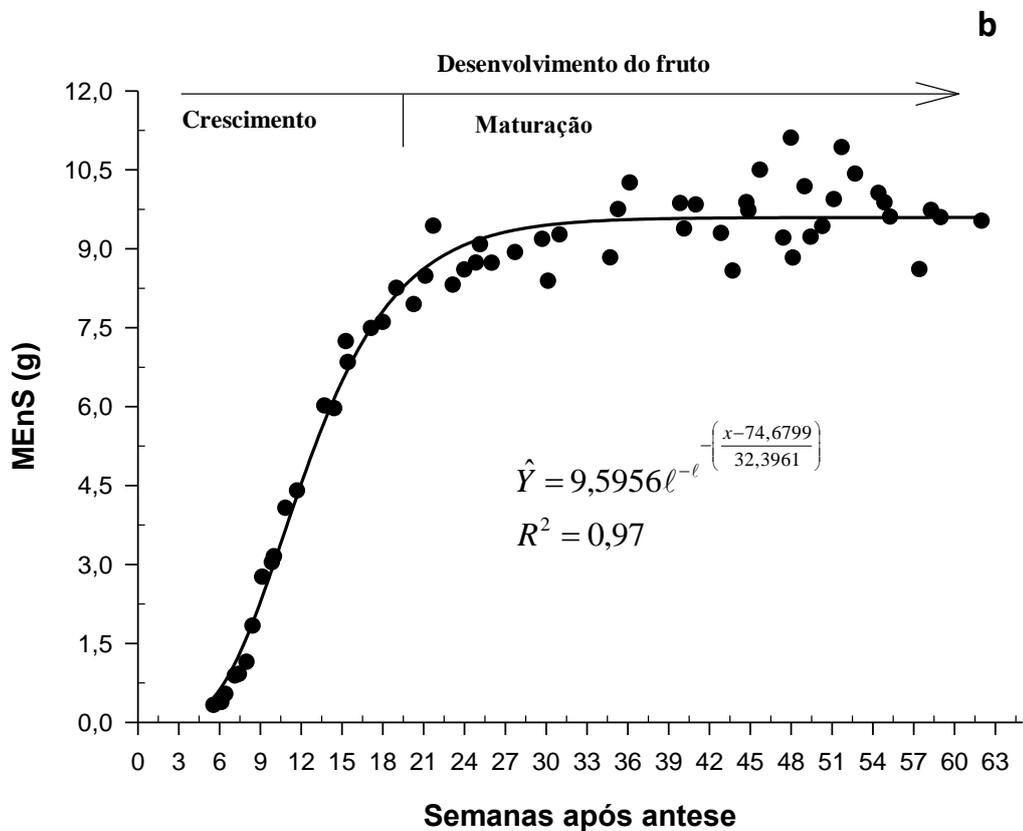
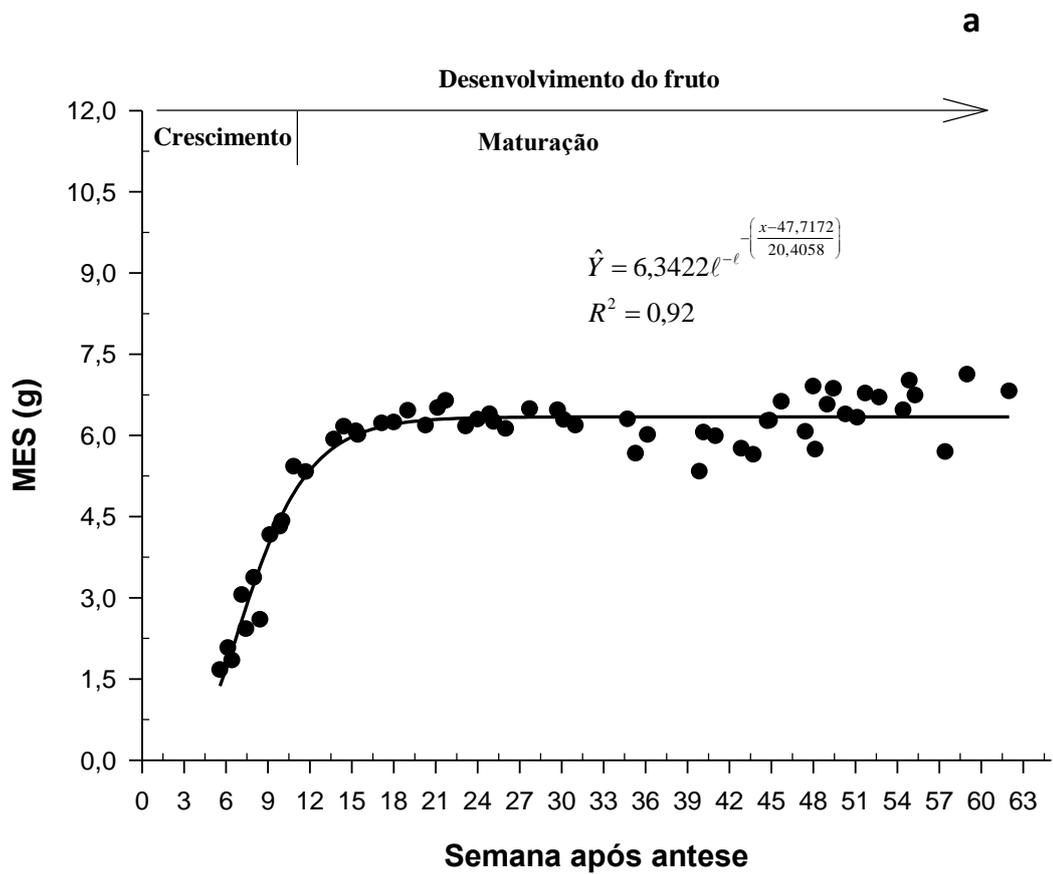


Figura 13. Massa do epicarpo seco (MES) (a); massa do epicarpo (MEnS) (b) dos frutos da macaúba em função das semanas após antese (SAA).

De maneira geral o diâmetro externo transversal (DET) e o acúmulo de massa dos frutos frescos (MFF) de macaúba apresentaram um comportamento sigmoide simples, com uma marcada fase de crescimento inicial e posteriormente, caracterizou-se por uma estabilização, iniciada aproximadamente 10^a SAA (Figura 14a, 14b).

O acúmulo de matéria fresca ocorreu de forma eficiente nas primeiras 11 SAA, período após o qual não ocorreu ganho efetivo apresentando um valor médio de 53 g. Este valor encontra-se entre os limites mínimo e máximo de 12,4 g e 66 g obtidos por Ciconini et al., (2012) e CETEC (1983).

O ganho de massa fresca envolve o crescimento de todas as partes constituinte do fruto, a qual é fortemente vinculada à ação de reguladores de crescimento como o ácido indolacético (AIA), como reportado para frutos da palmeira *Phoenix dactilifera* (Rastegar et al., 2011). Nesta etapa a divisão e a expansão celular ocorre de forma intensa, refletindo como ganho circunferencial dos frutos. De fato, o DET dos frutos de macaúba do presente estudo mostraram um comportamento análogo ao ganho de matéria fresca, atingindo um valor máximo médio de 44 mm no período que coincide com o valor máximo da MFF. Este valor médio dos frutos analisados são condizentes com os encontrados por Argandoña, et al, (2011) e os CETEC (1983).

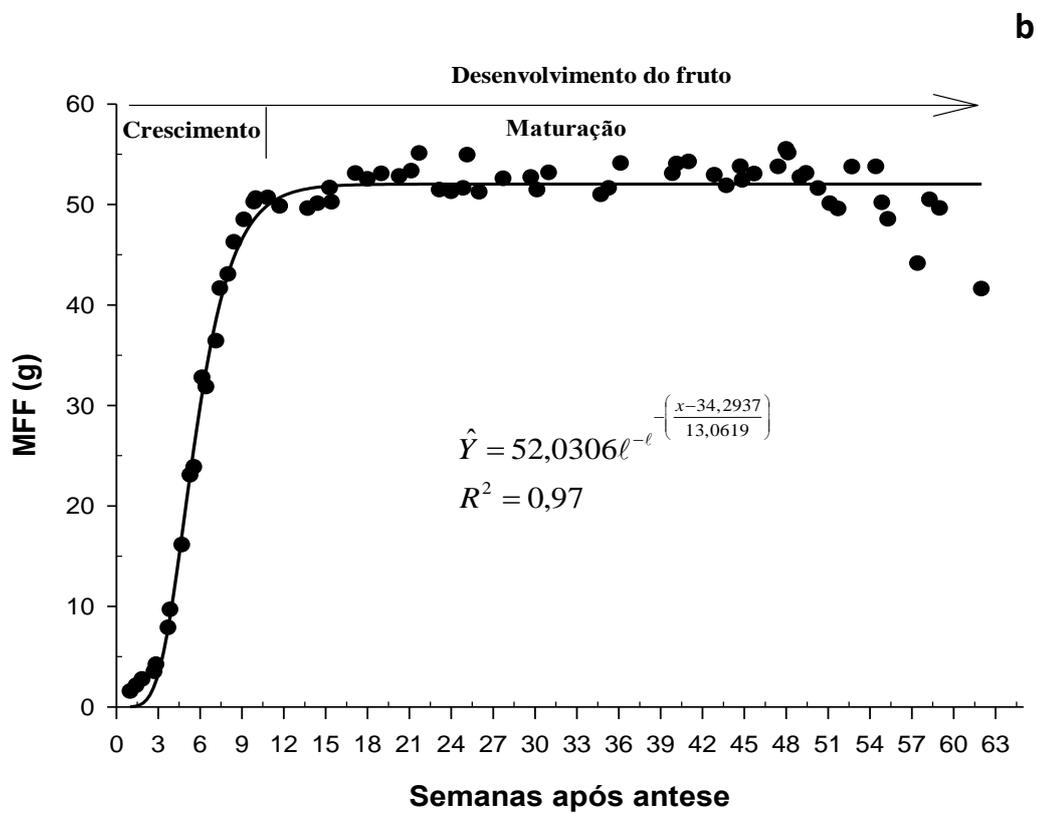
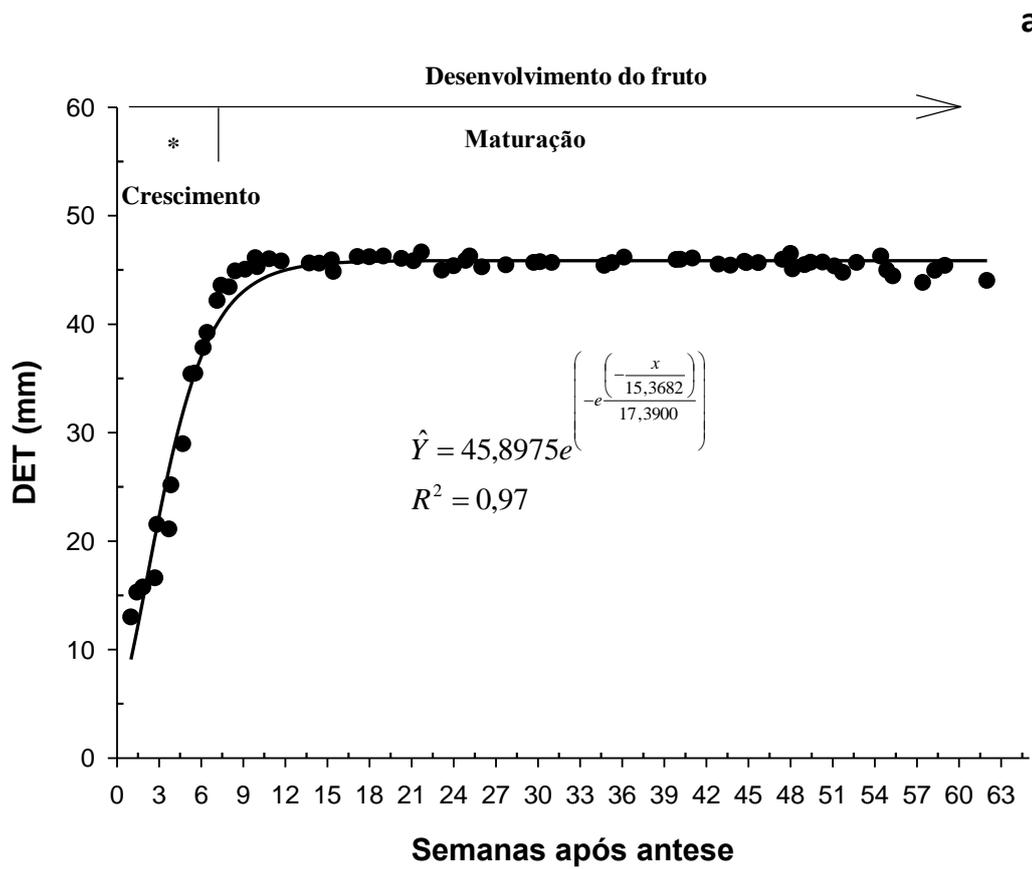


Figura 14: Diâmetro externo transversal (DET) do fruto de macaúba (a); massa do fruto fresco de macaúba (b) em relação às semanas após antese (SAA).

O ganho de massa seca pelo mesocarpo apresentou um comportamento sigmoide duplo com três fases diferenciadas de crescimento. Fase I iniciou 6 semanas após pleno florescimento e caracterizou-se por um rápido ganho de matéria seca até os 14 SAA. No mesmo intervalo de tempo o epicarpo, o endocarpo e a massa do fruto seca atingiu o valor máximo. Fase II, compreendida entre 14^a e 29^a SAA e considerada fase de latência, onde não houve acúmulo de matéria seca, apresentando valores médios de 3g. Fase III, com acúmulo intenso a partir das 36 SAA, culminando com a fase final de amadurecimento, acúmulo de reservas e finalmente a queda natural dos frutos (Figura 15). Tanto a fase I quanto a fase III, tiveram um significativo acúmulo de matéria seca, embora o incremento de matéria seca da fase I foi caracterizado pela divisão e diferenciação dos tecidos, e a fase III pelo amadurecimento bioquímico do fruto. Portanto, atribui-se o aumento de matéria seca do mesocarpo após 36 SAA à síntese e acúmulo de reservas, como, amido e principalmente óleo.

A partir da 36^a SAA o acúmulo de matéria seca no mesocarpo está possivelmente relacionado com a síntese e acúmulo de ácidos graxos. Segundo Reis et al.,(2012) e Silva (2013) a fase que antecede a abscisão natural de frutos de macaúba é marcado por um crescente acúmulo de óleo e mucilagem nos elementos celulares do mesocarpo de frutos de macaúba. No início da fase III foi possível perceber uma leve mudança na coloração do mesocarpo, adquirindo uma tonalidade marrom clara a partir da 6^a SAA (Figura 11). Esta característica visual pode indicar mudanças bioquímicas como o processo de amadurecimento e principalmente o acúmulo de ácidos graxos e carotenoides. Do mesocarpo da macaúba, é extraído um óleo de cor vermelho amarelado, rico em ácido oleico, ácido palmítico, carotenoides e tocoferóis e tem boas características para o processamento industrial, (Faria, 2010).

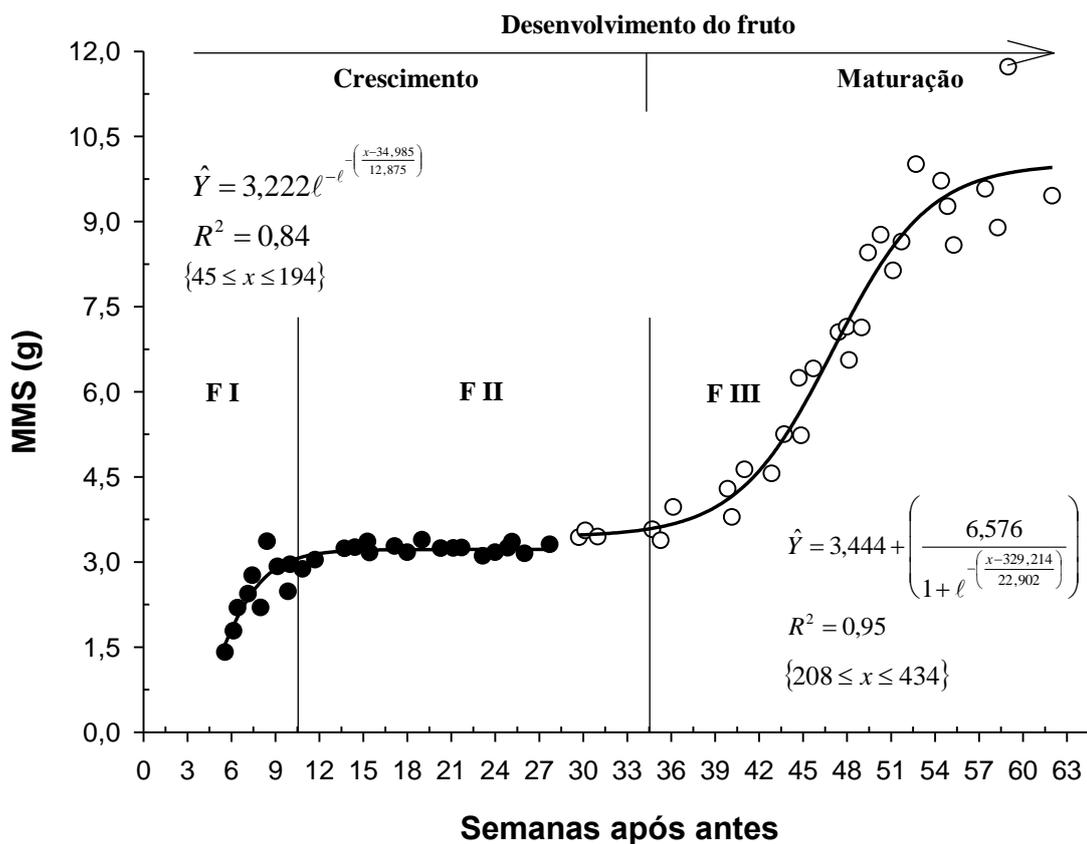


Figura 15: Massa do fruto seco (MMS) em relação às semanas após antese (SAA).

A observou-se um leve endurecimento do endocarpo e a presença do endosperma em estado líquido. A aproximadamente 12 SAA o endospermo apresentou uma textura gelatinosa e tornando-se semissólido a partir da 15^a SAA. A semente ou amêndoa foi separada fisicamente a partir da 25^a SAA, mostrando um comportamento sigmoide simples (Figura 11). Inicialmente a massa da semente seca apresentou valores médios de 0,44 g as 25 SAA e 2,32 g as 62 SAA, constituindo 5 % da massa do fruto seco, (Figura 12).

Estes valores são similares aos encontrados na literatura. Segundo Pinheiro e Frazão, (1995) citado por Machado et al., (2006) as amêndoas encontram-se inseridas no interior do endocarpo e constituem aproximadamente 6 % do coco. Por outro lado Oo et al. (1985) e Hartley, (1988) afirmaram que o crescimento dos frutos de *Elaeis guineensis*, ocorreu em duas SAA; entre tanto o endosperma da semente era líquido até oito semanas após antese, semi gelatinoso à 10 SAA e levemente endurecido às 16 SAA. Segundo Camacho et. al, (2005) o endospermo dos frutos da macaúba estão constituídos por 53,13 % de óleo, 13,75 % de proteína e 25,82 % de fibra.

Foi possível determinar que após 47 SAA a massa da amêndoa seca apresentou-se heterogênea. Isto deve-se ao fato que no fruto da macaúba podem ser formadas de uma até quatro sementes, ocasionando assim a dispersão dos valores. O rápido acúmulo de matéria seca da semente está relacionado com o acúmulo de óleo no endospermo. Segundo Silva et. al. (2013), o acúmulo de óleo na semente de macaúba inicia-se previamente ao acúmulo no mesocarpo. Frutos com o epicarpo mais escuro mostraram consideráveis quantidades de óleo no endospermo, enquanto incrementos significativos do teor de lipídios no mesocarpo foram evidenciados em cachos onde a abscisão dos frutos tinha começado.

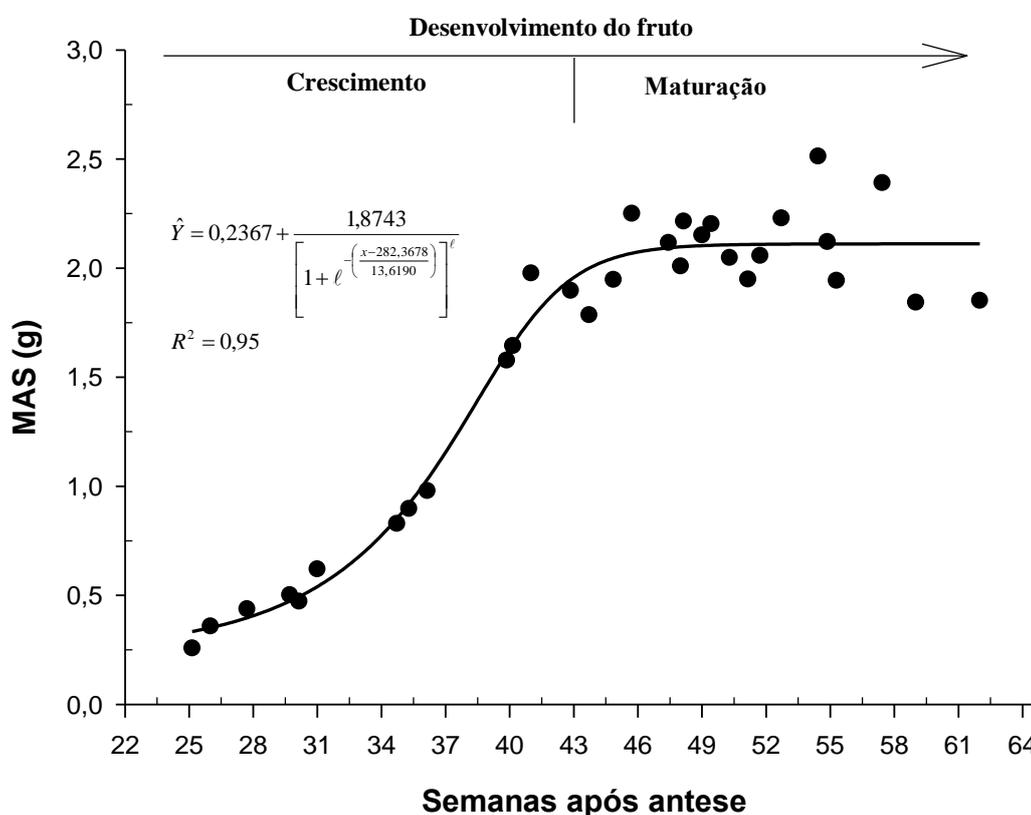


Figura 16: Massa da amêndoa seca (MAS) em relação às semanas após antese (SAA).

A massa total do fruto seco foi descrito por um padrão duplo-sigmoide, subdividido em três fases. Fase I: entre o sete e 100 DAA, caracterizada por um rápido acúmulo de matéria seca. Este incremento corresponde ao crescimento do fruto inteiro, embora esteja diretamente relacionado com a diferenciação e lignificação do epicarpo e endocarpo (Figura 8a, 8b). Fase II: compreendido entre as 14 e 29 SAA, fase de baixo acúmulo de material orgânico, mas de intenso enrijecimento do epicarpo e endocarpo. Fase III: a partir da 29ª SAA, acúmulo progressivo de matéria seca (Figura 16). O acúmulo de massa dos frutos secos, não apresentou uma segunda fase de latência. Isto significa que o fruto da macaúba não atingiu o acúmulo máximo de matéria seca quando ainda no cacho e estima-se que esse comportamento continue ao longo do amadurecimento após a queda natural do fruto. Esse aumento da massa seca dos frutos pode estar relacionado com o acúmulo de óleo no mesocarpo como foi observado por Martins, (2013) durante o período de armazenamento (60 dias).

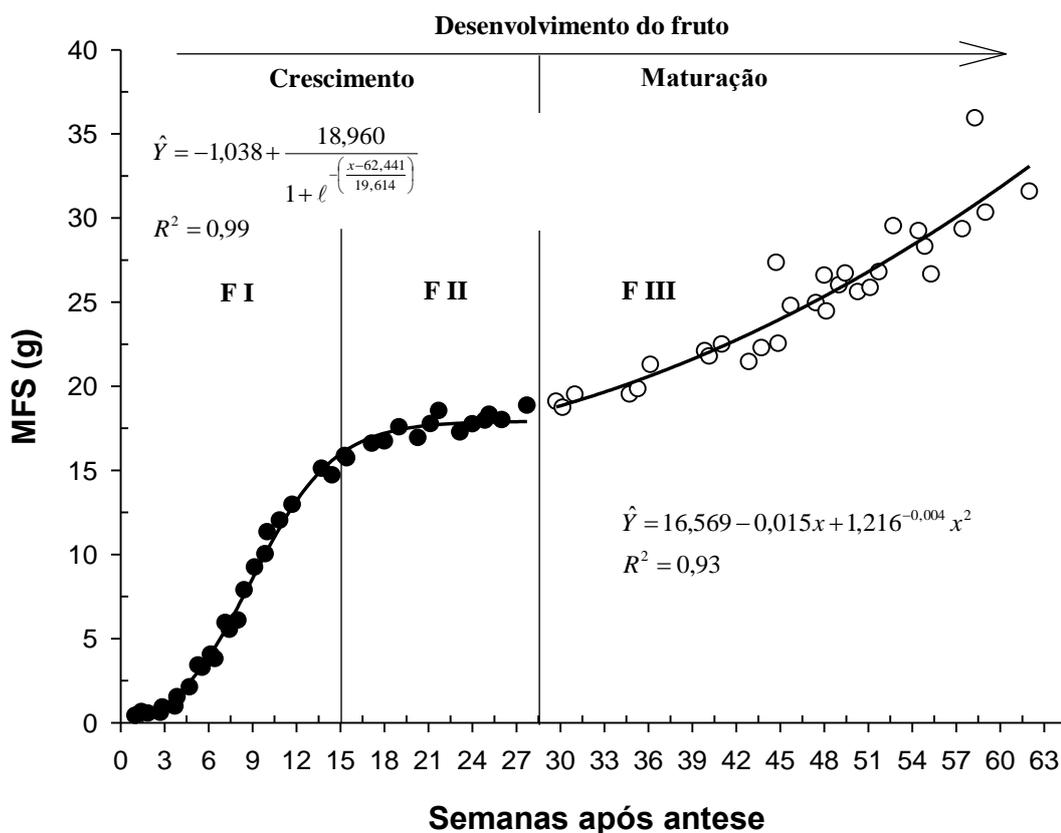


Figura 17: Massa do fruto seco (MFS) em relação às semanas após antese (SAA).

A constituição física do fruto teve mudanças significativas ao longo do desenvolvimento. Inicialmente, as seis SAA o fruto estava constituído por 50 % de epicarpo e 43 % de mesocarpo. As 10 SAA o endocarpo constituía aproximadamente 31 % da massa total do fruto seco, tonando-se junto com o epicarpo as partes predominantes dessa etapa de desenvolvimento. Entre a 18ª e 40ª SAA o mesocarpo representava em média 18 % e 30 % da massa do fruto seco logo após 40 SAA. Este incremento está diretamente relacionado com a síntese e acúmulo de ácidos graxos. Finalmente após 53 SAA o mesocarpo construía 33,88% do fruto, valores muito próximos aos reportados por CETEC, (1983). A polpa de macaúba, em base seca, representam entre 34,0 % a 48 % do fruto.

Quanto os frutos atingiram a maturidade fisiológica aproximadamente as 62 DAA o fruto estava constituído por: epicarpo 21,7 % (9 g), mesocarpo 29,92 % (10,5 g), endocarpo 30,17 % (6 g) e amêndoa 5,86 % (2 g), (Figura 18). Camacho et. al, (2005) estimaram que a semente de um fruto maduro de macaúba (endocarpo e amêndoa) tem uma massa seca de 9,64 g. A porção do endocarpo 7,29 g, o endospermo 2,38 g representando 75,39 e 24,61 % da massa seca da semente inteira.

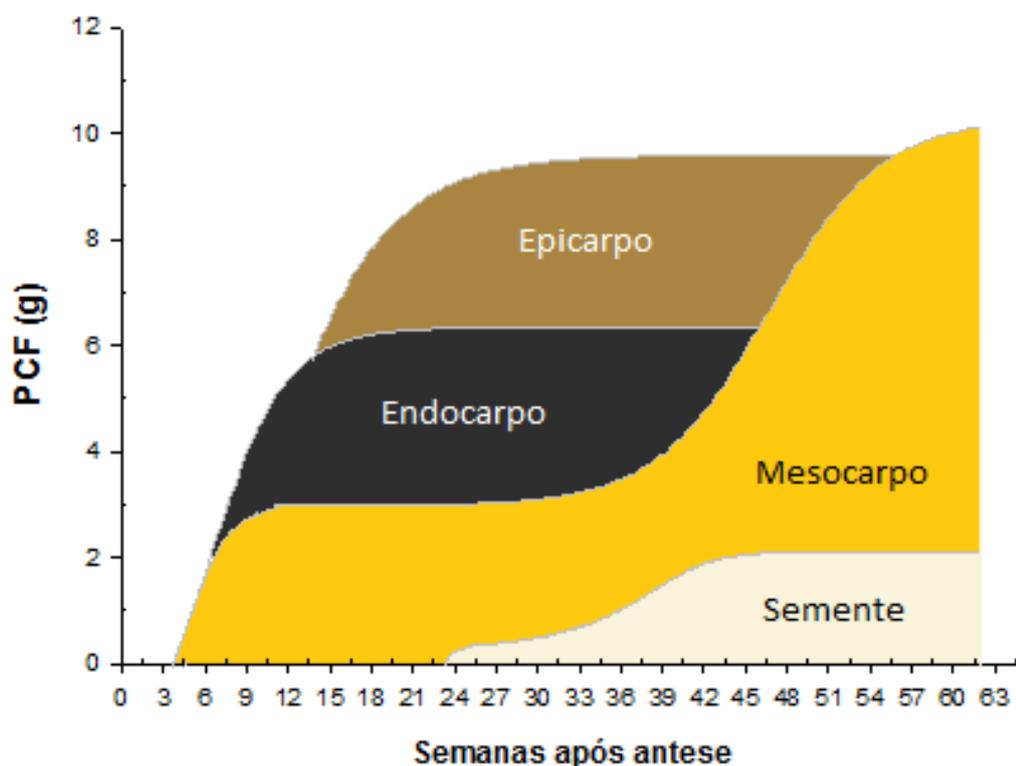


Figura 18: Massa seca das partes constituintes do fruto (PCF) em relação às semanas após antese. (SAA).

Assim como ocorre alterações físicas, estruturais e biométricas, observa-se que ao longo do desenvolvimento os frutos carnosos apresentam modificações bioquímicas, especialmente àquelas vinculadas ao tipo de reserva acumulado (Chitarra e Chitarra, 1990). Em geral os carboidratos, simples e complexos, são as macromoléculas mais comumente encontradas nos tecidos de reserva dos frutos e sementes; entretanto proteínas e ácidos graxos são também encontrados (Stone e Gifford 1999). A constituição química da reserva apresenta íntima ligação com o agente dispersor bem como o a biologia do processo germinativo do embrião (Pontes et al., 2002).

Os teores percentuais de açúcares não redutores (ANR) deste trabalho mostram sincronia com todas as fases físicas e químicas do desenvolvimento dos frutos da macaúba. Inicialmente o teor de ANR foi baixo, porém entre a 7^a e 14^a SAA foi observado um rápido incremento (figura 14a). Esta etapa corresponde ao período no qual o fruto atingiu o DET máximo (Figura 6b), e apresentou ganhos maiores de matéria fresca (Figura 6a), matéria seca (Figura 12) e o maior teor de água (Figura 4). Essa baixa concentração nas etapas iniciais sugere que os ANR no fruto foram rapidamente hidrolisados e consumidos em reações que demandam grandes quantidades de energia, como a respiração, transporte de solutos, divisão e crescimento celular. Por esse motivo os valores quantificados neste trabalho não apresentam um comportamento típico de uma molécula de reserva e sim de um intermediário entre locais onde ocorre intensa atividade bioquímica. Os ANR são moléculas hidrossolúveis, embora não doadoras de elétrons, podendo ser transportadas pelos tecidos vegetais com grande facilidade, sem sofrer redução química (Wang, et al 1993).

Durante a hidrólise da sacarose ocorre a liberação de dois tipos de açúcares redutores, glicose e frutose, podendo gerar gradiente osmótico negativo nas células, favorecendo o acúmulo de água nos tecidos incitando assim a expansão celular. Conseqüentemente observa-se um pico no teor de água juntamente ao crescimento, como detectados nos frutos da macaúba do presente estudo (Figura 19a). Igualmente atribui-se uma rápida conversão desses ANR em amido (Figura 20), como descrito na fase I do teor de amido (Figura 20). Após 19 SAA os ANR apresentaram valores relativamente estáveis e leve tendência a diminuir após 40 SAA. O teor de ANR não foi estatisticamente significativo, embora exista evidente dispersão no teor dos ANR após 19 SAA. O fruto como órgão vivo precisa de energia para respirar, sintetizar moléculas de reserva e finalmente para amadurecer. Esses fenômenos bioquímicos consomem energia a qual deve ser transportada na forma de ANR dos órgãos fonte como as folhas para os órgãos dreno, neste caso os frutos. O fornecimento de carboidratos deve ser regular até ocorrer a abscisão natural do fruto. Após a queda natural do fruto, a energia requisitada é proveniente das reservas acumuladas.

Os açúcares redutores (AR) como a glicose e frutose são considerados moléculas facilmente metabolizáveis (Dey e Harborne, 1997). Desta forma, a vertiginosa e rápida queda no teor destes açúcares observada entre a 7ª e 14ª SAA (Figura 19b) seria indicativo de que os mesmos estariam provendo os carboidratos necessários a dois processos distintos, porém igualmente relevantes para o desenvolvimento dos frutos: I. fornecimento de energia e precursores bioquímicos para o crescimento e desenvolvimento, II. matéria prima para a síntese de amido. De fato esta redução coincide com a fase mais evidente de crescimento dos frutos, compreendida entre a 6ª e 14ª SAA (Figura 17). Após 19 SAA houve uma estabilização no teor dos AR, comportamento diretamente relacionado com o estágio de amadurecimento geral dos frutos. Por esse motivo a concentração manteve-se constante até as 62 SAA, fornecendo assim energia suficiente para a manutenção, amadurecimento e posterior acúmulo de ácidos graxos no fruto.

Açúcares não redutores %

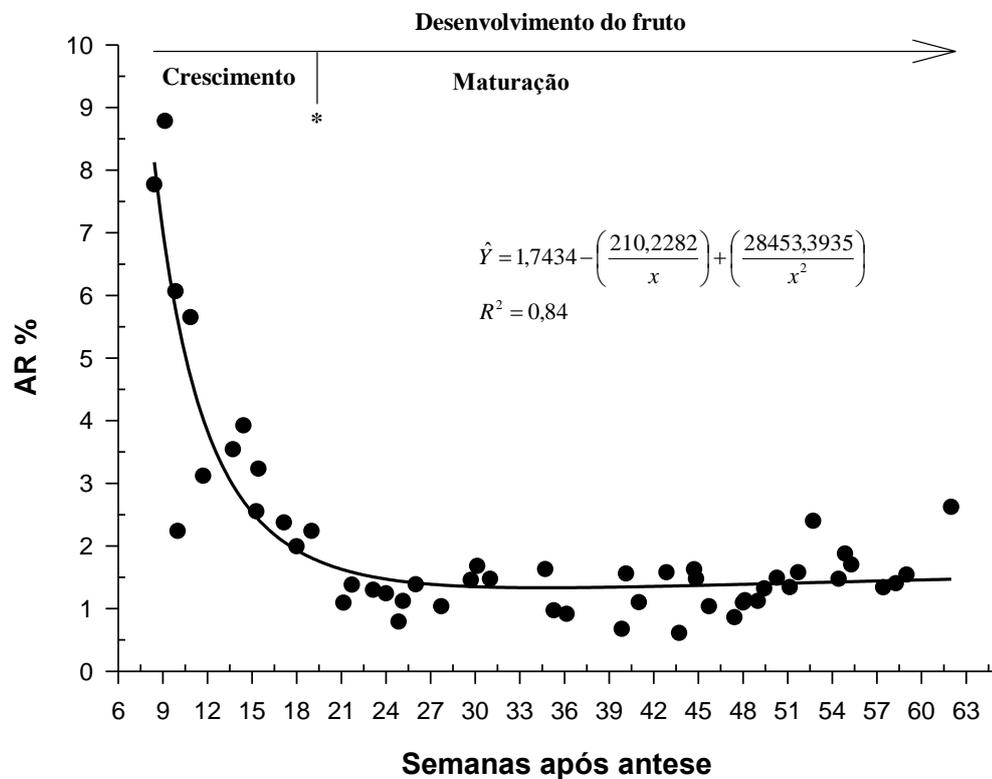
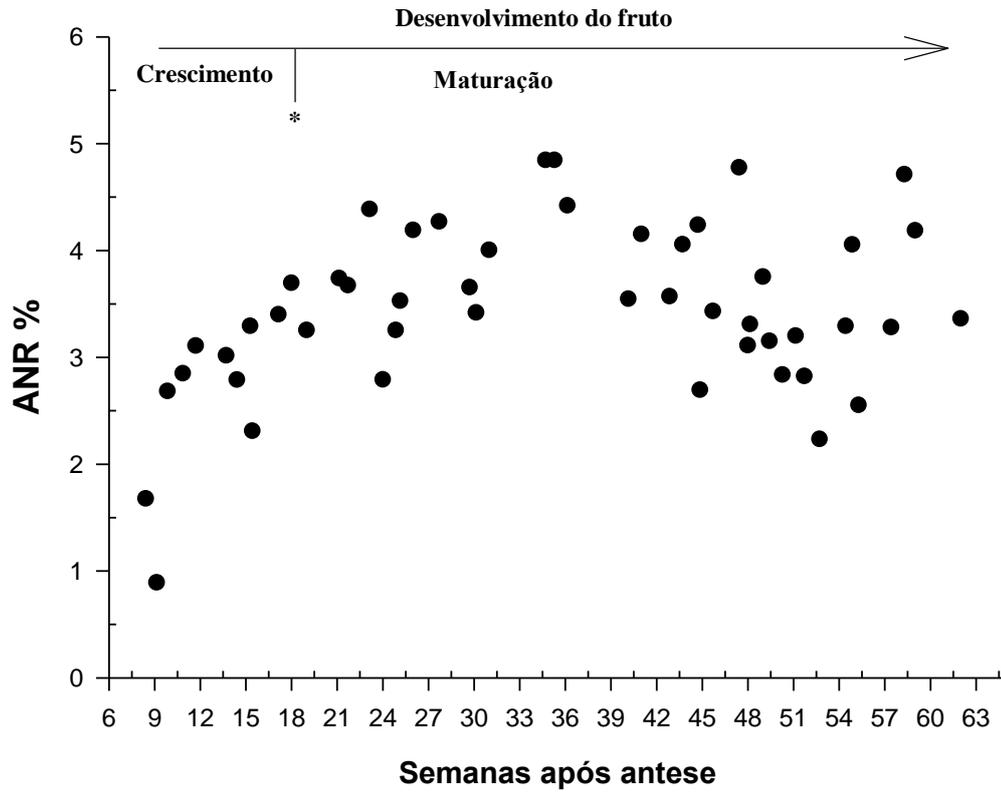


Figura 19: (a) Teor percentual de açúcares não redutores (ANR); (b) teor percentual de açúcares redutores (AR), do mesocarpo do fruto de macaúba em relação as semanas após antese (SAA).

O amido constitui um dos principais polissacarídeos de reserva vegetal, sintetizado nos plastídios e armazenado em diferentes órgãos da planta (Walker e Ho, 1977). No mesocarpo dos frutos da macaúba houve uma marcada variação no padrão do teor de amido acumulado longo do desenvolvimento, no qual foram diferenciadas três fases principais (Figura 20). Na fase I, compreendida entre a 7^a e 14^a SAA, houve um rápido acúmulo de amido. Esta fase esteve acompanhada por um intenso crescimento e diferenciação celular, onde o fruto atingiu seu tamanho definitivo (Figura 14a) e iniciou-se o processo de amadurecimento. Na fase II não houve acúmulo de matéria seca (Figura 17), e foi caracterizada pelo amadurecimento físico do fruto (Figura 11). Finalmente na fase III houve uma redução nas concentrações de amido a partir das 39 SAA, considerado este como o começo do período da maturação bioquímica dos frutos. Apesar de que o teor de amido apresentar uma tendência definida a partir da 7^a SAA, Reis et al., (2012) afirmam que em frutos de macaúba há acúmulo de amido durante todas as fases de desenvolvimento dos frutos, a contar da fecundação do ovulo.

O amido é uma molécula densa e pouco solúvel. Por esse motivo, deve ser quebrada em moléculas menores e moveis, as quais serão utilizadas no processo de amadurecimento do fruto. Contudo, cada fruto responde a diferentes processos bioquímicos na fase de amadurecimento. Em banana esta fase se inicia com a hidrólise do amido e culmina com o acúmulo de açúcares na polpa (Vilas Boas et al., 2001 e Almeida et al., 2006). Em manga, o amido é armazenado nas células parenquimáticas ao longo do amadurecimento do fruto, sendo fracionado em moléculas menores e móveis como os açúcares simples (Silva et al., 2013). Em contrapartida frutos que acumulam óleo em sua polpa, como o abacate podem apresentar acúmulo de amido inexpressivo, enquanto que AR e ANR apresentam um padrão crescente (França et al, 1999).

Os frutos de macaúba são reconhecidamente ricos em óleos quando maduros (Cargnin et al., 2008; CETEC, 1983). A síntese e o acúmulo de óleo nos tecidos de reserva está intimamente vinculado à disponibilidade de reservas polissacarídeos (França et al, 1999). No caso dos frutos da macaúba é possível que o amido acumulado até o fim da fase II (proximamente 29 SAA) seja a matéria-prima necessária ao processo, uma vez que a redução no teor de amido coincidiu temporalmente com o aumento no teor de óleo do mesocarpo (Figura 20 e 21).

O acúmulo de óleo no mesocarpo de frutos não senescentes foi linear, iniciando-se as 36 SAA e atingindo um valor máximo de 55 % as 62 SAA (Figura 21). Este valor

foi inferior aos reportados por CETEC (1983), que utilizaram frutos já depreendidos dos cachos. Desta forma postula-se que o fruto da macaúba não atingiu o seu máximo potencial de acúmulo de óleo, quando ainda aderido ao cacho, o que sugere um posterior incremento após a colheita, como foi constatado por Martins (2013).

Em dendê o acúmulo de óleo é mais rápido comparado com o fruto da macaúba. A deposição de óleo no mesocarpo do dendê (*Elaeis guineensis*) começou cerca de 15 SAA e continua até a maturidade do fruto, ao redor de 20 SAA (Bafor e Osagie, 1986; Sambanthamurthi et al., 2000).

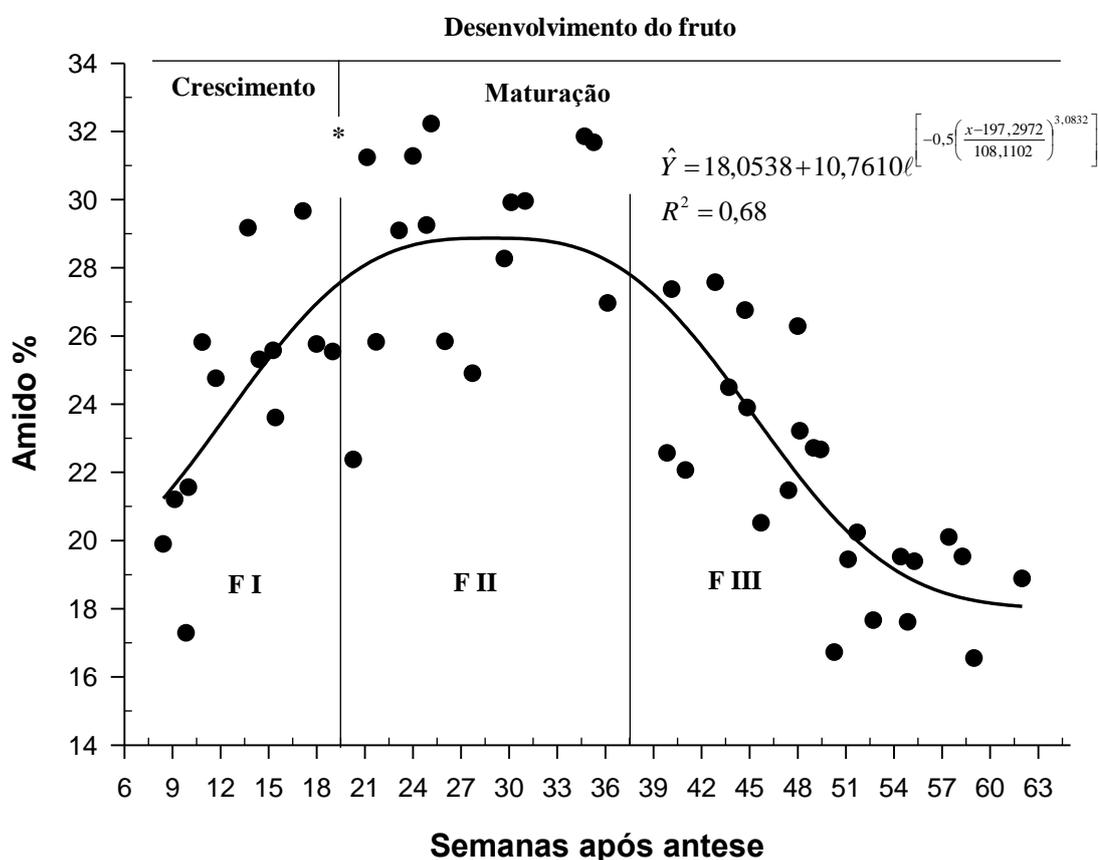


Figura 20: Teor percentual de amido do mesocarpo do fruto de macaúba em relação às semanas após antese (SAA).

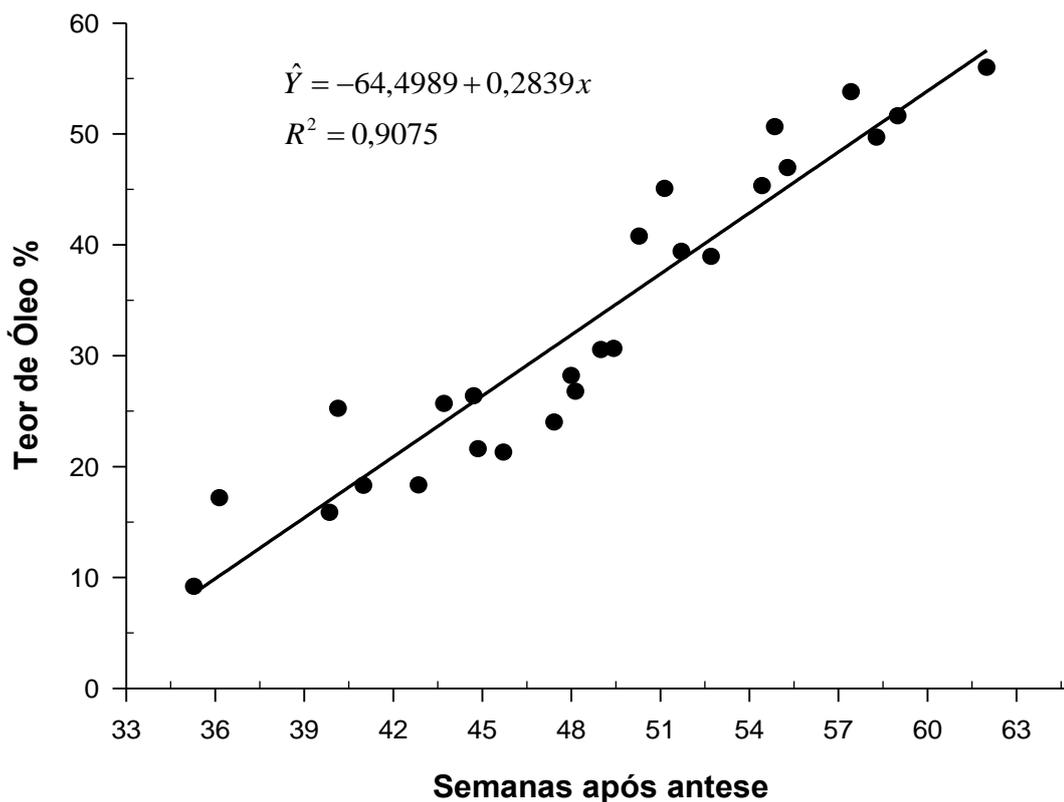


Figura 21: Teor percentual de óleo do mesocarpo do fruto de macaúba em relação as semanas após antese (SAA).

Após o início do acúmulo de óleo foi possível perceber uma leve mudança na coloração do mesocarpo, o qual adquiriu uma tonalidade marrom clara a partir das 45 SAA (Figura 11), característica visual que pode indicar mudanças bioquímicas como síntese e acúmulo principalmente de ácidos graxos e carotenoides nos tecidos. Em Iquitos (Peru), Ruiz et al. (2001) determinaram que os diferentes fenótipos de frutos de macaúba coletados naquela localidade foram identificados por sua forma e cor da polpa, sendo comercializada separadamente dependendo dos diferentes interesses industriais.

A polpa dos frutos de macaúba quando madura é rica em carotenoides e tocoferol em sua composição. Além destes componentes o óleo da polpa é rico em ácido oleico, ácido palmítico (Faria, 2010). No mesocarpo de outras palmáceas também há acúmulo de carotenoides. França et al. (1999) reportaram a presença de carotenoides no mesocarpo de buriti (*Mauritia flexouosa*) numa concentração de 10.430 (ppm) e tocoferóis 19.600 (ppm).

Os carotenoides conferem a coloração marrom amarela ao óleo e atuam como antioxidantes contra condições de certas doenças cardiovasculares, certos cânceres,

distúrbios neurológicos, entre outros (Gama et al., 2007). Os tocoferóis também possuem atividade antioxidante, atuam protegendo os ácidos graxos insaturados da oxidação e no corpo humano apresentam atividade biológica na forma de vitamina E (Ching et al., 2001).

Estima-se que as concentrações do amido continuem diminuindo após a abscisão do fruto, e conseqüentemente haja um incremento no teor de óleo, após a colheita como reportado por Martins, (2013). Embora, a degradação e mobilização das reservas na planta ou fora dela possam sofrer algum tipo de alteração. Em banana, a atividade de algumas enzimas, e a produção da sacarose são diferentes em frutos que amadurecem ligados à planta mãe e em frutos colhidos. Condição que sugere a ação de hormônios transportados da planta para o fruto, como o ácido indolacético (AIA) ou as giberelinas (Purgatto, et al., 2001). Este tipo de informações podem auxiliar na determinação do padrão de amadurecimento dos frutos da macaúba, uma vez colhidos antes da abscisão natural dos frutos.

5. CONCLUSÕES

Após a abertura da espata tanto a flor feminina quanto a flor masculina sofreram algumas mudanças visuais como coloração, tamanho, presença de tricomas, entre outros. A flor masculina apresentou maiores mudanças físicas do que a flor feminina. A antese da flor masculina ocorreu 24h após a abertura da espata (HAAP), expondo o androceu e os grãos de pólen as 36 HAAP. A flor masculina estava coberta por pelos superficiais, tricomas, os quais aproximadamente uma semana após antese tornaram-se marrons devido à presença de metabólitos secundários, como taninos. Os tricomas caíram naturalmente 10 semanas após antese da flor masculina (SAA).

Uma semana após a abertura da espata o epicarpo tinha uma coloração verde clara, embora a presença de tricomas na superfície do fruto tornava-o marrom. Na 8ª SAA a presença dos pelos superficiais era mínima, permitindo assim visualizar a coloração verde intensa do epicarpo. A partir da 15ª SAA o epicarpo dos frutos tornou-se parcialmente marrom, adquirindo uma coloração marrom escura homogênea às 25 SAA.

O desenvolvimento dos frutos de macaúba desde a fertilização do óvulo até a maturidade fisiológica ainda no cacho é longo. Este fenômeno foi estimado em 62 SAA o que confirma a natureza supra-anual desta espécie. O fruto da macaúba apresentou um rápido crescimento nas primeiras semanas após a abertura da espata (SAAP) atingindo o diâmetro externo transversal (DET) máximo do fruto na 11ª SAA, acompanhado pelo acúmulo de matéria seca do epicarpo e endocarpo, os quais apresentaram o mesmo padrão de crescimento sigmoide simples. O acelerado crescimento inicial do fruto esteve acompanhado por um pico no teor de água 87 % às 9 SAA e considerado o menor teor de água do fruto ainda no cacho 28% às 62 SAA.

As partes constituintes do fruto, epicarpo, mesocarpo e endocarpo parcialmente diferenciadas foram fisicamente separadas na 6ª SAA. Porém as 14 SAA foram completamente diferenciadas. O epicarpo e o endocarpo consideradas estruturas de proteção foram descritas por um comportamento sigmoide simples com uma marcada fase de crescimento entre a 6ª e 14ª SAA (epicarpo) e a 6ª e 21ª SAA (endocarpo). A semente (amêndoa), só apresentou uma fase de ganho de massa seca, entre a 25ª e 43ª SAA. Posteriormente houve uma leve dispersão das observações devido à presença de mais de uma semente por fruto. Entretanto, o mesocarpo foi descrito por um padrão

sigmoide duplo, com duas fases de crescimento compreendidas entre a 6ª e a 9ª SAA, Fase I, e a Fase II entre as 36 e 62 SAA, prévio a abscisão natural do fruto.

A massa total do fruto fresco (MFF) e seco (MFS) mostraram padrões de crescimento diferenciados. O padrão de crescimento da MFF foi descrita por um comportamento sigmoide simples com fase rápida de acúmulo de matéria fresca entre a 1ª e 7ª SAA. A MFS teve um comportamento sigmoide duplo, com uma fase I entre a 1ª e 14ª SAA e uma Fase II, as 28 SAA. Esta ultima fase apresentou um ganho gradual e lento de matéria seca, embora não atingiu o platô. Isto sugere que o fruto de macaúba continua acumulando massa seca após a abscisão natural do fruto.

O acúmulo de matéria do mesocarpo seco apresentou padrão sigmoide duplo, com uma fase de crescimento entre a 1ª e 14ª SAA e a fase de maturação, dividida em duas etapas. A etapa I, maturação física dos tecidos compreendida entre as 14 e 36 SAA e a etapa II, a maturação bioquímica, caracterizada pelo acúmulo de reservas a partir dos 36 SAA.

Tanto o mesocarpo, o endocarpo e a semente tiveram leves mudanças de coloração e textura ao longo do desenvolvimento do fruto. Inicialmente, o mesocarpo embranquecido, tornou-se verde claro as 7 SAA e marrom claro a partir das 45 SAA. Quando o fruto alcançou a maturidade fisiológica ainda no cacho, as 62 SAA o mesocarpo tinha uma coloração marrom acentuada, o que está relacionado com a presença e acúmulo de ácidos graxos. Por outro lado o endocarpo branco até a 15ª SAA tornou-se preto e altamente rígido entre as 25 e 27 SAA. Entre tanto a semente (amêndoa) foi a ultima estrutura componente do fruto a ser formada. Inicialmente gelatinosa e transparente até a 14ª SAA foi fisicamente separada do endocarpo as 15 SAA, formada aproximadamente as 18 SAA e atingiu a massa seca máxima às 43 SAA. O acúmulo de matéria seca da amêndoa teve padrão sigmoide simples, dividido em duas fases. Fase I de crescimento compreendido entre as 25 e 41 SAA. E a fase II de maturação às 41 SAA.

O fruto de macaúba atingiu a maturidade fisiológica ainda no cacho as 62 SAA, de aparência brilhante, casca quebradiça e de coloração marrom escuro homogênea. Nesta etapa de desenvolvimento o fruto estava constituído por: epicarpo (21,57%), mesocarpo (29,92%), endocarpo (30,17%) e amêndoa (5,86%).

O acúmulo de reservas no mesocarpo do fruto da macaúba teve comportamentos diferenciados, embora estima-se que há uma relação entre o acúmulo e degradação das reservas. O teor percentual dos açúcares não redutores (ANR) apresentou aumento considerável entre a 7ª e 19ª SAA, e uma leve redução após 40 SAA. O teor de AR sofreu uma queda acentuada entre a 7ª e 14ª SAA e estabilizou-se em aproximadamente 1,3 % após 19 SAA.

O teor de amido foi descrito por três fases principais. Fase I compreendida entre a 7ª e 19ª SAA caracterizada por acúmulo rápido de amido atingindo valor máximo de 28 %. Fase II ou fase de latência na qual não houve acúmulo de amido (19-36 SAA). E a fase III a partir das 36 SAA, caracterizada por redução acentuada do teor de amido. Por outro lado o acúmulo de óleo apresentou um padrão linear a partir das 36 SAA com um valor inicial de 9 % e 55 % as 62 SAA. A redução no teor percentual do amido e o aumento no teor de óleo representam uma relação entre a degradação do açúcar e a síntese de ácidos graxos a partir das 36 SAA.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARGANDOÑA, S. E. J.; CHUBA, C. A. M. (2011) Caracterização biométrica, física e química de frutos da palmeira bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. **Rev. Bras. Frutic.** Jaboticabal-SP, 33: 3, 1023-1028 p.
- ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. (1998) Cerrado, espécies vegetais úteis. Planaltina, DF: EMPRAPA-CPAC. 464 p.
- ALMEIDA, G. C.; BAFOR, M.E. e OSAGIE A.U. (1986). Changes in lipid class and fatty acid composition during maturation of mesocarp of oil palm (*Elaeis guineensis*) variety Dura. **J. Sci. Food Agric.**, 37: 825–832
- BAFOR, M.E. e OSAGIE A.U. (1998). Changes in non-polar lipid composition of developing oil palm fruit (*Elaeis guineensis*) mesocarp. **J. Sci. Food Agric.**, 45: 325–331
- CAMACHO, B.; GARCÍA, D.; GONZÁLEZ, M.; ÁLVAREZ, M.; MEDINA, M. J. E. (2005). Physicochemical evaluation of seed end seed oil of corozo (*Acrocomia aculeata* Jacq.). **Grasas y Aceites.** 56: 311-316.
- CARGNIN, A.; JUNQUEIRA, N. T. V.; FOGACA, C. M.; COSTA, C. J.; PIMENTA DE AGUIAR, L. (2008). Potencial da Macaubeira como Fonte de Matéria prima para Produção de Biodiesel; Documentos 217, Embrapa Cerrados, Planaltina, Brazil.
- CARVALHO, J.E.U.; NAZARÉ, R.F.R.; OLIVEIRA, W.M. (2003) Características físicas e físico-químicas de um tipo de bacuri (*Platonia Insignis* Mart.) com rendimento industrial superior. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 25, p.326-328.
- CETEC-Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (1983). **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos Vegetais.** Volume 1: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais Relatório final de projeto Convênio STI-MIC / Governo do Estado de Minas Gerais / Secretaria de Estado de Ciência Tecnologia.
- CHING, L.S.; MOHAMED, S. (2001). Alpha-tocopherol content in 62 edible tropical plants. **J Agri Food Chemistry.**, v.49, p.3101-3105.

- CHITARRA, M. I. F. e CHITARRA, A. B. (1990) PÊS-colheita de frutos e hortaliças. Fisiologia e manuseio. Lavras: ESAL/FAEPE. 320 p.
- CHUBA, C. A. M.; TOMMASELLI, M. A. G.; SANTOS, W. L.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. (2008) Parâmetros biométricos dos cachos e frutos da bocaiuva. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 20. Vitória, Incaper.
- CICONINI, G., PALMA, S., F., ROSCOE, R. (2012) Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.
- CONNORS, C.H. (1919) Growth of fruits of peach. New Jersey Agricultural Experiment Station Annual Report, New Jersey, v.40, p.82-88.
- DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. (1956) Colorimetric Method for determination of sugars and related compounds. **Analytical Chemistry**, v.28, n.3, p.350-356.
- FARIA, L.A. (2010). Hidrólise do óleo da amêndoa da macaúba com lípase extracelular de *Colletotrichum gloeosporioides* produzida por fermentação em substrato líquido. [Dissertação de Mestrado].
- FRANÇA, L. F.; REBER, G.; MEIRELES, A.; MACHADO, N.; BRUNNER, G. (1999). **Journal of Supercritical Fluids** **14** 247–256 Supercritical extraction of carotenoids and lipids from buriti (*Mauritia flexuosa*), a fruit from the Amazon region.
- GAMA, J.J.T.; SYLOS, C. M. (2007) Effect of thermal pasteurization and concentration on carotenoid composition of Brazilian Valencia orange juice. **Food Chemistry**. 100: 1686-1690.
- HARTLEY, C. W. S. (1988). The Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.), 3rd edition, pp: 207–210. **Harlow: Longman Scientific and Technical Company**.
- HIANE PA, Ramos Filho MM, Ramos MIL, Macedo MLR (2005). Bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., Pulp and Kernel Oils; characterization and Fatty acid Composition. **Braz. J. Food. Technology**. 8: 256-259.
- Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA. (2009) Biocombustível em foco. Boletim Informativo. Novembro – Nº 11. Disponível em: <http://www.iica.org.br>.

MACHADO, G. C.; CHAVES, J. B.; ANTONIASSI, R. (2006). Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco Babaçu. **CERES**. 53(308):463-470.

MARTINS, A. D. (2013). Radiação gama e secagem na conservação da qualidade do óleo de frutos de Macaúba. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa (UFV), de Pós-Graduação em Fitotecnia.

Mc CREADY, R.M., GUGGOLZ, J., SILVIERA, V. & OWENS, H.S. (1950) Determination of starch and amylose in vegetables. **Application to peas. Analytical Chemistry**. 22: 1156-1158.

MOTTA, P.E.F.; CURI, N.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; GOMES, J.B.V. (2002) Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. *Pesq. Agropec.Bras.*, v.37, n.7, p.1023-1031.

NELSON, N. A (1944). Photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *Journal of Biological Chemistry*, Bethesda. 153: 375-380.

OO, K. C., TEH S. K., KHOR H.T. e AUGUSTINE S.H.O., (1985). Fatty acid synthesis in the oil palm (*Elaeis guineensis*): incorporation of acetate by tissue slices of the developing fruits. **Lipids**, 20: 205–209.

PEREIRA, E. A., QUEIROZ, A. J. DE M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. (2012). Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**. 6: 3, 526-530 p.

PONTES, A. C., BORGES, E. E., BORGES, R. G. SOARES, B. C. (2002). Mobilização de reservas em sementes de *Apuleia leiocarpa* (Vogel). **Sociedade de investigações florestais.R. Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.5, 593-601 p.

PURGATTO, E.; LAJOLO, F. M.; NASCIMENTO, J. R. O.; CORDENUNSI, B. R. (2001). Inhibition of b-amylase activity, starch degradation and sucrose formation by IAA during banana ripening. **Planta, Berlin**, v. 212, n. 5-6, p. 823-828, 2001.

RASTEGAR, S. A.; RAHEMI, M.; BAGHIZADEHB, A.; GHOLAMI, M. (2012). Enzyme activity and biochemical changes of three date palm cultivars with different softening pattern during ripening **Food Chemistry**. 134 1279–1286

- REIS, A. A.; PROTÁSIO, T. P.; MELO, I. C. N. A.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. (2012) Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo**, 32: 71, 277-290 p.
- RUIZ, R. R.; PANDURO, G.R.; MELÉNDEZ, P.R.; JARANA, C.F.S.; SIAS, C.R.; FLORES, C. L.; RIOS, C. M.; NORIEGA, D. T.; VÁSQUEZ, J O.; ALVAN, W.S.; ISUIZA, V. M.; SALINAS, H.L.; GONZA, N. V.; FASABI, N. C.; RUIZ, J. S.; OLIVEIRA, V. R. L.; RUIZ, F. M. P. (2001). Comercialización de massa y “fruto verde” de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) em Iquitos (Perú). **Folia Amazónica**, Iquitos, v. 12, n. 1-2, p. 15-38.
- SAMBANTHAMURTHI, R., K. SUNDRAM AND Y. TAN, (2000). Chemistry and biochemistry of palm oil. **Prog. Lipid Res.**, 39: 507–558.
- SILVA, O., P., RIBEIRO, M., L., SIMOES, M., O., LOPES, N., P.,S., FARIAS, M., T., GARCIA, S., Q. (2013). Fruit maturation and in vitro germination of macaw palm embryos. **African Journal of Biotechnology**. 30 January, v. 12 (5). 446-452p.
- SOMOGYI, M. (1945). A new reagent for the determination of sugars. **Journal of Biological Chemistry, Bethesda**, v.160, 61-68p.
- STONE, S. L. e GIFFORD, D. J. (1999). Structural and biochemical changes in Loblolly pine (*Pinus taeda*) seeds during germination and early seedling growth. II. Storage triacylglycerols and carbohydrates. **International Journal Plant Science**, v. 160, n. 4, p. 663-671.
- VILAS BOAS, E. V. B.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; MENEZES, J. B. (2001) Características da fruta: banana pós-colheita. **Brasília: EMBRAPA** 15-19p. (Série Frutas do Brasil, 16).
- WANG, F., SANZ, A., BRENNER, M., SMITH, A. (1993). Sucrose Synthase, Starch Accumulation, and Tomato Fruit Sink Strength. **Plant Physiology**. 101: 321-327.

ANEXO I

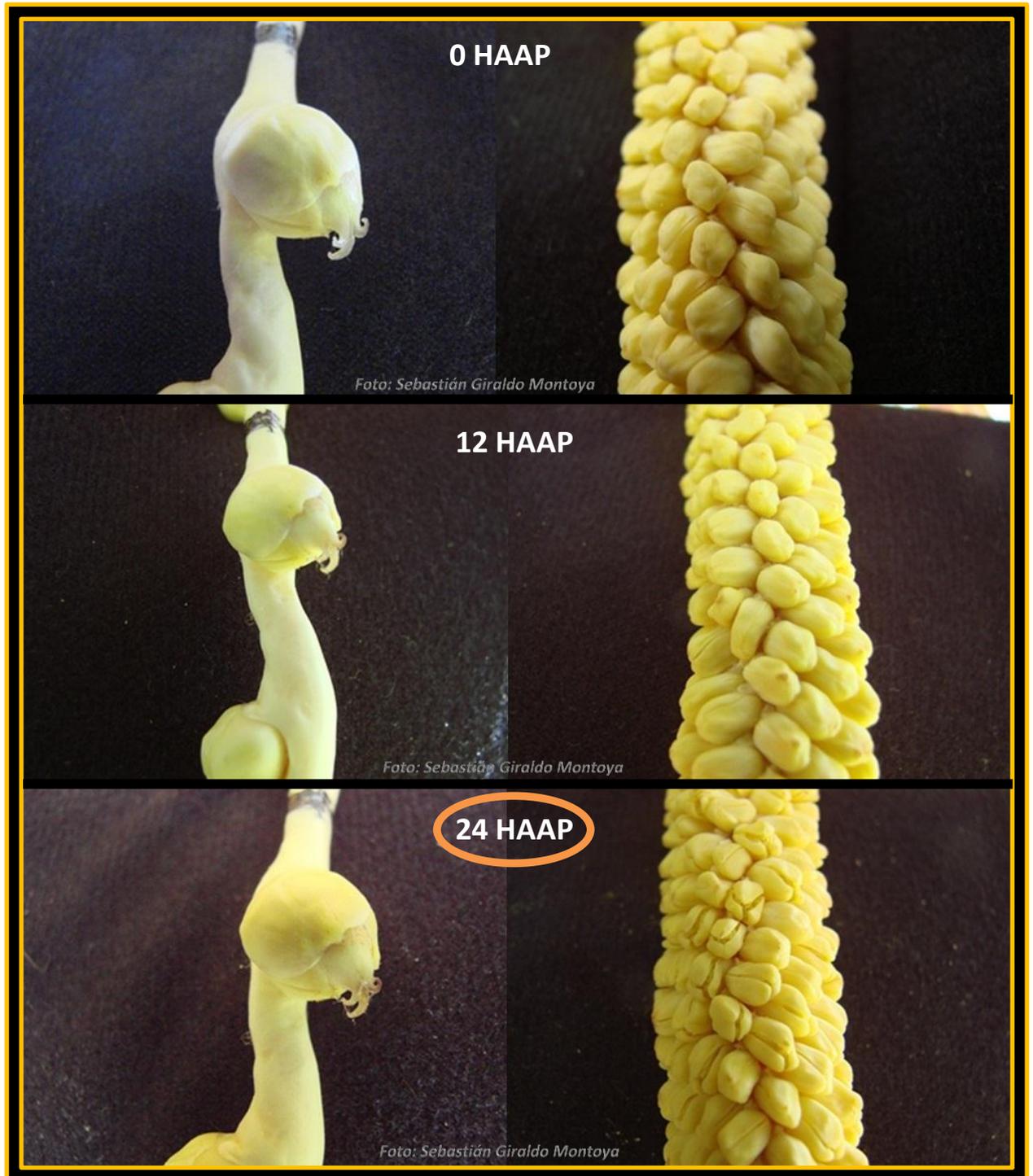


Figura 22: Sequencia fotográfica da flor feminina e masculina de macaúba, a partir das 0 horas após a abertura da espata (HAAP).

- **NOTA:** A idade dos frutos foi contabilizada 24h após a abertura da espata (HAAP), estágio no qual houve a abertura parcial das pétalas da flor masculina, como foi descrito no Material e métodos.

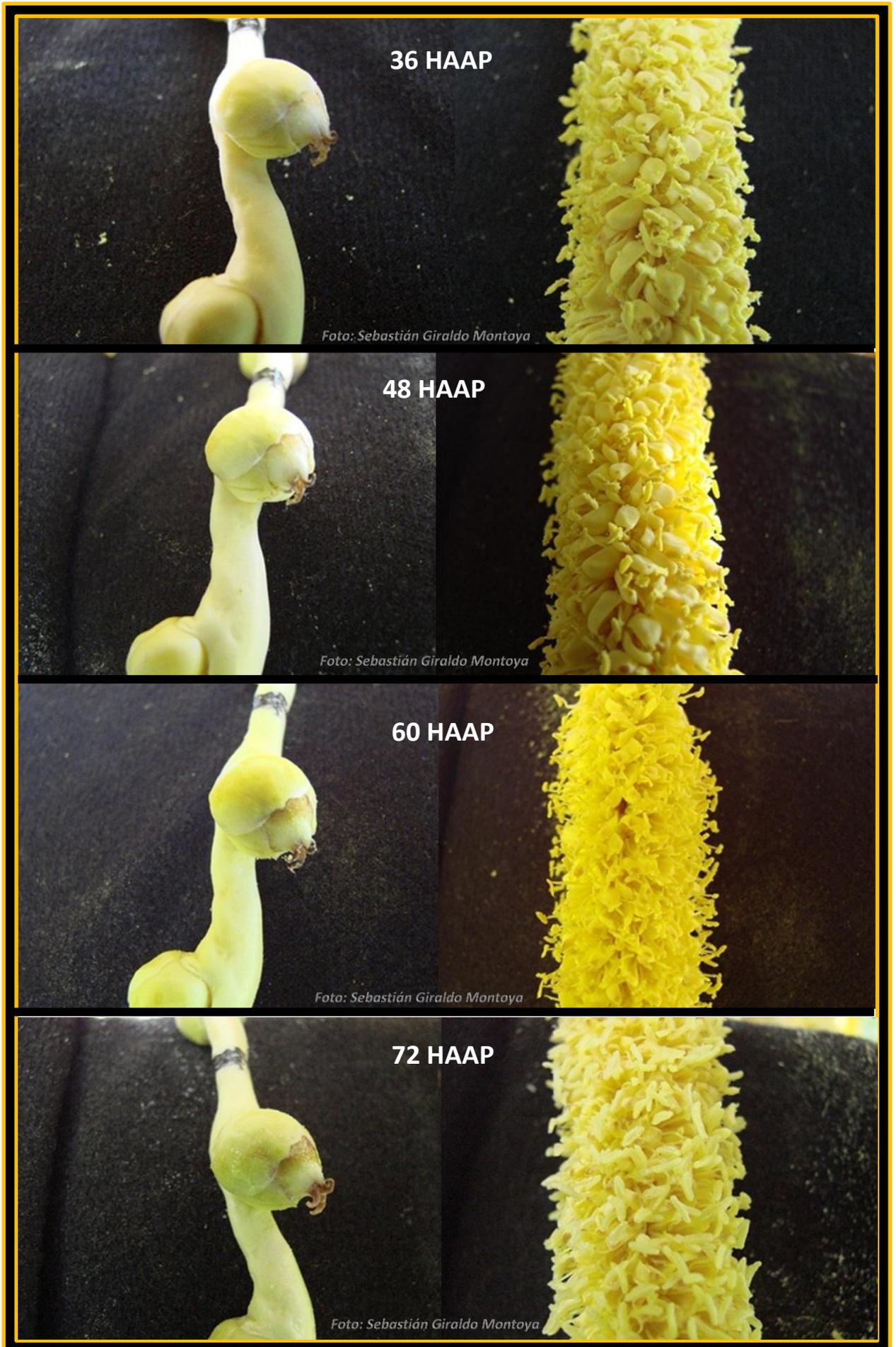


Figura 23: Sequencia fotográfica da flor feminina e masculina de macaúba, entre as 36 às 72 horas após a abertura da espata (HAAP).

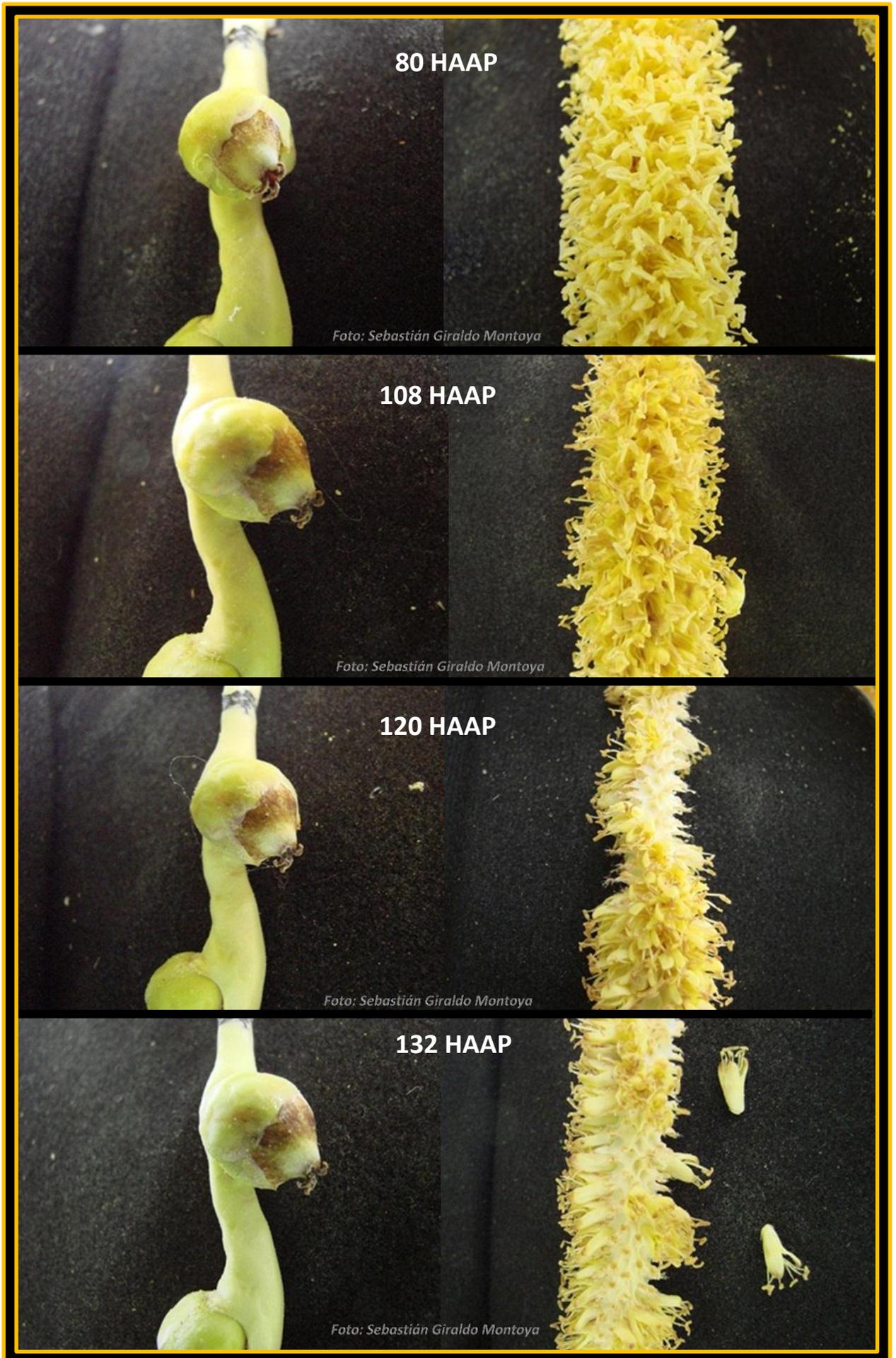


Figura 24: Sequencia fotográfica da flor feminina e masculina de macaúba, entre as 36 às 72 horas após a abertura da espata (HAAP).

ANEXO II

Análise de variância (ANOVA) da matéria seca das partes constituintes do fruto, epicarpo, endocarpo, mesocarpo e semente do fruto de macaúba.

Tabela 1. Análise de variância da massa do fruto fresco de macaúba em função das semanas após antese (SAA).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P > F
Regressão	1	97314.80	97314.80	423.21	0.0001
Independente	663	152453.9	229.9456		

Tabela 2. Análise de variância da massa do fruto seco de macaúba em função das semanas após antese (SAA).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P > F
Regressão	1	49739.26	49739.26	3061.73	0.0000
Independente	625	10153.42	16.24547		

Tabela 3. Análise de variância do diâmetro externo transversal do fruto de macaúba em função das semanas após antese (SAA).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P > F
Regressão	1	26372.82	26372.82	345.09	0.0001
Independente	655	50057.58	76.42379		

Tabela 4. Análise de variância da massa do epicarpo seco do fruto de macaúba em função das semanas após antese (SAA).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P > F
Regressão	1	421.1353	421.1353	206.94	0.0000
Independente	506	1029.736	2.035051		

Tabela 5. Análise de variância da massa do mesocarpo seco do fruto de macaúba em função das semanas após antese (SAA).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P > F
Regressão	1	2199.706	2199.706	834.82	0.0000
Independente	506	1333.279	2.634940		

Tabela 6. Análise de variância da massa do endocarpo seco do fruto de macaúba em função das semanas após antese (SAA).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P > F
Regressão	1	3401.748	3401.748	641.27	0.0000
Independente	508	2694.787	5.304700		

Tabela 7. Análise de variância da massa da semente seca do fruto de macaúba em função das semanas após antese (SAA).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P > F
Regressão	1	92.57640	92.57640	114.39	0.0000
Independente	245	198.2811	0.8093105		

Análise de variância (ANOVA) dos teores percentuais de amido, açúcares redutores (AR) e açúcares não redutores (ANR) do fruto de macaúba.

Tabela 8. Análise de variância do teor percentual de amido, açúcares redutores e açúcares não no mesocarpo do fruto de macaúba em função das semanas após antese (SAA).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P > F
Regressão	1	391.7956	391.7956	18.57	<0.0000
Independente	102	2151.750	21.09559		

Tabela 9. Análise de variância do teor de açúcares redutores no mesocarpo do fruto de macaúba em função das semanas após antese (SAA).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P > F
Regressão	1	95.22720	95.22720	40.77	0.0000
Independente	102	238.2140	2.335432		

Tabela 10. Análise de variância do teor de açúcares não redutores no mesocarpo do fruto de macaúba em função das semanas após antese (SAA).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P > F
Regressão	1	0.3165736	0.3165736	0.15	*****
Independente	102	219.0208	2.147263		

ANEXO III

A floração da macaúba não é homogênea, se concentra nos meses de maior pluviosidade (novembro-janeiro). Esse fato impossibilita estimar a maturidade fisiológica dos frutos e conseqüentemente não há um parâmetro fixo que determine o índice de colheita. Igualmente, a frutificação desta palmeira é supra anual (acima de 12 meses) e os frutos permanecem no cacho por até 16 meses até a abscisão dos mesmos.

Devido à inexistência de testes práticos “*in situ*” que possibilitem estimar o estágio de desenvolvimento dos frutos pensou-se em uma tecnologia simples que utilizada em campo possa fornecer informações relevantes para determinar o estágio de desenvolvimento dos frutos de macaúba.

Baseado nas informações deste estudo criou-se o aplicativo Androide versão 4.0 *MacFruit*. Este aplicativo fornece tanto características físicas quanto químicas do desenvolvimento do fruto de macaúba ainda no cacho. *MacFruit* apresenta dois tipos de entrada (valor fornecido ao programa), massa do fruto seca (MFS) e idade estimada do fruto (IEF). Digitando a primeira entrada MFS em gramas (g) o aplicativo fornece uma resposta da idade aproximada do fruto expresso em semanas após antese (SAA). A segunda entrada IEF estima a massa média das partes constituintes do fruto (epicarpo, mesocarpo, endocarpo, semente) e os teores percentuais de amido, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não redutores (ANR).

Este aplicativo foi criado pensando do pequeno ao grande de produtor de macaúba possibilitando o uso desta tecnologia em campo. Este programa é suportado pelas plataformas 4.0 e 4.2 tipo Androide e será disponibilizado no site www.remape.ufv.br da Rede Macaúba de Pesquisa (REMAPE).