

# Caracterização físico-química e histológica do desenvolvimento de sapoti<sup>1</sup>

## Physico-chemical and histological characterization of the development of sapodilla

Maria Raquel Alcântara de Miranda<sup>2,\*</sup>, Heloisa Almeida Cunha Filgueiras<sup>3</sup>, Ricardo Elesbão Alves<sup>3</sup>, Arlete Aparecida Soares<sup>4</sup> e Abdellatif Kameleddine Benbadis<sup>5</sup>

**Resumo** – O sapoti é um fruto tropical com grande potencial de comercialização, porém ainda insuficientemente estudado. Objetivamos estudar o desenvolvimento do sapoti caracterizando alterações físicas, químicas e histológicas, procurando identificar índices de maturidade dos frutos. Os saptotis foram marcados no início do seu desenvolvimento apresentando 8 mm de diâmetro, colhidos após 45; 60; 90; 120; 150 e 180 dias e analisados quanto à massa fresca e seca, firmeza, comprimento, diâmetro, conteúdo de açúcares solúveis totais, de amido, de compostos fenólicos, produção de etileno e CO<sub>2</sub> no climatério e caracterizados histologicamente por microscopia óptica. Verificou-se que os saptotis demoraram seis meses para alcançar sua maturidade fisiológica apresentando massa média de 127 g e diâmetros transversal e longitudinal médios de 61 mm e 49 mm, respectivamente. Nesse estágio, os frutos exsudavam pouco látex quando removidos da planta-mãe e possuíam aproximadamente 20% de açúcares solúveis totais e 4% de amido. O amadurecimento dos frutos colhidos aos 180 dias ocorreu ao 7º dia após a colheita com um padrão climatérico de respiração. Os estudos microscópicos mostraram que, após o climatério, o sapoti apresentou uma clara desorganização estrutural do tecido e ausência de células laticíferas.

**Palavras-chave** - *Manilkara zapota* - Maturidade. Anatomia. Ponto de colheita.

**Abstract** – Sapodilla is a tropical fruit with great marketing potential that has not been investigated thoroughly. The objectives of the present study were to characterize the physical, chemical and histological changes of sapodilla and to identify harvest maturity indices relating these variables. Sapodilla were tagged at the beginning of the development with 8 mm in diameter, harvested after 45; 60; 90; 120; 150 and 180 days later and analyzed for fresh and dry weight, transversal and longitudinal diameters, total soluble sugars, starch and phenols contents, for CO<sub>2</sub> and ethylene production and tissue histology with an optical microscope. Sapodilla reached the physiological maturity stage after six months with an average weight of 127 g and transversal and longitudinal mean diameters of 61 mm and 49 mm, respectively. At this stage, there was little latex seepage when fruits were detached from the plant and the total soluble sugars and starch contents were 20% and 4%, respectively. These fruit, harvested at 180 days, ripened 7º days later with a climacteric respiratory pattern and the microscopic studies showed that post-climacteric fruit presented a clear tissue disorganization and absence of latex cells.

**Key words** - *Manilkara zapota*-Maturity. Anatomy. Harvest index.

\* autor para correspondencia

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 07/04/2008; aprovado em 23/07/2008

Parte da Tese de Doutorado defendida em 2002 pela primeira autora – Depto. de Fitotecnia/UFC, Bolsista CAPES

<sup>2</sup>Bióloga, Dra., do Depto. de Bioquímica e Biologia Molecular/UFC, C. P: 6039, CEP: 60 541-970, Fortaleza, CE, rmiranda@ufc.br

<sup>3</sup>Pesquisadores, Drs., Embrapa Agroindústria Tropical, hcafilgueiras@cnpat.embrapa.br

<sup>4</sup>Bióloga, Dra., Professora do Depto. de Biologia/UFC, arlete@ufc.br

<sup>5</sup>Ciências Naturais, Ph. D., Professor do Depto. de Fitotecnia/UFC, benbadis@ufc.br

## Introdução

O sapotizeiro (*Manilkara zapota* L. Von Royen) é uma planta tropical originária da América Central (POPENOE, 1920) cujos principais produtos de exploração são os frutos e o látex. Essa espécie da família Sapotaceae se adaptou bem em praticamente todas as regiões do Brasil, onde é cultivada essencialmente por seus frutos. No Ceará, a produção de sapoti concentra-se na região metropolitana de Fortaleza, sendo principalmente proveniente de plantios domésticos antigos. Essa situação está sendo revertida com incentivos à pesquisa visando a seleção de plantas, identificação das melhores condições de cultivo do sapotizeiro e esclarecimento de sua fisiologia (MIRANDA et al., 2002c; MIRANDA et al., 2002a; MORAIS et al., 2006). Aos poucos, pomares estão sendo plantados utilizando mudas enxertadas de boa qualidade e técnicas de irrigação adequadas.

O sapotizeiro possui uma grande variabilidade que pode ser facilmente observada em seus frutos, os quais apresentam diferenças nas formas e tamanhos, cor da polpa, sabor e aroma e no número de sementes. No Brasil, a primeira cultivar foi desenvolvida em 1983, a 'Itapirema-31' seguida pela 'Chocolate' em 1999, ambas estabelecidas por pesquisadores da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA. Em 2003, a Embrapa Agroindústria Tropical lançou as cultivares 'BRS 228-Sapota Tropical' e 'BRS-227-Sapoti IPA-Curu'.

Alguns indicadores físicos são usados de modo arbitrário na identificação do estágio de maturação dos saptotis na planta. Alguns exemplos são a queda do estigma da extremidade do fruto, a perda da granulidade da casca que se torna lisa, e o fato de não ocorrer exsudação de látex ao se arranhar levemente a casca, exibindo-se o tecido de coloração amarelada (ARAUJO-NETO et al., 2001). A identificação do estágio de maturação adequado para colheita é muito importante, uma vez que frutos climatéricos colhidos antes de atingirem a maturidade fisiológica não desenvolvem todas as suas características organolépticas de forma apropriada. Por outro lado, quando são colhidos em estágio avançado de maturação tornam-se difíceis de ser manuseados, transportados e, portanto comercializados (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O sapoti é um fruto climatérico que possui uma vida útil pós-colheita curta, de 8 a 12 dias (ARAUJO-NETO et al., 2001; MIRANDA et al., 2002a; MORAIS et al., 2006). Essas informações serviram como base para a definição do objetivo deste trabalho, o qual foi avaliar o sapoti, durante o seu desenvolvimento, quanto às alterações de características físicas, químicas e histológicas procurando identificar índices de maturidade para a colheita.

## Material e métodos

Os saptotis utilizados neste trabalho foram colhidos no primeiro semestre de 2000 na Estação Experimental do Vale do Curu da Embrapa Agroindústria Tropical. O pomar foi formado em 1995, a partir de mudas provenientes da Estação Experimental de Itapirema da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) sendo uma mistura de variedades/tipos existentes na estação. A Estação Experimental do Vale do Curu, localizada no município de Paraipaba-CE, está situada em 3°17' de latitude Sul e 39°15' de longitude oeste, distante 100 km de Fortaleza e o clima é do tipo Bsh'i (Köppen). A média de precipitação anual é de 1050 mm com temperatura média de 27 °C. O solo da área experimental é caracterizado como Podzólico vermelho amarelo distrófico com predominância de textura arenosa nos horizontes superficiais. Durante o experimento, as plantas foram submetidas a irrigação por microaspersão equivalente a 36 L por planta por dia.

Os frutos foram marcados quando possuíam diâmetro transversal de até 8 mm, e colhidos após 45; 60; 90; 120; 150 e 180 dias para avaliações durante o desenvolvimento. No Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Agroindústria Tropical em Fortaleza-CE, os saptotis colhidos nos diferentes estádios foram separados em quatro repetições com cinco frutos e as primeiras análises consistiram de observações sobre a aparência e a exudação de látex, medição das massas fresca e seca, firmeza, comprimento e diâmetro. Os frutos colhidos a partir do estágio de 90 dias foram analisados também para características químicas, tendo sua polpa extraída, processada e congelada. Nove frutos excedentes foram colhidos aos 180 dias e armazenados em condição ambiente de 28 °C e 60 ± 5% U.R. e reservados para avaliação da produção climatérica de CO<sub>2</sub> e etileno. Frutos colhidos nos estádios de 120 e 180 dias e pós-climatérico foram utilizados para a caracterização histológica por microscopia óptica.

As avaliações das características físicas foram realizadas imediatamente após a chegada dos frutos ao laboratório, assim como foram retiradas e fixadas as amostras utilizadas nas análises microscópicas. As análises químicas de conteúdo de açúcares solúveis totais, de amido e de compostos fenólicos foram realizadas após o descongelamento da polpa previamente processada em um homogeneizador. A massa fresca dos frutos íntegros foi medida em balança semi-analítica da marca Mark 3100 e expressa em gramas (g). A massa seca foi obtida através da diferença da massa tendo como medidas inicial e final, a massa no dia da colheita e a massa após a dessecação em estufa a 67 °C, respectivamente. Assim, essa variável foi expressa em porcentagem (%) em relação à massa inicial. Para o tamanho, foram medidos os diâmetros transversal

e longitudinal com o auxílio de um paquímetro digital modelo SC-6 e expressos em milímetros (mm). O índice de formato, com o objetivo de determinar a forma do fruto, foi baseado na relação entre os diâmetros transversal e longitudinal. A firmeza da polpa foi determinada em regiões opostas ao longo da área mediana dos frutos íntegros com um penetrômetro digital da marca Stable Micro Systems modelo TA.XT2i com sonda de 2 mm de ponta e expressa em Newton (N).

A determinação de açúcares solúveis nos sapotis seguiu a metodologia de Yemn e Willis (1954) e os resultados foram expressos em porcentagem de açúcares solúveis totais na polpa. O conteúdo de amido foi determinado segundo AOAC (2005) por meio da reação com ácido dinitro salicílico-DNS (MILLER, 1959) sendo os resultados multiplicados por 0,90 para obtenção do conteúdo de amido em porcentagem. Os compostos fenólicos foram determinados de acordo com a solubilidade em poliméricos extraídos por água, em oligoméricos extraídos por metanol 50% e em dímeros separados em metanol puro. Os compostos fenólicos foram doseados pelo reagente de Folin-Denis, segundo Reicher et al. (1981). A produção de CO<sub>2</sub> e etileno climatéricos foi analisada em cromatógrafo CG, modelo DANI 8610 equipado com coluna Porapak-N de 4 m de comprimento e 3 mm de espessura, com detectores de condutividade térmica e ionização de chama para análise de CO<sub>2</sub> e etileno em série, respectivamente. Para essas análises, foram utilizadas três repetições compostas por três frutos cada e os resultados foram expressos para o etileno em µL por kg de fruto por hora e para CO<sub>2</sub> em mL por kg de fruto por hora.

Para as análises histológicas, foram retiradas secções da porção mais externa do pericarpo com 5 mm e fixadas em glutaraldeído 1% e paraformaldeído 4% (KARNOVSKY, 1965). Após a fixação, as amostras foram lavadas com tampão fosfato 0,1 M pH 7,2 três vezes por 15 min cada, para depois serem desidratadas em série etílica e incluídas em historesina de glicometilmetacrilato da marca Leica Instruments. Cortes transversais com 5 µm foram feitos em micrótomo Leica Microsystems modelo Supercut 2065 e as lâminas coradas com azul de toluidina 0,12%, bórax 5% por 2 min e fucsina básica 0,05% por 30 s (JUNQUEIRA, 1997). Para análise microquímica, usou-se lugol para detecção de amido e vermelho de rutênio aquoso 0,02% para localização de pectina (JOHANSEN, 1940).

O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado para as características químicas e físicastendocomotratamentoos estádios de desenvolvimento. As amostras foram divididas em 4 repetições cada uma representando uma unidade experimental composta por 5 frutos. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando constatada a significância pelo teste F, as médias

dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas com auxílio do programa computacional SISVAR versão 3.01. Os resultados obtidos a partir da análise de variância permitiram o desdobramento do tempo dentro de cada tratamento, quando houve interação entre fatores. Os resultados foram então submetidos à regressão polinomial, na qual foram consideradas equações até 3º de acordo. O coeficiente de determinação mínimo para utilização das curvas foi 0,70.

## Resultados e discussão

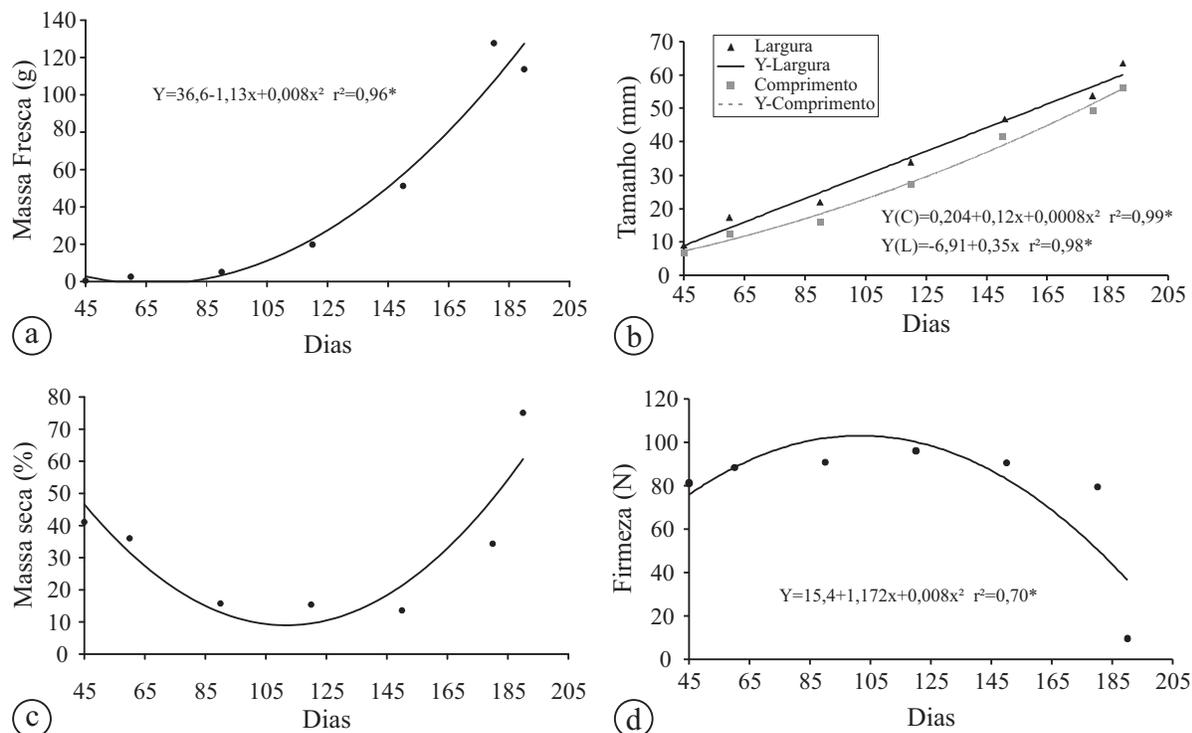
### Características físicas e químicas

Por meio de análises visuais (dados não mostrados), observou-se que o sapoti produziu a maior quantidade de látex ao quinto mês (150 dias) do desenvolvimento, decrescendo até o amadurecimento. À medida que o fruto se desenvolveu, a casca se tornou menos rugosa até que, após o climatério, estava completamente lisa. Os frutos apresentaram também o estigma ressecado e coberto por um apêndice até o terceiro mês (90 dias) de desenvolvimento. No presente estudo, não foi observada nenhuma mudança na coloração externa do fruto durante seu desenvolvimento, fato que impediu que a cor fosse usada como índice de maturação. No entanto, a coloração interna sofreu alterações evidentes, de verde para verde-amarelado no sexto mês (180 dias) de desenvolvimento e marrom com tons avermelhados, na polpa dos frutos maduros pós-climatéricos (190 dias).

O crescimento dos sapotis representado pela curva de massa fresca foi do tipo sigmóide simples com maior momento de aceleração entre o terceiro e sexto mês, provavelmente resultado de expansão celular (Figura 1A). Verificou-se que ao sexto mês de desenvolvimento, os frutos atingiram sua maturidade fisiológica com massa média de 127 g ( $r^2 = 0,96$ ), o qual após o climatério caiu para 113 g. A perda de massa fresca após o climatério foi resultado principalmente da perda de água por transpiração.

Os sapotis aumentaram em tamanho durante todo o seu desenvolvimento (Figura 1B). O diâmetro transversal ou largura aumentou linearmente ( $r^2 = 0,98$ ), enquanto o longitudinal ou comprimento aumentou a partir do 3º mês ( $r^2 = 0,99$ ). No segundo mês (60 dias) de desenvolvimento do sapoti, o índice de formato foi 1,30 e a relação diâmetro transversal e longitudinal se manteve maior que 1 durante todo o desenvolvimento, indicando uma tendência para o formato arredondado.

Os frutos do sapotizeiro apresentaram um aumento em massa seca a partir do quinto mês de desenvolvimento ( $r^2 = 0,80$ ) (Figura 1C), que corresponde ao mesmo período em que houve um aumento brusco em massa fresca



**Figura 1** - Alterações na massa fresca (A), no tamanho (B), na massa seca (C) e na firmeza (D) durante o desenvolvimento do sapoti. Resultados apresentados como médias observadas e estimadas (Y) pela análise de regressão polinomial

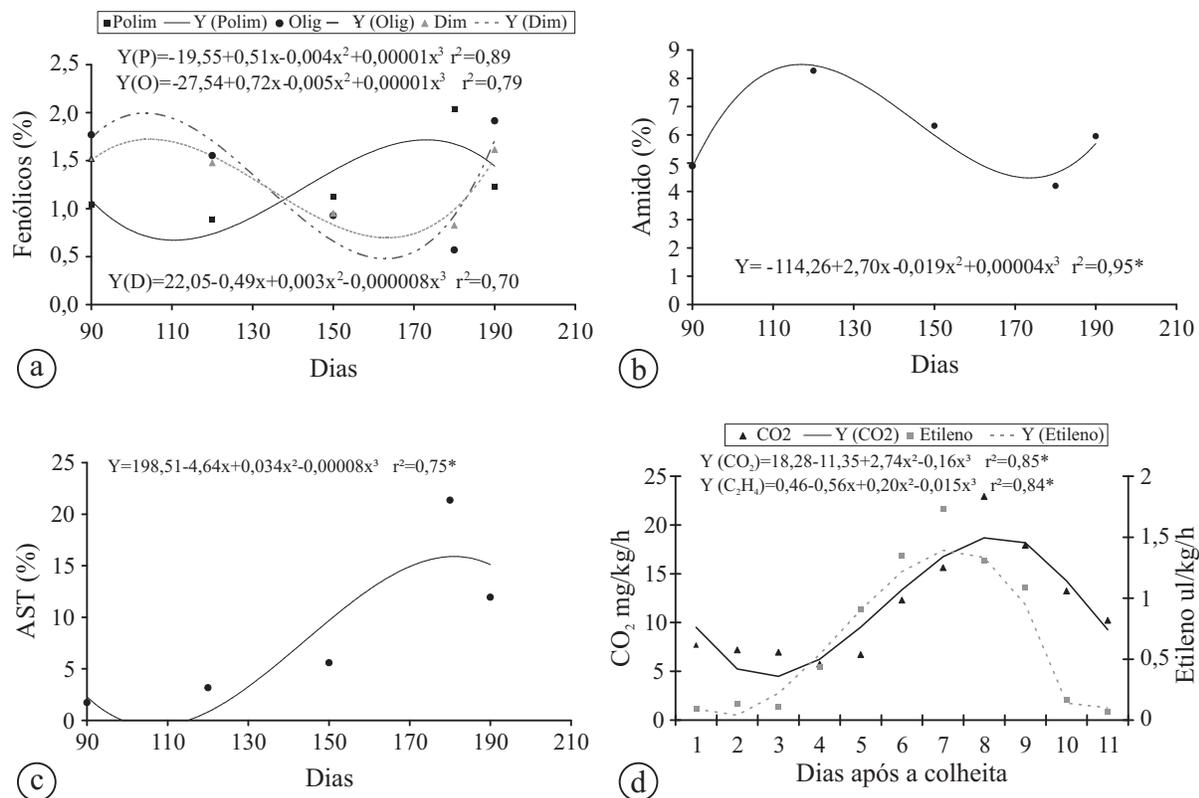
(Figura 1A). A massa seca dos frutos declinou até o terceiro mês e voltou a aumentar depois do quinto mês, indicando que até o terceiro mês o crescimento deve-se principalmente à divisão celular e entre o terceiro e o quinto mês, o crescimento ocorreu devido à absorção de água para a expansão celular. O aumento em massa seca observado a partir do quinto mês corresponde ao aumento no conteúdo de açúcares solúveis observado na Figura 2C. O aumento observado após o climatério deve-se principalmente à perda de água por transpiração durante o armazenamento em condição ambiente. Após a colheita, a transpiração continuou sem um suprimento de água, causando a desidratação dos tecidos devido a diferença de potencial hídrico entre o ar quente e relativamente seco (28 °C e 60% U.R.) e o tecido do fruto.

A firmeza do sapoti começou a decrescer no quinto mês alcançando 81,9 N no sexto mês, a partir do qual decresceu rapidamente até após o climatério chegando a 9,2 N (Figura 1D). Araujo-Neto et al. (2001) observaram que sapotis cv. Itapirema-31 quando colhidos no estágio de maturação fisiológica, apresentavam firmeza de 78,6 N e afirmaram que isso poderia ser usado como um bom indicador físico do ponto de colheita. Hernandez et al. (2007) ratificam que a uniformidade de consistência de um fruto torna a firmeza um índice útil para a classificação de frutos em classes, dependendo do estágio de maturação.

Em geral, a maior redução em firmeza coincide com o amadurecimento quando há várias mudanças estruturais e de composição. Em alguns frutos como a banana, a degradação do amido está associada ao amaciamento (SANWAL; PAYASI, 2007) o que não parece ser o caso do sapoti, já que o teor de amido não decresceu com o amadurecimento (Figura 2B). A redução da turgidez celular está associada à perda de água e pode ser associada ao aumento da massa seca observado no fim do desenvolvimento do sapoti, resultado da diferença em umidade entre o fruto e a atmosfera (Figura 1C).

Ali et al. (2004) afirmam que apesar da perda de turgidez e da degradação de amido colaborarem para o amaciamento durante o amadurecimento de alguns frutos, as alterações enzimáticas que ocorrem na parede celular são fatores preponderantes para a perda de firmeza. A redução do látex (dados não mostrados) coincidiu com o aumento no conteúdo de açúcares solúveis (Figura 2C), indicando uma participação do látex no metabolismo de açúcares durante a maturação do sapoti.

O climatério é uma etapa do desenvolvimento de alguns frutos, caracterizada por um aumento brusco na evolução de CO<sub>2</sub> e por uma produção autocatalítica de etileno, na qual ocorrem mudanças fisiológicas e bioquímicas iniciadas pelo etileno e que resultam na transição entre o crescimento e a senescência (CHITARRA;



**Figura 2** - Alterações no conteúdo de compostos fenólicos (A), de amido (B) e de açúcares solúveis totais (AST) (C) durante o desenvolvimento do sapoti, e produção de CO<sub>2</sub> e etileno (D) em saptotis colhidos aos 180 dias e armazenados em temperatura de 28 °C e 60 ± 5% U.R. Resultados apresentados como médias observadas e estimadas (Y) pela análise de regressão polinomial

CHITARRA, 2005). O sapoti apresentou um padrão respiratório do tipo climatérico e os frutos colhidos ao sexto mês de desenvolvimento, na maturidade fisiológica, atingiram o pico da produção de etileno ao sétimo dia após a colheita e o respiratório ao oitavo, atingindo 1,8 µL por kg h<sup>-1</sup> e 23,4 mL de CO<sub>2</sub> por kg h<sup>-1</sup>, respectivamente, quando mantidos a 28 °C e 60% U.R. (Figura 2D).

Os frutos, após o climatérico respiratório, apresentavam-se em estágio avançado de maturação com aroma levemente alcoólico e aparência enrugada, o que sugere que as principais mudanças do amadurecimento ocorrem durante no início do pico de etileno e, logo depois do pico respiratório, os frutos começam a senescer. Morais et al. (2006) observaram que saptotis das cultivares ‘Sapoti IPA-Curu’ e ‘Sapota Tropical’ iniciaram sua senescência logo após o climatérico apresentando o característico aroma de fermentação alcoólica. A curva de acúmulo de amido durante o desenvolvimento do sapoti (Figura 2B) mostra que se obteve um máximo de conteúdo (8,2%) no quarto mês, o qual decresceu gradualmente até o sexto mês, atingindo 4,2%. Até o estágio de maturidade fisiológica (180 dias), o amido teve padrão de acúmulo inverso ao dos açúcares solúveis (Figura 8), indicando a hidrólise de

amido como origem dos açúcares. Porém, durante esse período os frutos ainda estavam ligados à planta, de modo que a importação de fotoassimilados é o procedimento mais usual.

A maioria dos frutos hidrolisa amido durante o amadurecimento e os açúcares obtidos são usados como substratos na respiração, visando a obtenção de energia necessária para a manutenção do metabolismo celular após o desligamento da planta (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O sapoti se comportou de forma pouco comum durante o amadurecimento, apresentando um pequeno aumento no conteúdo de amido após o climatérico. A degradação do amido pode não ter sido necessária devido ao acúmulo de açúcares no final da etapa de crescimento ou uso de outras fontes de açúcares como o látex e os componentes da parede celular. O aumento observado após o climatérico pode ser explicado por um efeito de concentração resultante da perda de massa, nesse período.

Os saptotis começaram a acumular açúcar nas formas solúveis a partir do quarto mês (Figura 2C) e os frutos colhidos no sexto mês apresentaram um aumento

chegando a 21,3%, decaindo para 12,9% após o climatério. O aumento em açúcares solúveis totais observado nos sapotis colhidos no sexto mês corresponde ao maior aumento em massa fresca. A redução desses açúcares durante o amadurecimento é, provavelmente, resultado de sua utilização como substrato na respiração. Assim, nesse período, o consumo de açúcares na respiração é maior do que sua síntese a partir do látex ou da solubilização dos componentes da parede celular.

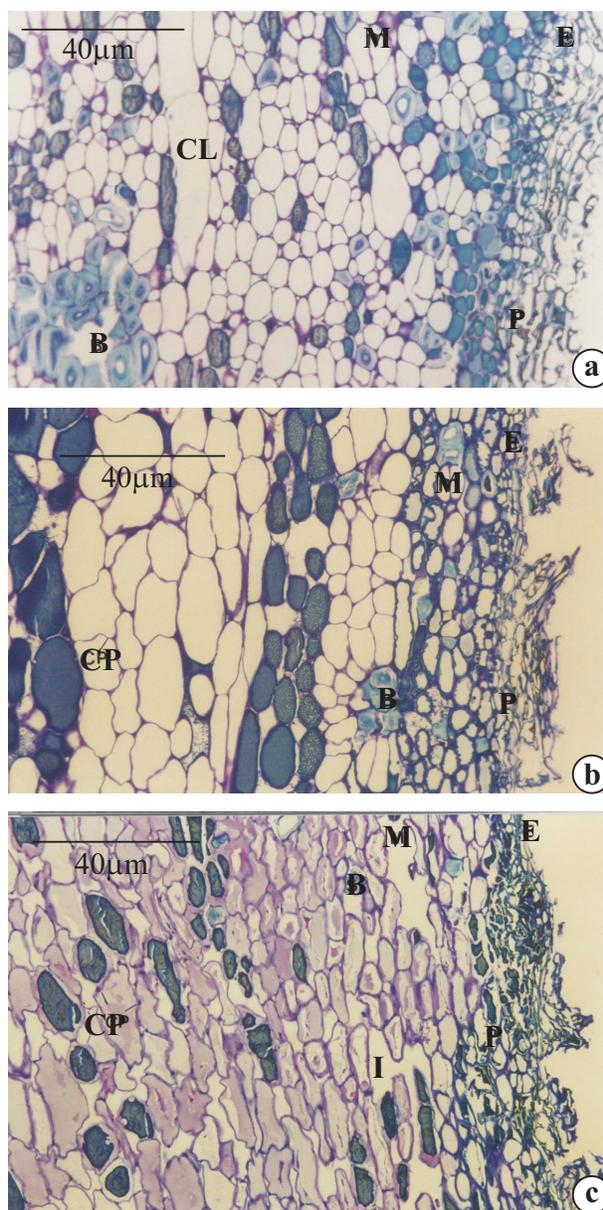
O sapoti, quando imaturo, possui uma alta adstringência devido à presença de compostos fenólicos. A curva de concentração de compostos fenólicos durante o desenvolvimento (Figura 2A) mostrou que estes não variam tanto quantitativamente como qualitativamente. Os compostos fenólicos solúveis em metanol puro e em metanol 50% decresceram gradualmente até o sexto mês e aumentaram após o climatério. Os solúveis em água tiveram comportamento inverso, aumentando durante todo o período de crescimento. A concentração total de fenólicos foi de aproximadamente 4,5%.

Dentre os fenólicos, aqueles com estrutura flavan são os principais responsáveis pela adstringência, a qual está associada ao grau de polimerização (DAMAK et al., 2008). Esses autores afirmam que durante a maturação dos frutos ocorre a polimerização desses compostos resultando em decréscimo da adstringência e no aumento de sua solubilidade em água e diminuição em metanol puro. Durante o amadurecimento do sapoti, há predominância das formas poliméricas, justificando a redução, em parte, da adstringência observada nesses frutos. No entanto, a existência das formas de menor peso molecular leva a crer que a diminuição em adstringência não é só resultado da polimerização, mas também de um efeito de diluição resultado do aumento em tamanho e no conteúdo de açúcares.

### Estudos histológicos

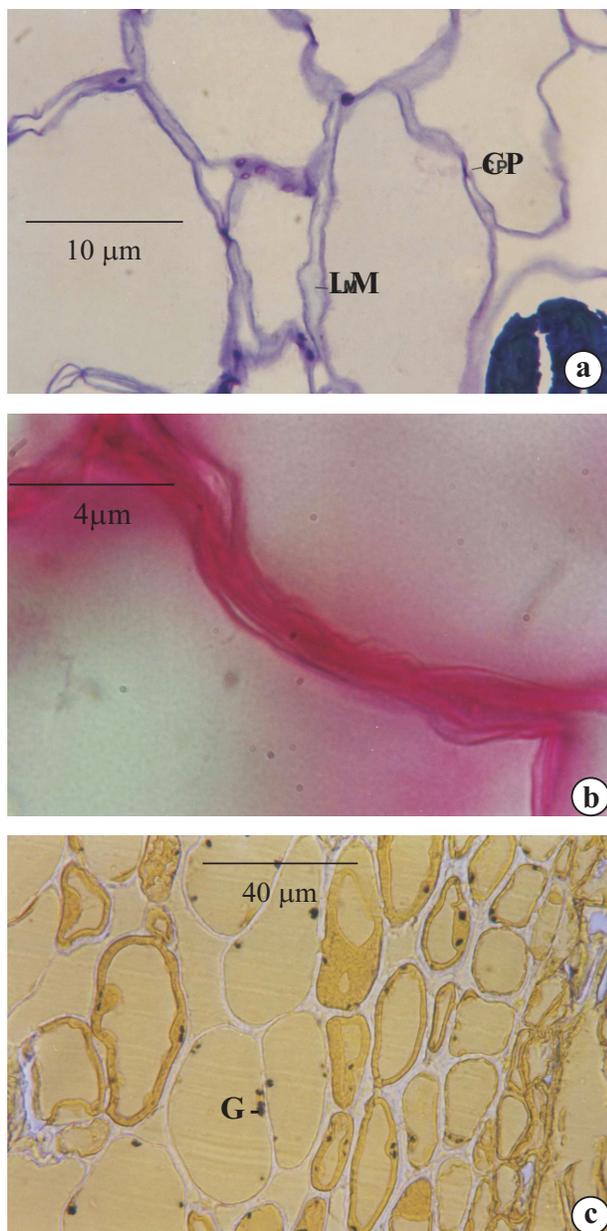
Os frutos colhidos ao quarto mês possuíam exocarpo formado por uma fina periderme (Figura 3A), aparentemente originada de um felogênio oriundo das camadas subepidérmicas. O mesocarpo dos frutos nesse estágio possuía duas camadas parenquimáticas pouco distintas, onde, mais próximo à periderme, as células eram menores e de conteúdo denso, permeadas por braquiesclereídeos ou células pétreas. As células pétreas apresentaram paredes secundárias espessas sendo, portanto, responsáveis pela textura arenosa da polpa do sapoti e tendo sua formação acentuada em condições de déficit hídrico (LEE et al., 2006). A camada mais interna e mais abrangente do mesocarpo constituía-se de um parênquima com células e espaços intercelulares amplos, podendo ser observadas células de conteúdos denso, possivelmente ricas em compostos fenólicos.

Esses frutos apresentaram canais laticíferos (Figura 3A), concordando com a observação de uma



**Figura 3** - Pericarpo do sapoti colhido ao quarto (A) e ao sexto mês (B) de desenvolvimento e após o climatério(C), corado com azul de toluidina, 10x. M- mesocarpo; E- epicarpo; CL- canais laticíferos; P- periderme, CP- campos de pontuação, I- espaços intercelulares e B-braquiesclereídeos

abundante exsudação de látex nos frutos colhidos nesse período do desenvolvimento. As células laticíferas observadas estão arranjadas em série, sendo denominadas articuladas, segundo Esau (1998). O turgor celular deve ser o principal fator de resistência mecânica, ao quarto mês de desenvolvimento, uma vez que nessa etapa os frutos se apresentam bastante firmes (aproximadamente 90 N) (Figura 1D) e com baixa massa seca (Figura 1C). Os frutos colhidos ao sexto mês de desenvolvimento possuíam periderme com células suberizadas e as camadas



**Figura 4** - Paredes de células do mesocarpo do sapoti pós-climatérico coradas com azul de toluidina (A), 40x e com vermelho de rutênio (B), 100x. Análise microquímica para grânulos de amido (C) em sapotis colhidos no sexto mês de desenvolvimento, corados com lugol, 10x. LM- lamela média, CP- campos de pontuações primárias, G-grânulos de amido

do mesocarpo mais facilmente distintas (Figura 3B). A camada mais externa possuía células menores com paredes mais espessas e intensamente vacuoladas, de modo que o citoplasma se mostrou periférico e com aparência granular. Na camada mais interna, houve um aumento nos espaços intercelulares e as células se mostraram mais amplas com paredes celulares ricas em campos de pontuações primárias.

Nos frutos colhidos aos 180 dias, uma análise microquímica com lugol confirmou a presença de grânulos de amido (Figura 4C) que, segundo as análises químicas representavam 4,2% (Figura 2B). Quando comparados aos frutos colhidos aos 120 dias, esses frutos apresentaram um aumento em tamanho resultante principalmente do incremento no volume celular. Os frutos colhidos nesse estágio foram capazes de amadurecer regularmente, indicando que alcançaram sua maturidade fisiológica.

Tanto nos frutos colhidos ao sexto mês como nos pós-climatéricos (Figuras 3B e 3C, respectivamente) não foram encontradas células laticíferas, concordando com as observações que mostram a concentração de látex decrescendo até desaparecer nos frutos maduros. Após o climatério, observa-se uma desorganização tecidual (Figura 3C). As células da periderme se encontravam suberizadas e, em sua maioria, mortas. As camadas do mesocarpo não são mais facilmente distintas e as células em geral, mostram-se plasmolisadas.

A perda de massa durante o amadurecimento é, fundamentalmente, resultado da desidratação e da respiração podendo ser observada nas modificações no turgor celular e na estrutura de parede, implicando em uma aparência enrugada. Os espaços intercelulares aumentaram ainda mais e as paredes celulares se encontravam muito expandidas como observado pela fraca coloração das lamelas médias (Figura 4A). Estudos ultra-estruturais com morango mostraram que a lamela média de células do córtex havia desaparecido nos frutos maduros (LARA et al., 2004). A redução em firmeza observada durante o amadurecimento do sapoti (Figura 1D) é resultante do aumento nos espaços intercelulares, do declínio do turgor celular e da integridade da parede celular e da lamela média assim, como pode ser verificado nas Figuras 3(B e C) e 4B.

Nas paredes celulares dos frutos pós-climatéricos (Figura 4A), podem-se observar mais claramente os campos de pontuações primárias que são regiões da parede que se encontram íntegras, sendo coradas mais fortemente. As pontuações de células adjacentes são separadas por uma membrana constituída pela lamela média e pelas duas paredes primárias. A expansão da parede é, provavelmente, resultado da dissolução das substâncias pécticas aliada a quebra de ligações cruzadas entre os outros componentes da parede. A dissolução dos polissacarídeos pécticos pode ser observada na coloração específica por vermelho de rutênio, durante o desenvolvimento do fruto. Estudos anteriores mostraram que durante o amadurecimento de sapotis houve uma redução no conteúdo de pectina total à medida que o conteúdo de pectina solúvel aumentava e que a  $\beta$ -galactosidase está envolvida com a perda da integridade estrutural de sua parede celular (MIRANDA et al., 2002a; MIRANDA et al., 2002b).

## Conclusões

1. Os sapotis utilizados neste trabalho demoraram seis meses para alcançar a maturidade fisiológica quando apresentaram massa média de 127 g, o formato mais esférico, a casca pouco granulosa, pequena exsudação de látex quando removidos da planta, 20% de açúcares solúveis totais e 4% de amido. Esses resultados podem ser usados como índices de maturidade já que os frutos colhidos com essas condições amadureceram com boa qualidade.
2. Os frutos colhidos ao sexto mês de desenvolvimento amadureceram ao 7º dia quando armazenados em condição ambiente (28 °C e 60% U.R.), com um padrão climatérico de respiração.
3. A alteração mais óbvia que ocorre na maturação do sapoti é a redução em firmeza, que pode ser evidenciada ao nível microscópico como uma evidente desorganização estrutural do tecido.
4. A exsudação de látex nos sapotis está diretamente associada a presença dos canais laticíferos, facilmente encontrados nos frutos colhidos ao 4º mês e não mais observados naqueles colhidos ao 6º mês e pós-climatéricos.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Brasil.

## Referências

ALI, Z. M.; CHIN L. H.; LAZAN, H. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. **Plant Science**, v. 167, p. 317-327, 2004.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - A. O. A. C. **Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 18. ed. Maryland: AOAC, 2005.

ARAÚJO-NETO, S. E. et al. Determinação do ponto de colheita e índices de maturação para sapoti (*Manilkara achras*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 01, p. 45-49, 2001.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: Ed. ESAL/FAEPE, 2005. 785 p.

DAMAK, N. et al. Effect of the maturation process on the phenolic fractions, fatty acids, and antioxidant activity of the Chétoui olive fruit cultivar. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 56, p. 1560-1566, 2008.

ESAU, K. **Anatomia de plantas com sementes**. São Paulo: Ed. Edgar Blucher, 1998. 201 p.

HERNANDEZ, M. S.; MARTINEZ, O.; FERNANDEZ-TRUJILLO, J. P. Behavior of arazá (*Eugenia spicata* McVaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. **Scientia Horticulturae**, v. 111, p. 220-227, 2007.

JONHANSEN, M. J. **Plant microtechnique**. New York: Ed. McGraw-Hill, 1940. 323 p.

JUNQUEIRA, C. V. O uso de cortes finos de tecido na medicina e biologia. **Meios e Métodos**, v. 66, p. 167-171, 1990.

LARA, I.; GARCIA, P.; VENDRELL, M. Modifications in cell wall composition after cold storage of calcium-treated strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 34, p. 331-339, 2004.

LEE, S. H. et al. Effect of soil water stress on the development of stone cells in pear (*Pyrus pyrifolia* cv. 'Niitaka') flesh. **Scientia Horticulturae**, v. 110, p. 247-253, 2006.

MILLER, G. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, v. 31, p. 426-428, 1959.

MIRANDA, M. R. A. et al. Armazenamento de dois tipos de sapoti à temperatura ambiente sob atmosfera modificada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 23, p. 644-646, 2002a.

MIRANDA, M. R. A. et al. Alterações em firmeza e na atividade de B galactosidase de sapoti (*Manilkara zapota*) armazenado sob refrigeração e atmosfera modificada. **Proceedings of the Interamerican Society Tropical Horticulture**, v. 46, p. 46-48, 2002b.

MIRANDA, M. R. A. et al. Qualidade de frutos de oito clones de sapotizeiro. In: SIMPÓSIO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E GERENCIAIS, 2., 2002c, Fortaleza. **Memórias...** CD-ROM.

MORAIS, P. L. M. et al. Alterações físicas, fisiológicas e químicas durante o armazenamento de duas cultivares de sapoti. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 04, p. 549-552, 2006.

POPENOE, W. **Manual of tropical and subtropical fruits**. New York: MacMillan, 1920.

REICHER, F.; SIERAKOWSKI, M. R.; CORREA, J. B. C. Determinação espectrofotométrica de taninos pelo reativo fosfotúngstico-fosfomolibdico. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 24, n. 04, p. 407-411, 1981.

SANWAL, G. G.; PAYASI, P. Garlic extract plus sodium metabisulphite enhances shelf life of ripe banana fruit. **International Journal Food Science and Technology**, v. 42, p. 303-311, 2007.

YEMN, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, v. 57, p. 508-514, 1954.