



PATRÍCIA DA SILVA MACHADO

**CARACTERIZAÇÃO DO UXI
(*ENDOPLEURA UCHI*) EM TRÊS ESTÁDIOS
DE DESENVOLVIMENTO**

LAVRAS-MG

2015

PATRÍCIA DA SILVA MACHADO

**CARACTERIZAÇÃO DO UXI (*ENDOPLEURA UCHI*) EM TRÊS
ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas

Coorientadora

Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho

LAVRAS-MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Machado, Patrícia da Silva.

Caracterização do Uxi (Endopleura uchi) em Três Estádios de
Desenvolvimento / Patrícia da Silva Machado. – Lavras: UFLA,
2015.

97 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador (a): Eduardo Valério de Barros Vilas Boas.

Bibliografia.

1. Fruto amazônico. 2. Catequina. 3. Vitamina C. 4.
amaciamento. 5. enzimas de escurecimento. I. Universidade Federal
de Lavras. II. Título.

PATRÍCIA DA SILVA MACHADO

**CARACTERIZAÇÃO DO UXI (*ENDOPLEURA UCHI*) EM TRÊS
ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2015.

Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas UFLA

Dra. Elisângela Elena Nunes de Carvalho UFLA

Dra. Brígida Monteiro Vilas Boas IFSULDEMINAS-*Câmpus*
Machado

Dra. Aline Gomes Dias Pinto Monteiro UFLA

Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas
Orientador

LAVRAS-MG

2015

Dedico aos meus pais, Pedro Machado e
Dulcinéia Machado e ao meu noivo,
Jailson Gonçalves, pelo amor e apoio
incondicional nessa jornada de estudos.
Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela oportunidade a mim concedida, pelas portas abertas e pelas pessoas que Ele colocou em meu caminho para me ajudar nessa caminhada. A Ele toda honra! Obrigada!

Se eu cheguei até aqui foi porque Deus colocou o Sr. Pedro Lopes Machado e a Sra. Dulcinéia da Silva Machado, meus pais, em minha vida para me amar, ajudar, corrigir e ensinar! Sou muito feliz pela vida deles e agradeço cada gesto de amor e renúncia. Agradeço a toda minha família pelo apoio. Agradeço a minha irmã Daiane Araújo e ao meu cunhado Johnny Araújo pelo apoio e compreensão, obrigada!

Ao meu noivo pelo apoio, compreensão e incentivo que me motivou a prosseguir. Muito obrigada!

Agradeço ao meu orientador Eduardo Valério de Barros Vilas Boas e a minha coorientadora Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho pelo apoio, cuidado e atenção dados a mim e aos trabalhos realizados. A presença e dedicação de vocês foram fundamentais para elaboração deste e dos outros trabalhos, obrigada!

Agradeço à Dra. Aline Monteiro e a Dra. Brígida Vilas Boas, por participarem da banca de defesa e sugerir melhorias. Obrigada!

Ao programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de formação, pelos recursos que permitiram desenvolver este trabalho e contribuíram grandemente para meu crescimento profissional, obrigada!

À Universidade Federal de Lavras, que abre suas portas e acolhe pessoas das mais diferentes regiões do país, oferecendo muitas oportunidades de crescimento, obrigada!

À Universidade do Estado do Pará, pela oportunidade de realização da graduação que permitiu que eu chegasse ao mestrado, obrigada!

À Beatriz, Amise, Melissa, Letícia, meninas da iniciação científica e voluntárias que muito ajudaram para a realização deste trabalho. Obrigada!

À Tina e Heloísa, por todos os ensinamentos e ajuda com as análises. À Gilma, que também contribuiu para execução deste trabalho e de outros, durante o mestrado, obrigada!

À Capes, pelo concessão da bolsa de estudos, que permitiu tanto minha residência no município de Lavras como a participação em congressos e simpósios, obrigada!

Ao CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro fundamental para realização deste trabalho.

RESUMO GERAL

O uxi (*Endopleura uchi*) é uma árvore amazônica com maior abundância e frequência nos estados do Pará e Amazonas. O objetivo neste trabalho foi caracterizar bioquímica e físico-quimicamente, avaliar a atividade antioxidante e identificar o perfil de compostos fenólicos e voláteis dos frutos do uxizeiro, em três estádios de maturação. Frutos verde-maturos foram obtidos e amadureceram fora da planta mãe. Com o avançar do amadurecimento, os frutos ficaram mais ácidos e adocicados. A casca e a polpa do uxi escureceram, tornaram-se menos amareladas e ficaram mais opacas; a polpa apresentou coloração mais vivida que a casca. Houve redução da firmeza e aumento da atividade das enzimas pectinametilesterase, poligalacturonase e peroxidase e redução da polifenoloxidase. Observou-se queda da atividade antioxidante e de vitamina C, aumento de carotenoides totais e queda seguida de aumento de fenólicos totais, ao longo do amadurecimento. Os fenólicos catequina, quercetina, vanilina e os ácidos cafeico, clorogênico, gálico, *m*-cumárico, *o*-cumárico e *p*-cumárico foram identificados e quantificados no uxi, nos três estádios de maturação, enquanto o ácido ferrúlico apenas no fruto maduro, e o ácido trans-cinâmico, apenas no fruto verde e maduro. O fenólico majoritário no uxi, a despeito de seu estágio de maturação, foi a catequina, encontrada em concentrações que variaram de 119,57 a 149,6 mg/ 100g, seguida do ácido gálico (2,42 a 2,01 mg/ 100g) e quercetina (1,63 a 1,01 mg/ 100g). Observou-se, ao longo do amadurecimento, tendência de queda para a maioria dos compostos fenólicos, embora queda seguida de aumento tenha sido observada para o composto majoritário catequina, potente antioxidante associado à proteção cardiovascular, também encontrado no vinho e chá verde. Os resultados obtidos apontam o uxi como um fruto com potencial antioxidante e apelo funcional.

Palavras-chave: Amazônia. Frutos. Amadurecimento. Bioquímica.

GENERAL ABSTRACT

The uxi (*Endopleura uchi*) is an Amazonian tree easily found in the states of Para and Amazonas. The objective of this study was to characterize biochemical and physical-chemically, analyze the antioxidant activity and identify the profile of phenolic and volatile compounds of the uxi fruit in three maturation stages. Mature green fruit were obtained and let to ripen off the tree. The fruit became more acidic and sweeter over the ripening. Besides, the peel and pulp of uxi fruit became dark, less yellow and more opaque; the pulp showed more vivid color than the peel. There was loss of firmness and increase of pectinmethylesterase, poligalacturonase and peroxidase activities and polyphenol oxidase activity reduction. It was observed a decrease of antioxidant activity and vitamin C, increase of carotenoids and decrease followed of increase of total phenolic along the ripening. The phenolic compounds such as catechin, quercetin, vanillin and caffeic, chlorogenic, gallic, m-coumaric, o-coumaric and p-coumaric acids were identified and quantified in uxi fruit in the three stages of maturation, while the ferulic acid only in the ripe fruit, and trans-cinnamic acid, only in the green and ripe fruit. The major phenolic in uxi fruit, in spite of their maturation stage, was catechin, found in concentrations ranging from 119.57 to 149.6 mg / 100g, followed by gallic acid (from 2.42 to 2.01 mg / 100g) and quercetin (1.63 to 1.01 mg / 100g). It was observed trend of decline for most of the phenolic throughout the maturation of uxi fruit, although decrease followed by increase has been observed for the major compound catechin, that is a potent antioxidant associated with cardiovascular protection, also found in wine and green tea. The results show uxi as a fruit with antioxidant potential and functional appeal.

Keywords: Amazon. Fruits. Ripening. Biochemistry.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1 Amazônia Legal (IBGE, 2014)..... 16
- Figura 2 Árvore, fruto verde-imaturo e frutos maduros da *Endopleura uchi*..... 20
- Figura 3 Etapas do desenvolvimento fisiológico dos frutos. 1) Início da formação da polpa; 2) Término de crescimento em tamanho; 3) Início do período de consumo, mas, ainda imaturo, 4) Período ótimo de consumo; 5) Predominância de reações degradativas e 6) Não utilizável para consumo (RYALL E LIPTON (1979) *apud* CHITARRA; CHITARRA, 2005)..... 23
- Figura 4 Mecanismo Geral de Reação da Polifenoloxidase..... 30
- Figura 5 Ação da peroxidase sob os compostos fenólicos..... 31
- Figura 6 Esquema da biossíntese de compostos voláteis em frutas e hortaliças (CHITARRA; CHITARRA, 2005)..... 33

CAPÍTULO 3

- Figura 1 A: Cromatograma de padrões de fenólicos; B: Cromatograma do uxi verde; C: Cromatograma do uxi intermediário; D: Cromatograma do uxi maduro. 1: Ácido Gálico; 2: Catequina; 3: Ácido clorogênico; 4: Ácido cafeico; 5: Vanilina; 6: Ácido *p*-cumárico; 7: Ácido Ferrúlico; 8: Ácido *m*-cumárico; 9: Ácido *o*-cumárico; 10: Quercetina; 11: Ácido trans-cinâmico..... 76
- Figura 2 A: Cromatograma do padrão de alcanos; B: Cromatograma do uxi verde; C: Cromatograma do uxi intermediário; D: Cromatograma do uxi maduro..... 80

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Valores médios de pH, acidez titulável (AT) expressa em ácido cítrico, sólidos solúveis (SS), relação SS/AT, firmeza, pectina total, pectina solúvel, atividade das enzimas pectinametilsterase (PME), poligalacturonase (PG), polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) dos frutos do uxi, em três estádios de maturação.....	51
Tabela 2	Valores médios de cor da casca e da polpa do uxi em três estádios de maturação.....	54

CAPÍTULO 3

Tabela 1	Valores médios de vitamina C, carotenoides, fenólicos totais, atividade antioxidante em percentual de sequestro de radicais livres- %SRL (DPPH e ABTS) e TEAC nos frutos do uxi, em três estádios de maturação.....	73
Tabela 2	Perfil de compostos fenólicos do uxi em três estádios de maturação.....	75
Tabela 3	Compostos voláteis do uxi em três estádios de maturação.....	79

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1.....	14
1	INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	A Amazônia.....	16
2.2	O uxi (<i>Endopleura uchi</i>).....	18
2.3	Qualidade.....	22
2.4	Desenvolvimento dos frutos.....	22
2.5	Enzimas Pectinolíticas.....	24
2.6	Compostos Fenólicos.....	25
2.7	Antioxidantes.....	28
2.8	Escurecimento Enzimático.....	29
2.9	Compostos Voláteis.....	32
	REFERÊNCIAS.....	34
	CAPÍTULO 2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO- QUÍMICA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO UXI (<i>ENDOPLEURA UCHI</i>) EM TRÊS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO.....	42
1	INTRODUÇÃO.....	44
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.1	Amostragem.....	46
2.2	pH.....	46
2.3	Acidez titulável (%AT).....	47
2.4	Sólidos Solúveis.....	47
2.5	Firmeza.....	47
2.6	Pectina Total e Solúvel.....	47
2.7	Pectinametilesterase (PME).....	48
2.8	Poligalacturonase (PG).....	48
2.9	Polifenoloxidase (PPO) e Peroxidase (POD).....	48
2.10	Coloração.....	49
2.11	Análise Estatística.....	50
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4	CONCLUSÃO.....	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	CAPÍTULO 3 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE, PERFIL FENÓLICO E COMPOSTOS VOLÁTEIS DE UXI (<i>ENDOPLEURA UCHI</i>) EM TRÊS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO.....	63
	RESUMO.....	63
	ABSTRACT.....	64
1	INTRODUÇÃO.....	65

2	MATERIAL E MÉTODOS.....	67
2.1	Amostragem.....	67
2.2	Vitamina C.....	67
2.3	Carotenoides.....	68
2.4	Fenólicos Totais.....	68
2.5	Porcentagem Sequestro de Radicais Livres (%SRL- DPPH).....	68
2.6	TEAC e % Sequestro de Radicais Livres ABTS.....	69
2.7	Perfil de Fenólicos.....	70
2.8	Compostos Voláteis.....	71
2.9	Análise Estatística.....	72
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
3.1	Perfil de fenólicos.....	75
3.2	Compostos Voláteis.....	79
4	CONCLUSÃO.....	84
	REFERÊNCIAS.....	85

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo. No Brasil, seu território perfaz uma área de 5.217.423 km² o que corresponde a cerca de 61% do território nacional, abrangendo nove Estados (SUDAM, 2014). O clima predominante é o quente e úmido. Apresenta a maior bacia hidrográfica do planeta, o que corresponde a 5% da superfície terrestre. Sessenta por cento da bacia Amazônica está no território brasileiro. Esse bioma abriga uma flora variada, rica em plantas indicadas para os mais diversos usos, além de uma vasta fauna, que contribui para o balanço ecológico. O principal problema da Amazônia é o desmatamento (IBGE, 2014), fenômeno considerado bastante complexo e que não pode ser atribuído a um único fator (ALENCAR *et al.*, 2004).

A *Endopleura uchi* é uma espécie originária da Amazônia brasileira, encontra-se dispersa praticamente em todos os estados dessa região, porém com maior frequência nos estados do Pará e Amazonas (MENEZES; HOMMA, 2012). Esta espécie é considerada economicamente inviável dada a sua dificuldade no manejo e/ou domesticação (SHANLEY; CARVALHO, 2005). Todavia, muitas famílias têm manejado intensivamente as árvores nas regiões próximas a Belém, uma vez que há um mercado em expansão na área periurbana durante os meses de frutificação, gerando renda para essas famílias (SHANLEY; LUZ; SWINGLAND, 2002). O mercado para a venda desses frutos ainda não é preparado, o que ainda favorece a venda da madeira (SHANLEY; GAIA, 2004). De acordo com Homma (2005), a geração de renda e emprego proporcionada pelo aproveitamento correto da biodiversidade poderia reduzir os desmatamentos e queimadas e promover a recuperação de áreas que não deveriam ter sido desmatadas.

A polpa do uxi é oleosa, de sabor e cheiro peculiares, muito agradáveis e é consumida ao natural, pura ou com farinha de mandioca, constituindo um importante complemento na alimentação dos povos amazônicos (CAVALCANTE, 1991). O fruto é rico em fibras dietéticas, ácidos graxos, vitamina E, sais minerais e sua concentração de fitoesteróis é quase 3 vezes superior à encontrada na soja, tida como rica em fitoesteróis (COSTA *et al*, 2010; MAGALÃES *et al*, 2007; MARX *et al.*, 2002).

Diante desse bioma rico em biodiversidade que é a Amazônia e da escassez de estudos sobre o potencial sensorial e funcional de alguns de seus frutos, que possuem diversas utilidades, grande aceitação e importância local, neste trabalho o objetivo foi caracterizar os frutos da *Endopleura uchi* em três estádios de maturação, visando conhecer suas características físico-químicas, bioquímicas, atividade das enzimas de parede celular e escurecimento, atividade antioxidante, perfil de compostos fenólicos e identificar seus compostos voláteis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Amazônia

A Amazônia legal (Figura 1) abrange em sua totalidade nove Estados (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parcialmente o estado do Maranhão - Oeste do meridiano de 44° WGr) e perfaz uma superfície de aproximadamente 5.217.423 Km², correspondente a cerca de 61% do território brasileiro. O efetivo demográfico da região é de 21.056.532 habitantes, ou seja, 12,4% da população nacional, o que lhe confere a menor densidade demográfica do Brasil - 4,14 hab./ km² (SUDAM, 2014).



Figura 1 Amazônia Legal (IBGE, 2014)

O bioma Amazônia apresenta clima predominantemente quente e úmido. Em sua bacia está a maior rede hidrográfica do planeta, com uma área equivalente a 5% da superfície terrestre, perfazendo a 2/5 da América do Sul. De toda esta

rede hidrográfica, 60% estão em território brasileiro, sendo que tal percentual escoar cerca de 1/5 de todo o volume de água doce do mundo (IBGE, 2014).

A Amazônia, maior floresta tropical existente no mundo, cobre apenas 7% da superfície do nosso planeta. No entanto, contém mais de 50% das espécies da terra (SHANLEY; MEDINA, 2005).

Situada dentro da zona neotropical, a vegetação do Bioma Amazônia apresenta a flora variada, rica em plantas indicadas para os mais diversos usos. Sua fauna também é riquíssima, contendo além dos espécimes visíveis, fungos, bactérias e uma gama de outros microrganismos que contribuem para o balanço ecológico deste bioma. Esta diversidade biológica resulta da interação das variadas condições geoclimáticas predominantes. Por essas e outras características, este espaço é considerado como sendo a maior reserva de biodiversidade biológica do mundo (IBGE, 2014).

A Amazônia é uma região que historicamente vem sofrendo um processo de descaracterização, através do desmatamento, decorrente do modo de ocupação e do uso da terra, o que pode ser considerado o principal problema ambiental da região (IBGE, 2014). Portanto, o modelo tradicional de ocupação da Amazônia tem levado a um aumento significativo do desmatamento na Amazônia legal, sendo este um fenômeno de natureza bastante complexa, que não pode ser atribuído a um único fator (ALENCAR *et al.*, 2004).

Os pequenos produtores da Amazônia que ainda sobrevivem com baixo padrão de vida (analfabetismo, precariedade de apoio médico e educacional, carência de infraestrutura, de assistência técnica e de informações tecnológicas, fragilidade de mercado e o conflito entre os próprios produtores) vêm evoluindo, de forma secular, com as mudanças de mercado, as políticas públicas e as inovações locais e externas (HOMMA, MENEZES; MORAES, 2014). Ainda de acordo com estes autores, o processo de domesticação e/ou transferência de culturas (cacau, seringueira, guaraná, cupuaçu, jaborandi e pupunha) para outros

locais do País e/ ou do exterior afeta os pequenos produtores. Estes passaram a encontrar nas transferências governamentais (bolsa-família, aposentadoria, seguro-defeso, bolsa-verde, bolsa-floresta, etc.) uma estratégia de sobrevivência que não induz à criação de oportunidades produtivas.

De acordo com Homma (2005), a geração de renda e emprego proporcionada pelo aproveitamento correto da biodiversidade poderia reduzir os desmatamentos e queimadas e promover a recuperação de áreas que não deveriam ter sido desmatadas.

Comenta-se muito quanto à importância da biodiversidade amazônica como a grande portadora de um futuro salvador, com respostas para todos os problemas vigentes. Trata-se, contudo, de um discurso abstrato, no qual são esquecidas as potencialidades da biodiversidade do passado, do presente e da necessidade de prospectar novas plantas. O aproveitamento de mercados locais, como o fornecimento de alimentos para a merenda escolar, a substituição de importações, bem como a mudança do enfoque extrativo para diversos produtos amazônicos (madeira, pesca, seringueira, castanha-do-pará etc.) têm sido negligenciados (HOMMA, 2012).

2.2 O uxi (*Endopleura Uchi*)

O uxizeiro (Figura 2) [*Endopleura uchi* (Huber) Cuatrecasas] pertencente à família Humiriaceae, é originário da Amazônia brasileira, encontrando-se disperso praticamente em todos os estados dessa região, porém com maior abundância e frequência nos estados do Pará e Amazonas. No Pará, encontram-se populações naturais cujos frutos apresentam diferenças de tamanho, cor, peso, formato, rendimento de polpa e, possivelmente, características químicas e físico-químicas da polpa. A safra ocorre entre os meses de março e junho. As árvores adultas podem produzir até 2 mil frutos pequenos ou até 300 frutos grandes (MENEZES; HOMMA, 2012).

O uxi também é conhecido como uxi-ordinário, uxi-verdadeiro, uxi-liso, axuá, cumatê, pururu (BORGES, 2010), uxi-amarelo e uxi-pucu (PRANCE; SILVA, 1975).

A árvore é alta, de tronco reto e liso, casca cinzenta, madeira de boa qualidade que atinge até 30 m de altura, com diâmetro de até um metro, folhas denteadas e drupas comestíveis, com sementes oleaginosas e flores pequenas, brancas esverdeadas (SHANLEY; GAIA, 2004). Apresenta frutos ricos em ácidos graxos, fibras, fitoesteróis, sais minerais, Vitamina C (MAGALHÃES *et al.*, 2007; MARX *et al.*, 2002) e Vitamina E (MAGALHÃES *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2010).

O fruto tem uma dupla camada oblongo-elipsoide de 5 a 7 cm de comprimento, 3 a 4 cm de diâmetro, com peso entre 50 e 70 g. Quando maduro, evidencia coloração verde-amarelada ou parda-escuro. É considerado um alimento de grande importância para a subsistência de muitas comunidades rurais mais distantes dos centros urbanos. Todavia, na última década tem sido detectado um mercado em expansão na área periurbana de Belém durante os quatro meses de frutificação, gerando renda para várias famílias. A polpa *in natura*, por exemplo, é consumida pura, bem como na fabricação de sorvete e licor. O fruto é também apreciado por vários animais silvestres, tornando-o favorito pelos caçadores na construção de armadilhas de caça (SHANLEY; LUZ; SWINGLAND, 2002). Ainda com relação à polpa do uxi, tem-se em sua composição: 40% de umidade, 0,9% de protídios, 12,2% de glicídios, 20,2% de lipídios, 1% de sais minerais e 26% de fibras (CAVALCANTE, 1991).



Figura 2 Árvore, fruto verde-imaturo e frutos maduros da *Endopleura uchi*.

O fruto do uxizeiro é muito conhecido pela população amazônica, sendo muito valorizado no mercado. Os lucros com a venda dos frutos são bem-vindos para os colonos que vivem nos arredores da cidade, os quais se beneficiam das técnicas de manejo empregadas por seus pais e avós para favorecer o uxi. Pouco documentados, esses sistemas de manejo são especialmente importante devido à baixa densidade de *Endopleura uchi* nas florestas de terra firme de dossel alto, resultante das mudanças no uso da terra e da perda de habitat (SHANLEY e GAIA 2004).

A polpa do uxi é oleosa, de sabor e cheiro peculiares, muito agradáveis e é consumida no estado natural, pura ou com farinha de mandioca, constituindo um importante complemento na alimentação dessa população (CAVALCANTE, 1991).

A casca é amplamente comercializada em feiras, mercados e até mesmo em farmácias, sendo prescrita sua utilização na forma de maceração ou chá, para o tratamento de artrite, colesterol, diabete e como anti-inflamatório (CORRÊA, 1984) e, além disso, sua casca também é muito utilizada para o tratamento de doenças do aparelho reprodutor feminino.

Acredita-se que o principal componente ativo constituinte desta planta é a berginina, um C- glicosídeo do 4- O – metil ácido gálico, encontrada tanto no fruto como nas cascas de *Endopleura uchi* (MAGALHÃES *et al.*, 2007; NUNOMURA *et al.*, 2009).

A *Endopleura uchi* é uma das espécies localmente mais valiosas que gera conflito de uso por causa de sua excelente madeira, além de seus valores frutífero, medicinal e atrativo para a caça. De madeira durável e pesada (0,93 g/cm³), ela é extraída pela indústria madeireira e usada para construir armários e fazer mourões e vigas. Nas regiões de fronteira e nas rodovias formadas a partir da exploração, o excesso de serrarias e a falta de mercados preparados para vender frutas favorecem a venda das árvores para a indústria madeireira, a qual gera ganhos econômicos de curto prazo. Em áreas superexploradas por toda a região, os efeitos sinérgicos do fogo e da pecuária também contribuem para o declínio da população de *Endopleura uchi* (SHANLEY; GAIA 2004).

Devido ao tamanho da árvore, o fruto não é colhido: aguarda-se que se desprenda da árvore e caia no chão. Porém somente será consumido quando adquirir as características sensoriais mais apreciadas, o que ocorre depois de alguns dias. Quando pronta para o consumo, a casca cede facilmente à pressão dos dedos. Seu período de conservação é relativamente longo, intervalo de tempo em que desidrata, o tegumento encarquilha, fica duro e resistente. Ainda assim, as suas características de aroma e sabor são preservadas (FERRÃO, 2001).

Carvalho *et al.* (2007) afirmam que o uxi é uma fruta bastante conhecida na Amazônia Brasileira. Embora completamente desconhecida em outras regiões do Brasil, mesmo por especialistas em fruticultura, ela é raramente citada nos compêndios sobre frutíferas tropicais, exceto quando envolvem somente espécies amazônicas.

2.3 Qualidade

De acordo com os próprios consumidores, um fruto de qualidade pode ser definido como aquele adequado em forma, tamanho, cor, aroma e ausência de defeitos, tais como cortes, injúria e apodrecimento (SIVAKUMAR; BAUTISTA-BAÑOS, 2014). Para Costa *et al.* (2007), a qualidade externa e qualidade sensorial são os atributos mais importantes em produtos hortícolas e em termos gerais, essa é avaliada considerando a cor, textura, tamanho, forma e defeitos visuais.

O sabor e o valor nutritivo também estão entre os atributos de qualidade mais exigidos pelo consumidor. Os teores de ácidos orgânicos, sólidos solúveis e pH, são alguns dos parâmetros de qualidade em frutos. Esses parâmetros são influenciados por fatores como época, local de colheita, variedade, tratos culturais e manuseio pós-colheita (RODOLFO JÚNIOR *et al.*, 2007).

As mudanças físicas e físico-químicas são as principais causas da perda de qualidade durante o armazenamento. Por isso, torna-se necessário o armazenamento adequado e a utilização de tecnologia pós-colheita que permita preservar a qualidade dos frutos (HAGENMAIER, 2005).

2.4 Desenvolvimento dos frutos

Após a iniciação ou germinação, o desenvolvimento dos frutos é composto por três fases fisiológicas: crescimento, maturação e senescência. O desenvolvimento (formação, crescimento e maturação) das plantas e seus órgãos ocorre mediante uma série dinâmica de processos fisiológicos e bioquímicos geneticamente programados, culminando com a senescência e a morte celular (Figura 3) (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

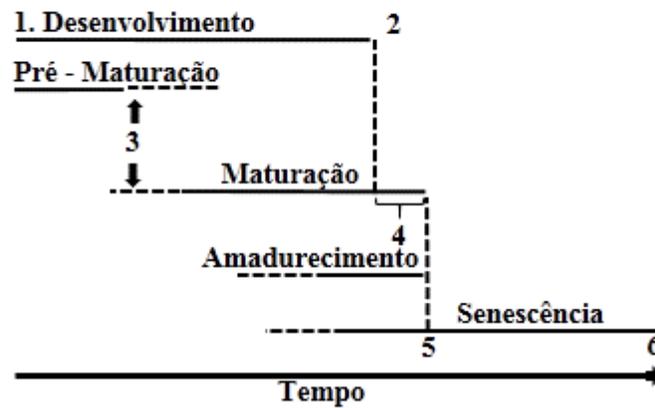


Figura 3 Etapas do desenvolvimento fisiológico dos frutos. 1) Início da formação da polpa; 2) Término de crescimento em tamanho; 3) Início do período de consumo, mas, ainda imaturo, 4) Período ótimo de consumo; 5) Predominância de reações degradativas e 6) Não utilizável para consumo (RYALL E LIPTON (1979) *apud* CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A fase de crescimento é a etapa na qual ocorrem as alterações quantitativas que resultam no aumento de peso e volume desse órgão. Tal fase é bastante influenciada por fatores do ambiente, como temperatura, radiação solar e precipitação, além de fatores genéticos intrínsecos de cada material vegetal (BERILLI *et al.*, 2007).

A maturação é um evento no ciclo vital dos frutos responsável por transformá-los em produtos atrativos e aptos para o consumo humano. Corresponde a um processo fisiológico irreversível que estabelece o final do desenvolvimento dos frutos e o início da senescência, podendo ser definida como a sequência de mudanças na cor, sabor, aroma e textura (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A senescência é um processo irreversível, que tem início, em frutos climatéricos, com a subida respiratória no período climatérico. Esta fase pode ocorrer tanto antes como após a colheita e é caracterizada por processos fisiológicos e químicos, que ocorrem após a maturidade fisiológica. Estas transformações são predominantemente degradativas, culminando com a morte dos tecidos da fruta (KLUGE *et al.*, 2002).

O estudo do desenvolvimento é importante para o estabelecimento do ponto ideal de colheita e para a aplicação de tecnologias que retardem ou reduzam as atividades fisiológicas aumentando seu período de conservação (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

2.5 Enzimas Pectinolíticas

As mudanças no peso molecular de polímeros da parede celular que acompanham o amadurecimento da fruta decorrem da ação de enzimas capazes de degradar componentes específicos da parede celular (FISCHER, BENNETT, 1991).

A degradação de polissacarídeos pécnicos é uma das principais causas do processo de amaciamento dos frutos. Estão envolvidos na modificação da textura de frutas dois principais processos enzimáticos, cuja ação é devida à poligalacturonase (PG) e a pectinametilsterase (PME) (ANTHON *et al.*, 2002).

As poligalacturonases (PGs) são enzimas que catalisam a clivagem hidrolítica de ligações α -1,4-galacturonanas (FISCHER, BENNETT, 1991). Baseado em seu modo de ação, as PGs são classificadas em exopoligalacturonase (EC 3.2.1.67) e endopoligalacturonase (EC 3.2.1.15). As *endo*-PGs clivam esse polímero de maneira aleatória (BRUMMELL; HARPSTER, 2001), resultando em rápida diminuição na viscosidade e, por essa forma, um envolvimento no processo de maturação (PRASANNA, PRABHA, THARANATHAN, 2007). A *exo*PG promove a hidrólise das ligações

glicosídicas de forma sequencial, a partir da extremidade não redutora, formando monômeros e oligômeros de ácidos galacturônicos (KASHYAP *et al.*, 2001).

O resultado prático da ação da poligalacturonase é que barreiras intercelulares (lamela média) são rompidas e a viscosidade de soluções de pectina é diminuída à medida que a ação da enzima é mantida. As exopoligalacturonases não são ativas quando um resíduo de ácido galacturônico metilado se liga ao subsítio +1 e, além disso, como não são eficientes para despolimerização e redução da viscosidade, são de utilidade limitada (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). A diferença entre a endo e a exo PG é a natureza dos produtos formados no início da reação: ao contrário da forma exo, a endo enzima não gera produtos de baixo peso molecular (PRASANNA, PRABHA, THARANATHAN, 2007).

Outra característica da poligalacturonas é mostrar-se mais ativa na degradação da pectina desmetilada do que na metilada, evidenciando outra importante hidrolase: a pectinametilesterase (PME - EC 3.1.1.11), responsável por catalisar a desmetilação do grupo carboxila das cadeias de ácido galacturônico. A PME determina o quanto a pectina é acessível à degradação pela PG (FISCHER; BENNETT, 1991).

A PME catalisa a desmetilação do C6 do grupo carboxílico dos resíduos de galacturosil, desesterificando-o. Assim, a PG somente catalisa a hidrólise das ligações α -1,4, de ácido poligalacturônico, quando desesterificado (ASSIS *et al.*, 2001).

2.6 Compostos Fenólicos

As plantas produzem uma grande diversidade de compostos secundários que contêm o grupo fenol: um grupo hidroxila funcional em um anel aromático. Essas substâncias são classificadas como compostos fenólicos. Os compostos fenólicos vegetais constituem um grupo quimicamente heterogêneo, com aproximadamente 10.000 compostos: alguns são solúveis apenas em solventes orgânicos, outros são

ácidos carboxílicos e glicosídeos, solúveis em água e há, ainda, aqueles que são grandes polímeros insolúveis. Devido à diversidade química, os compostos fenólicos manifestam diversidade de funções nos vegetais. Muitos agem como defesa contra herbívoros e patógenos. Enquanto outros têm função de atrair polinizadores ou dispersores de frutos, de proteção contra radiação ultravioleta, de suporte mecânico ou de reduzir o crescimento de plantas competidoras adjacentes (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os polifenóis são os antioxidantes mais abundantes da dieta. O consumo diário pode atingir 1 g, o que é muito maior que o consumo de todos os outros fitoquímicos classificados como antioxidantes (MANACH *et al.*, 2004). Estão se tornando cada vez mais reconhecidos como tendo benefícios para a saúde e são obtidos a partir de uma vasta gama de alimentos, tais como frutos, vegetais e bebidas (WU *et al.*, 2004).

Os compostos fenólicos pertencem as maiores classes de metabólitos secundários de plantas, cuja síntese não ocorre na espécie humana. Os fenóis presentes nos alimentos abrangem ácidos fenólicos, flavonoides, taninos e cumarinas (MORAES; COLLA, 2006; RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

Os referidos compostos podem ser divididos em dois grupos: os flavonoides e os não flavonoides. O esqueleto básico de carbono dos flavonoides contém 15 carbonos organizados em dois anéis aromáticos, conectados por uma ponte de três carbonos. Esta estrutura é resultante de duas rotas biosintéticas separadas: a rota do ácido chiquímico e a rota do ácido malônico. Os flavonoides são classificados primeiramente pelo grau de oxidação da cadeia de três carbonos e os quatro principais grupos são: antocianinas, as flavonas, os flavonóis e as isoflavonas (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Os ácidos fenólicos ou não flavonoides são divididos em três grupos. O primeiro é composto pelos ácidos benzoicos, que possuem sete átomos de carbono (C6 -C1) e são os ácidos fenólicos mais simples encontrados na natureza. O segundo é formado pelos ácidos cinâmicos, que possuem nove átomos de carbono (C6 -C3),

sendo sete os mais comumente encontrados no reino vegetal. O terceiro grupo é formado pelas cumarinas, derivadas do ácido cinâmico por ciclização da cadeia lateral do ácido o-cumárico. Os ácidos fenólicos, além de se apresentarem sob sua forma natural, podem também se ligar entre si ou com outros compostos. A combinação mais importante destes ácidos ocorre com o ácido cafeico, o qual, associado a um álcool-ácido cíclico, denominado ácido quínico, origina o ácido clorogênico (SOARES, 2002).

Outro grupo de polímeros fenólicos com propriedade de defesa para o vegetal são os taninos. Estes podem ser divididos em duas categorias: condensados e hidrolisáveis. Os condensados são formados pela polimerização de unidades flavonoides e são constituintes comuns em plantas lenhosas. Como os taninos condensados podem frequentemente ser hidrolisados a antocianidinas por tratamentos com ácidos fortes, às vezes são denominados de *pro-antocianidinas*. Os taninos hidrolisáveis são polímeros heterogêneos que contêm ácidos fenólicos, em especial ácido gálico, e açúcares simples. Eles são menores que os taninos condensados e podem ser facilmente hidrolisados, havendo, para tanto, necessidade de apenas ácido diluído (TAIZ; ZEIGER, 2013). As ligninas são polímeros complexos de grande rigidez e resistência mecânica, e sua hidrólise alcalina libera uma grande variedade de derivados dos ácidos benzoico e cinâmico (SOARES, 2002).

De modo geral, os compostos fenólicos e, em particular, os flavonoides possuem estruturas ideais para o sequestro dos radicais livres, sendo considerados antioxidantes mais eficazes que as vitaminas C e E. A atividade antioxidante dos flavonoides depende da sua estrutura e pode ser determinada por cinco fatores: reatividade com o agente doador de H e elétrons, estabilidade do radical flavonol formado, reatividade frente a outros antioxidantes, capacidade de quelar metais de transição e solubilidade e interação com as membranas (BARREIROS; DAVID; DAVID, 2006).

2.7 Antioxidantes

Nos últimos anos, os antioxidantes ganharam muita importância devido ao seu papel como agentes profiláticos e terapêuticos em muitas doenças (RATNAM *et al.*, 2006; DELMONDES, 2013; REED, 2011; XI *et al.*, 2007; LEITE *et al.*, 2008). Eles podem ser definidos como substâncias capazes de retardar ou inibir a oxidação de substratos oxidáveis e têm como principal função proteger os constituintes celulares e manter o estado redox celular (HALLIWELL, 2001). De acordo com Wang e Lin (2000), os antioxidantes podem atuar como agentes redutores, inibidores de enzimas, quelantes de metais e como sequestradores de radicais livres. Quando atacados pelos antioxidantes, os radicais livres tornam-se espécies menos reativos ou não reativos (CERQUEIRA; MEDEIROS; AUGUSTO, 2007).

Os radicais livres são todas as espécies químicas que possuem um ou mais elétrons desemparelhados em sua última camada eletrônica, conferindo alto poder de reatividade, podendo causar danos ao organismo por reagir com praticamente qualquer molécula que entra em contato (HALLIWELL, 2006). O excesso de radicais livres no organismo é combatido por antioxidantes produzidos pelo corpo ou absorvidos da dieta (DELMONDES *et al.*, 2013). No que se refere à produção de radicais livres pelo organismo humano, a síntese é constante e ocorre durante o funcionamento normal da célula, na maioria das vezes sob a forma de espécies reativas de oxigênio (VALKO *et al.*, 2007).

De acordo com o modo de ação, os antioxidantes são classificados em primários e secundários. Os primários reagem com radicais lipídicos de alta energia, para convertê-los em produtos mais estáveis. Já os secundários, conhecidos como preventivos, têm a função de retardar a iniciação da reação em cadeia por quebra dos hidroperóxidos. E ainda atuam como um suporte aos antioxidantes endógenos e são obtidos por meio da dieta. Os antioxidantes podem ser sequestrantes de radicais livres,

de oxigênio e de íons metálicos capazes de catalisar a oxidação lipídica (DUARTE *et al.*, 2009).

Substâncias provenientes de vegetais tais com o ácido ascórbico, vitamina E, carotenoides e compostos fenólicos são antioxidantes exógenos (BARREIROS; DAVID; DAVID, 2006). Nesse sentido, vários compostos de origem vegetal, encontrados em abundância na natureza têm sido estudados (NETO; SOUSA; FREITAS, 2013).

O ácido ascórbico (vitamina C) é um nutriente hidrossolúvel envolvido em múltiplas funções biológicas. É cofator de várias enzimas envolvidas na hidroxilação pós-tradução do colágeno, na biossíntese de carnitina, na conversão do neurotransmissor dopamina a norepinefrina, na amidação peptídica e no metabolismo da tirosina. Adicionalmente, é importante na absorção do ferro dietético, devido a sua capacidade de reduzir a forma férrica (Fe^{3+}) a ferrosa (Fe^{2+}), propiciando absorção do ferro não heme no trato gastrointestinal (HALLIWELL, 2001; LOUREIRO; MASCIIO; MEDEIROS, 2002).

Os compostos fenólicos são classificados como antioxidantes por serem agentes redutores que possuem a capacidade de proteger o organismo contra o estresse oxidativo. O organismo humano não produz essas substâncias químicas protetoras, cabendo ao homem obtê-las por meio da alimentação (OLIVEIRA *et al.*, 2009). Os compostos fenólicos possuem um ou mais anéis aromáticos com um ou mais grupos hidroxilas, incluindo derivados funcionais (ésteres, ácidos, etc) (VOLP *et al.*, 2008).

2.8 Escurecimento Enzimático

O escurecimento enzimático pós-colheita de frutas e hortaliças é principalmente atribuído à oxidação de compostos fenólicos pela enzima polifenoloxidase (PPO) e/ou peroxidase (POD) (JIANG; LI, 2001).

As reações de escurecimento são geralmente aceitas como uma consequência direta da polifenoloxidase e da peroxidase sobre os polifenóis para formar quinonas

que polimerizam e produzem a coloração escura (WANG; WU, 2005; QUEIROZ *et al.*, 2008).

A PPO catalisa duas reações distintas envolvendo oxigênio molecular: a *o*-hidroxilação de monofenóis a *o*-difenois e a oxidação dos *o*-difenois a *o*-quinonas. As *o*-quinonas são moléculas altamente reativas que podem modificar covalentemente nucleófilos, tais como aminas, tióis e compostos fenólicos, levando a formação de pigmentos castanhos ou pretos (melaninas) (BORRELI *et al.*, 2008).

De acordo com Belitz e Grosch (1997), no centro ativo da PPO existem dois íons Cu^+ , cujos campos de ligação contêm dois resíduos de histidina cada um. Seguindo mecanismo ordenado, a enzima liga o oxigênio primeiro e depois o monofenol, com participação dos intermediários. A mudança de valência dos íons cobre ($\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu}^{++}$) provoca a formação de complexo enzima-substrato, no qual a ligação O – O fica tão polarizada que ocorre a hidroxilação, seguida da formação de um *o*-difenol. A oxidação do *o*-difenol a *o*-quinona termina o ciclo, como indicado na figura 4.

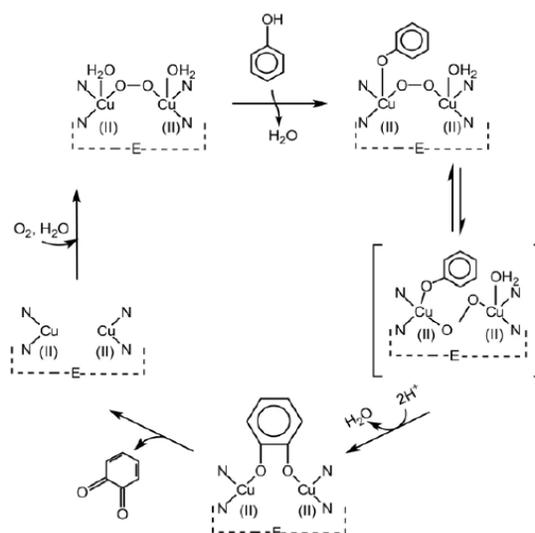


Figura 4 Mecanismo Geral de Reação da Polifenoloxidase.
Fonte: Belitz e Grosch (1997).

As peroxidases (PODs) incluem um grupo de enzimas capazes de catalisar a transferência do hidrogênio de um doador para H_2O_2 . Em plantas, a ação constitui numa proteção antioxidativa, sendo caracterizada na germinação de sementes e nos estágios de crescimento. Múltiplas formas de peroxidases são amplamente distribuídas em todas as plantas. Esta enzima está envolvida em diversas reações celulares, como a oxidação de compostos fenólicos, oxidação do ácido indol-3-acético, ligações de polissacarídeos, ligações com monômeros, lignificação, cicatrização de ferimentos, defesa de patógenos, regulação da alongação de células e outras (KAO, 2003). A peroxidase utiliza o peróxido de hidrogênio para oxidar grande variedade de substâncias doadoras de hidrogênio como fenóis, grupos com anéis aromáticos, ácido ascórbico, aminoácidos e alguns íons inorgânicos (NKANG, 1996). Na figura 5 encontra-se o mecanismo de ação da peroxidase.

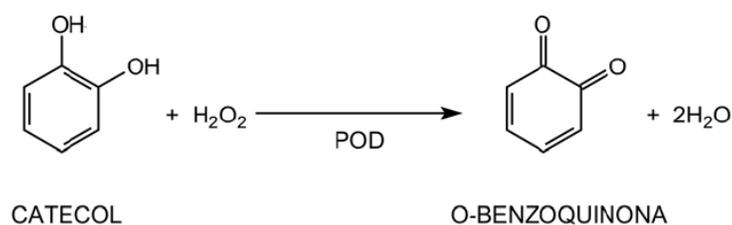


Figura 5 Ação da peroxidase sob os compostos fenólicos.
Fonte: Chitarra e Prado (2002).

As peroxidases contêm um grupo prostético heme (ferriprotoporfirina IX) e no processo catalítico oxidam de forma transitória o íon férrico (Fe^{3+}) a estados de valência mais alta (Fe^{5+} ou Fe^{4+}). O peróxido ($ROOH$) pode ser o de hidrogênio ou peróxido orgânico, como metil ou etil peróxido de hidrogênio. Na reação que envolve a peroxidase, o doador de elétrons pode ser o ascorbato, as aminas e outros compostos orgânicos, tais como os fenóis.

O produto da oxidação apresenta, em muitos casos, coloração intensa (RICHARDSON; HYSLOP, 1985).

As PODs têm seu papel no escurecimento enzimático limitado pela disponibilidade de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Geralmente incrementam a degradação de fenóis, quando a PPO está presente, gerando o H_2O_2 para sua ação. Além disso, as quinonas formadas podem ser substratos para a POD (ROBARDS *et al.*, 1999).

2.9 Compostos Voláteis

Com o amadurecimento, compostos característicos do aroma são produzidos. Quatro ou cinco classes de compostos químicos são responsáveis pelos sabores voláteis mais importantes nas frutas: aldeídos, ésteres, cetonas, terpenoides e compostos que contêm enxofre (KNEE, 2002).

O aroma desenvolve-se no curto período de amadurecimento pleno, durante o qual o metabolismo muda para catabolismo de pequenas quantidades de lipídeos (ácidos graxos), proteínas (aminoácidos) e carboidratos, os quais são enzimaticamente convertidos em compostos voláteis (SILVA, 2009).

A biossíntese de aromas em frutas e hortaliças envolve muitas reações distintas que podem incluir o metabolismo de aminoácidos aromáticos e sulfurados, carboidratos e seus derivados e ácidos graxos insaturados (DAMODARAN; PARKIN e FENNEMA, 2010). Na figura 6, encontra-se o esquema geral de síntese de voláteis em frutos.

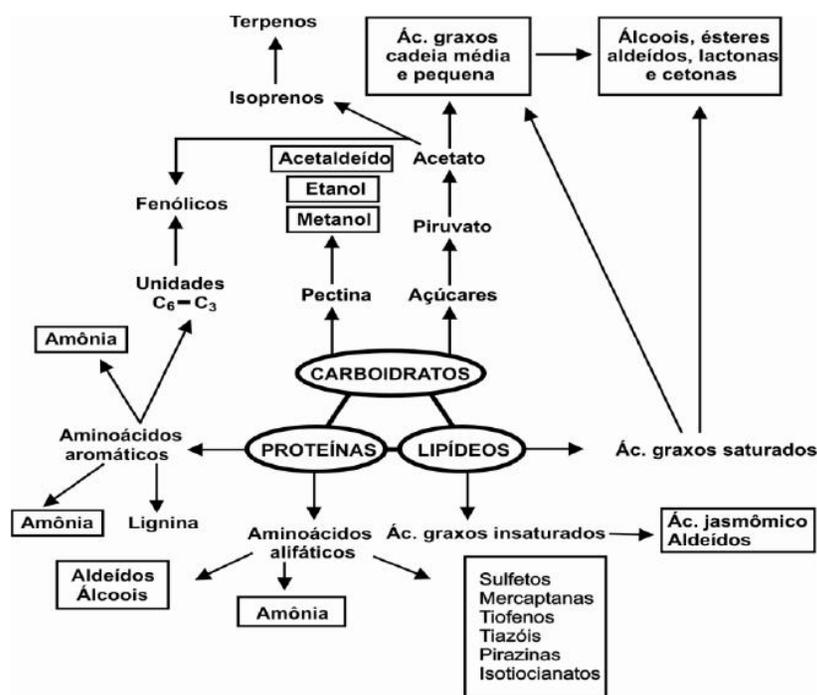


Figura 6 Esquema da biossíntese de compostos voláteis em frutas e hortaliças (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Em sistemas biossintéticos, a via do ácido chiquímico fornece a porção aromática de compostos relacionados a esses ácidos, sendo a via mais conhecida da produção de fenilalanina e outros aminoácidos aromáticos. Além dos compostos de sabor derivados de aminoácidos aromáticos, a via do ácido chiquímico fornece outros voláteis, os quais são frequentemente associados a óleos essenciais (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

REFERÊNCIAS

ALENCAR, A. et al. **Desmatamento na Amazônia:** indo além da emergência crônica. Manaus: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2004. 89 p.

ANTHON, G. E. et al. Thermal inactivation of pectin methylesterase, polygalacturonase, and peroxidase in tomato juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 21, p. 6153-6159, Sept. 2002.

ASSIS, S. A.; LIMA, D. C.; OLIVEIRA, O. M. M. F. Activity of pectinmethylesterase, pectin content and vitamin C in acerola fruit at various stages of fruit development. **Food Chemistry**, London, v. 74, n. 2, p. 133-137, 2001.

BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 113-123, jan./fev. 2006.

BELITZ, H. D.; GROSCH, W. **Química de los Alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1997. 1134 p.

BERILLI, S. S. et al. Avaliação da taxa de crescimento de frutos de mamão (*Carica papaya* L.) em função das épocas do ano e graus-dias acumulados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 11-14, abr. 2007.

BORGES, J. C. M. **Acetilbergenina:** obtenção e avaliação das atividades antiociceptiva e anti-inflamatória. 2010. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

BORRELI, G. M. et al. Distribution along durum wheat kernel of the components involved in semolina colour. **Journal of Cereal Science**, London, v. 48, n. 2, p. 494-502, Sept. 2008.

BRUMMELL, D. A.; HARPSTER, M. H. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. **Plant Molecular Biology**, Amsterdam, v. 47, n. 1/2, p. 311-340, Sept. 2001.

CARVALHO, J. E. U.; MULLER, C. H.; BENCHIMOL, R. L. **Uxizeiro**: botânica, cultivo e utilização. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2007. 107 p.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1991. 279 p.

CERQUEIRA, F. M.; MEDEIROS, M. H. G.; AUGUSTO, O. Antioxidantes dietéticos: controvérsias e perspectivas. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 441-449, 2007.

CHITARRA, A. B.; PRADO, M. E. T. **Utilização de atmosfera modificada e controlada em frutos e hortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 66 p.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças**: fisiologia e manuseio. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CORRÊA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1984. v. 6, 764 p.

COSTA, C. et al. Shape analysis of agricultural products: a review of recent research advances and potential application to computer vision. **Food and Bioprocess Technology**, Chicago, v. 4, n. 5, p. 673-692, 2011.

COSTA, P. A. et al. Phytosterols and tocopherols content of pulps and nuts of Brazilian fruits. **Food Research International**, Barking, v. 43, p. 1603-1606, Apr. 2010.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DELMONDES, P. H. et al. Substâncias antioxidantes presentes nos vegetais. **Interdisciplinar: Revista Eletrônica da Univar**, Barra do Garças, v. 1, n. 9, p. 1-5, 2013.

DUARTE, S. M. S. et al. Efeito da bebida de café descascado sobre a atividade antioxidante, os parâmetros hematológicos e bioquímicos em ratos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 703-708, dez. 2009.

FERRÃO, J. E. M. **Fruticultura tropical**: espécies com frutos comestíveis. Lisboa: Instituto de Investigação Científica Tropical, 2001. v. 2, 580 p.

FISCHER, R. L.; BENNETT, A. B. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 675-703, 1991.

HAGENMAIER, R. D. A comparison of ethane, ethylene and CO₂ peel permeance for fruit with different coatings. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 37, n. 1, p. 56-64, 2005.

HALLIWELL, B. Free radicals and other reactive species in disease. In: **ENCYCLOPEDIA of life sciences**. London: Nature, 2001. p. 1-7.

HALLIWELL, B. Reactive species and antioxidants: redox biology is a fundamental theme of aerobic life. **Plant Physiology**, Washington, v. 141, n. 2, p. 312-322, Apr. 2006.

HOMMA, A. K. O. Biopirataria na Amazônia: como reduzir os riscos? **Amazônica: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 1, n. 1, jul./dez. 2005. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/578134/1/BiopiratariaAmazonia.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

HOMMA, A. K. O. Uso, valorização e experiências exitosas com recursos genéticos vegetais na Amazônia. In: **CONREGESSO BRASILEIRO DE**

RECURSOS GENÉTICOS, 2., 2012, Belém. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos, 2012. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/950546>>. Acesso em: 7 jun. 2014.

HOMMA, A. K. O.; MENEZES, A. J. E. A.; MORAES, A. J. G. **O mundo rural no século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 2014. 1182 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Amazônia Legal**. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/integrado_zee_amazonia_legal/amazonia_administrativo.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2014.

JIANG, Y.; LI, Y. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. **Food Chemistry**, Oxford, v. 73, n. 2, p. 139-143, May 2001.

KAO, C. H. Differential effect of sorbitol and polyethylene glycol on antioxidant enzymes in rice leaves. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 39, n. 1, p. 83-89, Jan. 2003.

KASHYAP, D. R. et al. Applications of pectinases in the commercial sector: a review. **Bioresource Technology**, London, v. 77, n. 3, p. 215-227, 2001.

KLUGE, R. A. et al. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. 2. ed. Campinas: Rural, 2002. 214 p.

KNEE, M. **Fruit quality and its biological basis**. Sheffield: Academic, 2002. 279 p.

LEITE, M. P. et al. Behavioral effects of essential oil of *Citrus aurantium* L. inhalation in rats. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, São Paulo, v. 18, p. 661-666, 2008. Suplemento.

LOUREIRO, A. P. M.; MASCIO, P. D.; MEDEIROS, M. H. G. Formação de adultos exocíclicos com bases de DNA: implicações em mutagênese e carcinogênese. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 5, p. 777-793, 2002.

MAGALHÃES, L. A. M. et al. Identificação de berginina e carotenoides no fruto de uchi (*Endopleura uchi Humiriaceae*). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 3, p. 447-450, 2007.

MANACH, C. et al. Polyphenols: food sources and bioavailability. **The American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 79, n. 5, p. 727-747, May 2004.

MARX, F. et al. Studies of edible Amazonian plants, part 5: chemical characterization of Amazonian *Endopleura uchi* fruits. **European Foods Research Technology**, Dresden, v. 214, n. 4, p. 331-334, 2002.

MENEZES, A. J. E. A.; HOMMA, A. K. O. **Recomendações para o plantio do uxizeiro**. Belém: EMBRAPA, 2012. 5 p. (Comunicado Técnico, 233).

MORAES, F. P.; COLLA, L. M. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios a saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v. 2, n. 2, p. 109-122, nov. 2006.

NKANG, A. Effect of cyanide pretreatment on Peroxidase activity in germinating seeds of *Guilfoylia monostylis*. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 149, n. 1/2, p. 3-8, Nov. 1996.

NOGUEIRA NETO, J. D.; SOUSA, D. P.; FREITAS, R. M. Avaliação do potencial *in vitro* do nerolidol. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, Araraquara, v. 34, n. 1, p. 125-130, 2013.

NUNOMURA, R. C. S. et al. Characterization of Bergenin in *Endopleura uchi* Bark and its anti-inflammatory activity. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 20, n. 6, p. 1060-1064, 2009.

OLIVEIRA, A. C. et al. Fontes vegetais naturais de antioxidantes. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 689-7002, 2009.

PRANCE, G.; SILVA, M. **Árvores de Manaus**. 17. ed. Manaus: CNPq; INPA, 1975. 118 p.

PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit Ripening Phenomena: an overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 47, n. 1, p. 1-19, Feb. 2007.

QUEIROZ, C. et al. Polyphenol oxidase characteristics and mechanisms of browning control. **Food Reviews International**, New York, v. 24, n. 4, p. 361-375, Sept. 2008.

RATNAM, D. V. et al. Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: a pharmaceutical perspective. **Journal of Controlled Release**, Amsterdam, v. 113, n. 3, p. 189-207, July 2006.

REED, T. T. Lipid peroxidation and neurodegenerative disease. **Free Radical Biology & Medicine**, New York, v. 51, n. 7, p. 1302-1319, 2011.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: E. Blucher, 2004. 157 p.

RICHARDSON, T.; HYSLOP, D. B. Enzymes. In: FENNEMA, O. R. (Ed.). **Food chemistry**. 2nd ed. New York: M. Dekker, 1985. p. 371-476.

ROBARDS, K. et al. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. **Food Chemistry**, Oxford, v. 66, n. 4, p. 401-436, 1999.

RODOLFO JÚNIOR, F. et al. Caracterização físico-química de frutos de mamoeiro comercializados na Empasa de Campina Grande-PB. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 53-58, 2007.

RYALL, A. L.; LIPTON, W. J. **Handling, transportation and storage of fruits and vegetables**. 2nd ed. Westport: Avi, 1979. v. 1, 587 p.

SHANLEY, P.; GAIA, G. A “fruta do pobre” se torna lucrativa: a *Endopleura uchi* Cuatrec, em áreas manejadas próximo a Belém. In: ALEXIADES, M. N.; SHANLEY, P. (Ed.). **Productos forestales, médios de subsistencia y conservación**: estudios de caso sobre sistemas de manejo de productos forestales no maderables. Bogor Barat: CIFOR, 2004. v. 3, p. 219-240.

SHANLEY, P.; LUZ, L.; SWINGLAND, I. R. The faint promise of a distant market: a survey of Belém’s trade in non-timber forest products. **Biodiversity and Conservation**, Bengaluru, v. 11, n. 4, p. 615-636, Apr. 2002.

SHANLEY, P.; CARVALHO, J. E. U. Uxi: *Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec. In: SHANLEY, P.; MEDINA, G. (Ed.). **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. Belém: CIFOR; Imazon, 2005. p. 147-158.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutífera e plantas úteis na vida amazônica**. Belém: CIFOR; Imazon, 2005. Disponível em: <http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BShanley_0501.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2014.

SILVA, E. P. **Caracterização do desenvolvimento de frutos do cerrado: Marolo** (*Annona crassiflora*, Mart.) e **Gabiroba** (*Campomanesia pubescens*). 2009. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SIVAKUMAR, D.; BAUTISTA-BAÑOS, S. A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. **Crop Protection**, Guildford, v. 64, p. 27-37, Oct. 2014.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 71-81, jan./abr. 2002.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. **Área de ocupação**. Disponível em: <<http://www.sudam.gov.br/amazonia-legal/area-de-atuacao>>. Acesso em: 6 dez. 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

VALKO, M. et al. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. **The International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, Exeter, v. 39, n. 1, p. 44-84, Aug. 2007.

VOLP, A. C. P. et al. Flavonóides anthocyanins: características e propriedades na nutrição e saúde. **Revista Brasileira de Nutrição e Saúde**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 141-149, dez. 2008.

WANG, J. W.; WU, J. Y. Nitric oxide is involved in methyl jasmonate-induced defense responses and secondary metabolism activities of *Taxus* cells. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 46, n. 6, p. 923-930, Apr. 2005.

WANG, S. Y.; LIN, H. S. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry and strawberry varies with cultivar and developmental stage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v. 48, n. 2, p. 140-146, 2000.

WU, W. et al. Development of a database for total antioxidant capacity in foods: a preliminary study. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 17, n. 3/4, p. 407-422, June/Aug. 2004.

XI, H. et al. Potent free radical scavenger, edaravone, suppresses oxidative stress-induced endothelial damage and early atherosclerosis. **Atherosclerosis**, Limerick, v. 191, n. 2, p. 281-289, 2007.

CAPÍTULO 2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO UXI (*ENDOUPLEURA UCHI*) EM TRÊS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

RESUMO

O uxizeiro (*Endopleura uchi*) é originário da Amazônia brasileira, encontrando-se disperso praticamente em todos os Estados dessa região. Nos últimos anos, os frutos do uxizeiro têm ganhado cada vez mais espaço nos mercados de Belém e adjacências. Os frutos são consumidos principalmente na forma “*in natura*” e utilizados pela população local para o preparo de remédios caseiros. Embora pouco estudado ele apresenta grande potencial sensorial e funcional. O objetivo neste trabalho foi realizar a caracterização física, físico-química e bioquímica de frutos do uxizeiro em três estádios de maturação. Foram realizadas análises de pH, acidez titulável, sólidos solúveis, firmeza, pectina total e solúvel, atividade das enzimas relacionadas ao amaciamento; pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG) e ao escurecimento; polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) e coloração. O amadurecimento do uxi foi marcado pelo aumento dos sólidos solúveis, acidez titulável, aumento da atividade das enzimas relacionadas ao escurecimento e redução do pH e firmeza. O amaciamento coincidiu com a solubilização péctica e aumento da atividade das enzimas PME e PG. Houve mudança de coloração na casca e na polpa que se tornaram mais escuras e alaranjadas.

Palavras-chave: Fruto amazônico. Amaciamento. Enzimas de escurecimento.

ABSTRACT

The uxizeiro (*Endopleura uchi*) originated in the Brazilian Amazon, lying scattered in almost all states of the region. In recent years, the fruits of uxizeiro has gained more and more space in Bethlehem and adjacent markets. The fruits are consumed mainly in the form "in nature" and used by local people to prepare home remedies. Although little studied it presents great sensory and functional potential. The aim of the study was the physical, physico-chemical and uxizeiro the fruits of biochemistry in three maturity stages. PH analyzes were performed, titratable acidity, soluble solids, firmness, total and soluble pectin, activity of enzymes related to softening; pectinmethylesterase (PME) and polygalacturonase (PG) and dimming; polyphenoloxidase (PPO) and Peroxidase (POD) and coloration. The maturing of uxi was marked by increased soluble solids, titratable acidity, increased activity of enzymes related to dimming and reducing the pH and firmness. The break coincided with the pectin solubilization and increased activity of the enzymes PME and PG. There was color change in the peel and pulp, that have become darker and orange.

Keywords: Amazonian fruit. Softening. Browning enzymes.

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira é considerada a maior floresta em extensão e em biodiversidade do mundo. Ela é rica em fauna e flora (SHANLEY; MEDINA, 2005). Possui a maior bacia hidrográfica do globo, da qual 60% encontram-se em território brasileiro. Sua flora abriga espécies consideradas valiosas tanto no mercado local quanto nacional (IBGE, 2014). Contudo, a perda de biodiversidade e os impactos climáticos causados principalmente pelo desmatamento e pelas queimadas são as maiores preocupações, uma vez que a vastidão das florestas remanescentes significa que os impactos potenciais do desmatamento de forma continuada são muito mais importantes que os severos impactos que já ocorreram até hoje (FEARNSIDE, 2005).

Muitas espécies vegetais presentes no bioma Amazônia são utilizadas como fonte alimentícia e no preparo de remédios caseiros, além de serem utilizadas para a caça. Entre essas, cita-se a *Endopleura uchi*, uma árvore presente em toda Amazônia brasileira com maior frequência nos estados do Pará e Amazonas (MENEZES; HOMMA, 2012).

Os frutos são consumidos ao natural ou com farinha de mandioca (CAVALCANTE, 1991). A casca é muito utilizada para o preparo de remédios contra diabetes, colesterol, artrite, e usados como anti-inflamatório e tratamento de afecções do trato genito urinário feminino. Acredita-se que a berginina, encontrada tanto na casca como nos frutos, seja o principal componente ativo desta planta (CORRÊA, 1984; MAGALHÃES *et al.*, 2007; NUNOMURA, *et al.*, 2009).

Observa-se nos quatro meses de frutificação, a chegada a Belém de famílias vindas da região periurbana com seus frutos para comercializar, atividade esta que contribui para a melhoria da renda dos colonos (SHANLEY; LUZ; SWINGLAND, 2002). De acordo com Menezes e Homma (2012), pode-se incentivar o plantio da *Endopleura uchi* nas áreas já alteradas mediante o

aproveitamento das mudas originadas da germinação natural de frutos que não foram coletados na floresta ou por meio da germinação dos caroços.

O fruto do uxizeiro não é colhido, mas coletado no chão, no estágio verde maturo, após a abscisão. Com o passar do tempo, os frutos amadurecem e tornam-se aptos para consumo tanto humano quanto animal. A vida útil do fruto depende da intensidade das alterações associadas ao amadurecimento após a colheita. Os frutos podem ser armazenados por períodos de 2 ou 3 semanas.

A caracterização física e química dos frutos é importante para a avaliação da qualidade, classificação tecnológica, fornecimento de informações seguras para determinar o valor nutricional, do rendimento, das operações de processamento e da vida útil do produto (AUGUSTA *et al.*, 2010). Uma série de mudanças físicas, físico-químicas, enzimáticas, de atividade respiratória e de parede celular ocorre durante o desenvolvimento dos frutos (ALVARENGA *et al.*, 2014), daí a importância de caracterizá-los ao longo do desenvolvimento.

A escassez de estudos científicos de frutos exóticos oriundos da Amazônia contribui para o desinteresse no aproveitamento destes. Uma pesquisa que avalie as propriedades de seus frutos pode contribuir para o conhecimento do potencial sensorial, funcional e de comercialização. Por isso, neste trabalho teve-se como objetivo caracterizar os frutos da *Endopleura uchi* quanto seus aspectos físico-químicos e atividade das enzimas de parede celular e de escurecimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostragem

Os frutos verde-maturos, coletados no município de São Sebastião da Boa Vista (01° 43'05" S "e 49° 31'45" W Gr), Pará, Brasil, foram adquiridos no mercado do Ver-o-Peso em Belém do Pará, acondicionados em caixa de poliestireno e transportados (da coleta a chegada ao laboratório passaram-se 28h) para o Laboratório de pós-colheita de Frutas e Hortaliças da Universidade Federal de Lavras, onde foram realizadas as avaliações.

As análises foram realizadas no uxi em três estádios de maturação: verde, intermediário e maduro, sendo que o estádio verde caracterizou-se pelo fruto com a casca fortemente aderida à polpa que ainda não estava macia, aroma predominantemente herbáceo e sabor intensamente adstringente (dia da chegada), no intermediário as cascas apresentaram menor dificuldade para soltar da polpa que já estava mais macia, sabor adstringente e o aroma liberado era levemente alcóolico (72h após a chegada), no maduro a casca cedeu facilmente à pressão dos dedos, não apresentando o sabor adstringente e possuía o aroma alcóolico mais intenso (a partir de 144h após a chegada).

As seguintes análises foram realizadas nos três estádios de maturação do uxi.

3.1 pH

O pH foi determinado utilizando-se um pHmetro Tec – 3MP (TECNAL), segundo técnica da AOAC (2002).

3.2 Acidez titulável (%AT)

A determinação da acidez titulável foi realizada por titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01 mol/L, usando como indicador a fenolftaleína, de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (2008). Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico.

3.3 Sólidos Solúveis

Para a determinação dos sólidos solúveis foi utilizado refratômetro digital portátil PAL-1 (ATAGO). Os resultados foram expressos em porcentagem de sólidos solúveis (AOAC, 2002).

3.4 Firmeza

Foi realizada em Penetrômetro manual PTR-300 (Instrutherm), efetuando-se três leituras na polpa com sonda de 5 mm de diâmetro, em lados opostos da região equatorial, após a retirada da casca e os resultados foram expressos em N.

3.5 Pectina Total e Solúvel

A extração das substâncias pécicas foi realizada segundo a técnica descrita por McCready e McComb (1952). A determinação colorimétrica foi feita por meio da reação com carbazol, segundo a técnica de Bitter e Muir (1962). Os resultados foram expressos em mg de ácido galacturônico por 100g de polpa.

3.6 Pectinametilesterase (PME)

A extração enzimática foi realizada segundo técnica de Buescher e Furmanski (1978), com modificações de Vilas Boas, Chitarra e Chitarra (1996). A determinação da atividade da PME seguiu as técnicas de Hultin *et al.* (1966) e Ratner (1969), com modificações de Vilas Boas, Chitarra e Chitarra (1996). Uma unidade de PME foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a desmetilação de pectina correspondente ao consumo de 1 μmol de NaOH por grama de polpa fresca por minuto (1 μmol de NaOH. Polpa fresca⁻¹.min.⁻¹).

3.7 Poligalacturonase (PG)

A extração da enzima PG foi realizada segundo a técnica de Buescher e Furmanski (1978), com modificações de Vilas Boas, Chitarra e Chitarra (1996). O doseamento foi realizado segundo Markovic *et al.* (1975), com modificações de Vilas Boas, Chitarra e Chitarra (1996). A atividade enzimática foi expressa em μmol de ácido galacturônico por grama de polpa fresca por minuto (μmol de ácido galacturônico. g polpa fresca⁻¹. min.⁻¹).

3.8 Polifenoloxidase (PPO) e Peroxidase (POD)

A extração das enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) foi realizada de acordo com o método descrito por Matsumo e Uritani (1972). O tecido congelado foi homogeneizado em politron, com tampão fosfato pH 7,0 (0,05M) e imediatamente filtrado em organza. O homegenato obtido foi centrifugado por 10 min a 5.000 g e temperatura de 0 °C. O sobrenadante resultante foi utilizado para a determinação da atividade enzimática. A

determinação da PPO ocorreu de acordo com o método descrito por Teisson (1979). Uma alíquota de 1 mL de extrato enzimático foi adicionada de 3,6 mL de tampão fosfato pH 7,0 (0,1M) e 0,1 mL de catecol 10 mM. A solução obtida foi incubada durante 30 min a 30 °C e a reação interrompida pela adição de 1,6 mL de ácido perclórico 2N. A atividade da PPO foi expressa em unidade (atividade enzimática capaz de alterar 0,001 de absorbância a 395nm) por grama de polpa fresca por minuto ($\text{U.g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). A determinação da atividade da POD foi realizada de acordo com o método descrito por Matsumo e Uritani (1972). Uma alíquota de 3 mL de extrato enzimático foi pipetada sobre uma solução contendo 5 mL de tampão fosfato citrato pH 5 (0,02M), 0,5 mL de peróxido de hidrogênio 30% e 0,5 mL de guaiacol. A solução foi incubada a 30 °C por 5 min, e a reação interrompida pela adição de 1 mL de bissulfito de sódio 30%. A atividade da POD foi expressa em unidade (atividade capaz de alterar 0,001 de absorbância a 470nm) por grama de polpa fresca por minuto ($\text{U.g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

3.9 Coloração

Foi determinada em colorímetro Minolta CR-400, com determinação no modo CIE $L^*a^*b^*$. A coordenada L^* representa quão clara ou escura é a amostra, com valores variando de 0 (totalmente preta) a 100 (totalmente branca), geralmente utilizada para verificar o escurecimento; os valores positivos da coordenada a^* indicam matiz vermelho-púrpura, os negativos verde-azulado. Os valores positivos da coordenada b^* indicam o amarelo e os negativos, azul. O ângulo *hue* (h°) diz respeito ao matiz, normalmente utilizado como sinônimo de cor, sendo que 0° representa o vermelho puro, 90° o amarelo puro, 180° o verde puro e 270° o azul puro. Já o croma (C^*) está relacionado à pureza do matiz, que

varia de intensa ou altamente cromática (valores próximos a 60) a neutra (branco, cinza, negro), valores próximos a zero (MCGUIRE, 1992).

3.10 Análise Estatística

Os dados de todas as medições obtidos em triplicata foram expressos como média \pm desvio padrão. As análises estatísticas foram realizadas com o programa estatístico MS Excel (Microsoft Office 2010 Professional).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, encontram-se os valores médios de pH, acidez titulável expressa em ácido cítrico, sólidos solúveis, relação SS/AT, firmeza, pectina total e solúvel, atividade das enzimas pectinametilesterase, poligalacturonase, polifenoloxidase e peroxidase dos frutos do uxeiro em três estádios de maturação.

Tabela 1 Valores médios de pH, acidez titulável (AT) expressa em ácido cítrico, sólidos solúveis (SS), relação SS/AT, firmeza, pectina total, pectina solúvel, atividade das enzimas pectinametilesterase (PME), poligalacturonase (PG), polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) dos frutos do uxeiro, em três estádios de maturação

	Uxi Verde	Uxi Intermediário	Uxi Maduro
pH	5,91 ± 0,004	5,45 ± 0,084	5,28±0,122
AT (%)	0,13±0,031	0,19±0,006	0,20±0,012
SS %	3,33±0,348	5,93±0,491	7,1±0,351
SS/AT	24,14±1,581	30,59±1,932	36,45±2,171
Firmeza (N)	61,58±4,371	35,27±5,703	16,40±3,899
Pectina Total (mg.100⁻¹)	4608,42±283,5	5247,09± 123,21	5344,07±284,31
Pectina Solúvel (mg.100⁻¹)	348,91 ±9,413	677,83±11,665	731,02±19,403
PME (ηmol g⁻¹ min⁻¹)	6350,00±225,0	9300,00±250,0	11250,00±40,82
PG (ηmol de glicose g⁻¹ min⁻¹)	1,05±0,088	9,02±2,4	11,49±2,476
PPO (U min⁻¹ g⁻¹)	6,37±0,899	3,88±0,064	3,65±0,204
POD (U min⁻¹ g⁻¹)	93,11±0,816	150,14±5,702	130,11±3,642

Os valores apresentados são a média ± desvio padrão de três repetições.

Observou-se queda do pH e aumento da acidez titulável, comparando-se frutos verdes e no estágio intermediário (início do amadurecimento), embora estas variáveis tenham permanecido estáveis, comparando-se os frutos no estágio intermediário e maduros (Tabela 1). O decréscimo do pH foi negativamente correlacionado com o aumento da acidez ($R^2= 0,98$) (tabela 1). Politi (2009) encontrou média de pH de $4,85 \pm 0,01$ no pó de cascas

pulverizadas da *Endopleura uchi*, valor inferior ao encontrado nos frutos. Segundo Wills *et al.* (2007), o teor de ácidos orgânicos reduz com a maturação dos frutos, no entanto os frutos do uxi, assim como bananas, apresentam maior acidez nos estádios finais de maturação (MELO; VILAS BOAS; JUSTO, 2009; MATSUURA; SILVEIRA, 2001).

Os sólidos solúveis (SS) aumentaram ao longo do desenvolvimento, variando de 3,33 a 7,1% nos frutos verdes e maduros, respectivamente (Tabela 1). O aumento dos SS pode ser associado aos aumentos observados na acidez titulável e pectina solúvel (variável discutida adiante), bem como a uma possível conversão de amido a açúcares, comum durante o amadurecimento de alguns frutos, como banana, maçã e pera.

A razão SS/AT aumentou com o amadurecimento, variando de 24,14 a 36,45 para os frutos verdes e maduros, respectivamente. Pinto *et al.* (2003) mencionaram que a relação SS/AT propicia boa avaliação do sabor dos frutos, sendo mais representativa do que mensurar isoladamente açúcares e a acidez.

A firmeza da polpa do uxi diminuiu de 61,58 N a 16,40 N (tabela 1) do fruto verde ao maduro, respectivamente. A firmeza dos frutos é um dos parâmetros de qualidade, pois confere resistência a danos durante a colheita, transporte e fase de comercialização (EMBRAPA, 2006). De acordo com Prasanna, Prabha e Tharanathan (2007), a mais aparente mudança que ocorre durante o amadurecimento é o amaciamento, associado à solubilização, juntamente à despolimerização e desesterificação dos polissacarídeos pectícos.

Os teores de pectina total e solúvel aumentaram com o amadurecimento. A pectina solúvel aumentou cerca de 52% quando comparados frutos maduros aos verdes. A pectina é o principal componente da parede celular primária e, frequentemente é descrita como um polissacarídeo altamente complexo e rico em ácidos galacturônicos (CAFFALL; MOHNEN, 2009). Ela constitui cerca de um terço da estrutura da parede celular (RIDLEY; O'NEIL; MOHNEN, 2001).

O amaciamento da polpa dos frutos é largamente atribuído a alterações da composição e estrutura de polissacarídeos, mediado por enzimas que promovem a solubilização das protopectinas (forma de pectina insolúvel em água e presente em frutos imaturos) (INARI *et al.*, 2002; PRASANNA *et al.*, 2007).

A atividade da PME aumentou, variando de 6350,0 para 11250,0 $\eta\text{mol g}^{-1} \text{min}^{-1}$ e também da PG de 1,05 para 11,49 $\eta\text{mol de glicose g}^{-1} \text{min}^{-1}$ (Tabela 1) nos frutos verdes e maduros, respectivamente.

No que diz respeito às enzimas estudadas relacionadas ao amaciamento, observou-se que o uxi apresentou comportamento semelhante à banana e ao tomate, frutos largamente estudados. Assim como no uxi, a atividade da PME observada nesses frutos foi superior a PG (MELO; VILAS BOAS, 2007; BUCCHERI; CANTWELL, 2014). A atividade da PME no uxi assemelhou-se quantitativamente à da banana. A presença da PG no uxi, nos três estádios de maturação foi quantitativamente menor que em maçã (GOULAO *et al.*, 2007), morango (SEVERO, 2011), tomate (BUCCHERI; CANTWELL, 2014) e banana (MELO; VILAS BOAS, 2007). Wakabayashi *et al.* (2000) e Brummell (2006), mencionaram que a PME tem pouca influência no amolecimento de frutos, servindo apenas como ativadora da PG, pois facilita a atividade desta última pela desmetilação das pectinas. A PG hidrolisa o ácido péctico ao longo da cadeia de ácido poligalacturônico, causando a degradação da pectina, a dissolução da parede celular e por fim, o amolecimento da fruta (WEI *et al.*, 2010). Outras enzimas também são capazes de degradar componentes específicos da parede celular.

A atividade das polifenoloxidasas (PPO) reduziu enquanto a atividade das peroxidases (POD) aumentou ao longo do desenvolvimento dos frutos. Esse comportamento também foi observado em batatas 'Ágata' (PINELI *et al.*, 2005a,b).

A PPO, na presença de oxigênio atmosférico, promove a hidroxilação de monofenóis a dihidroxifenóis que posteriormente são oxidados a *o*-quinonas. As *o*-quinonas condensam-se e reagem não enzimaticamente com outros compostos

como os fenólicos, aminoácidos e proteínas, produzindo as melaninas, pigmentos de coloração escura e estrutura indeterminada (TOMÁS-BARBERÁN; ESPÍN, 2001, LE BOURVELLEC, GUYOT; RENARD, 2009).

As PODs utilizam o peróxido de hidrogênio para oxidar uma grande variedade de substâncias doadoras de hidrogênio como fenóis, grupos com anéis aromáticos, ácido ascórbico, aminoácidos e alguns íons inorgânicos (NKANG, 1996). Elas também oxidam fenóis formando as *o*-quinonas que se polimerizam com outros compostos formando as melaninas.

Quando do descascamento do uxi, observa-se o escurecimento da polpa. Por isso, o estudo das polifenoloxidasas e peroxidases, enzimas relacionadas ao escurecimento é tão importante no uxi. O escurecimento provocado por essas enzimas pode ser um fator limitante na comercialização e aproveitamento desse fruto.

Na tabela 2 encontram-se os resultados das determinações de coloração da casca e da polpa do uxi, em três estádios de maturação.

Tabela 2 Valores médios de cor da casca e da polpa do uxi em três estádios de maturação.

	Casca			Polpa		
	Uxi Verde	Uxi Intermediário	Uxi Maduro	Uxi Verde	Uxi Intermediário	Uxi Maduro
L*	53,26±1,34	49,76±1,25	49,37±2,0	61,00±1,3	54,97±2,76	54,46±1,88
a*	4,23±1,15	6,52±1,17	6,22±1,31	10,36±0,87	9,27±1,06	9,78±1,09
b*	15,90±1,11	12,38±2,25	10,97±2,56	32,61±1,32	25,32±5,16	25,41±2,57
C	16,40±1,14	13,99±2,5	12,65±2,78	34,22±1,37	26,28±3,76	27,24±2,7
h	75,10±2,15	62,11±1,98	60,27±3,46	72,37±1,34	69,12±2,41	68,92±1,52

Os valores apresentados são a média ± desvio padrão de três repetições.

A claridade da casca e da polpa do uxi diminuiu com o avançar do amadurecimento (tabela 2). A coordenada L* (claridade) representa quão claro ou escuro está o fruto, com os valores variando entre 0 (totalmente preto) a 100

(totalmente branco). Tanto a casca quanto a polpa, escureceram com o avançar do amadurecimento.

Observou-se, em função do amadurecimento, redução da coordenada a^* da casca e do C , $^{\circ}h$ e coordenada b^* da casca e da polpa, enquanto aumento foi observado na coordenada a^* da polpa. A coordenada a^* pode assumir valores de -80 a +100 em que os extremos correspondem ao verde e ao vermelho, respectivamente, enquanto o b^* pode assumir valores de -50 (totalmente azul) a +70 (totalmente amarelo). Já o $^{\circ}h$, que pode ser calculado a partir das coordenadas a^* e b^* , no ângulo 0° representa o vermelho puro, no 90° o amarelo puro, no 180° o verde puro e no 270° o azul puro. O croma (C) é a intensidade ou saturação de cor e McGuire (1992) define a vivacidade (próximo de 60) ou opacidade da cor (próximo de zero). Portanto, quanto maior o croma, mais intensa ou saturada é a cor. As alterações nessas variáveis sugerem frutos com casca e polpa amarelados, tendendo ao laranja com o amadurecimento. Nota-se também o escurecimento e perda de vivacidade de cor da casca e polpa, com o início do amadurecimento. O escurecimento da polpa pode ser associado à atividade de PPO e POD (Tabela 1). A mudança de coloração durante o amadurecimento pode ser atribuída à transição de cloroplastos em cromoplastos (BARSAN *et al.*, 2010). Durante essa transição, há a degradação de clorofilas e a síntese de carotenoides, os quais são acumulados nos cromoplastos que são responsáveis pela coloração amarela, laranja e vermelha de muitos frutos (EGEA *et al.*, 2010).

4 CONCLUSÃO

O amadurecimento do uxi foi marcado pelo aumento dos sólidos solúveis, da acidez titulável e da atividade das enzimas relacionadas ao escurecimento, bem como redução do pH e firmeza. O amaciamento coincidiu com a solubilização pécica e aumento da atividade das enzimas PME e PG. Houve mudança de coloração na casca e na polpa que se tornaram mais escuras e alaranjadas, com o amadurecimento.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, C. A. G. et al. Avaliação da fruta de Eugenia uvalha Camboles sob estádios de desenvolvimento. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 7, n. 1, p. 67-75, jan./abr. 2014.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 17th ed. Washinton, 2002. 1115 p.

AUGUSTA, I. M. et al. Caracterização física e química da casca e polpa e jambo vermelho (*Syzygium malaccensis*, (L.) Merryl & Perry). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 4, p. 928-932, 2010.

BARSAN, C. et al. Characteristics of the tomato chromoplast revealed by proteomic analysis. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, p. 2413-2431, Mar. 2010.

BITTER, T.; MUIR, H. M. A modified uronic acid carbazole reaction. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 34, n. 4, p. 330-334, 1962.

BRUMMELL, D. A. Cell wall disassembly in ripening fruit. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 33, n. 2, p. 103-119, Feb. 2006.

BUCCHERI, M.; CANTWELL, M. Damage to intact fruit affects quality of slices from ripened tomatoes. **LWT - Food Science and Technology**, Trivandrum, v. 59, n. 1, p. 327-334, Nov. 2014.

BUESCHER, R. W.; FURMANSKI, R. J. Role of pectinesterase and polygalacturonase in the formation of woolliness in peaches. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 43, n. 1, p. 264-266, Jan./Feb. 1978.

CAFFALL, K. H.; MOHNEN, D. The structure, function and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 344, n. 14, p. 1879-1900, Sept. 2009.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1991. 279 p.

CORRÊA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1984. v. 6, 764 p.

EGEA, I. et al. Chromoplast differentiation: current status and perspectives. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v. 51, n. 10, p. 1601-1611, Oct. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema de produção**: cultivo de tomate para industrialização. Brasília, 2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/cultivares.htm>. Acesso em: 22 jan. 2015.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 113-123, 2005.

GOULAO, L. F. et al. Patterns of enzymatic activity of cell wall-modifying enzymes during growth and ripening of apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 307-318, Mar. 2007.

HULTIN, H. O.; SUN, B.; BULGER, J. Pectin methyl esterases of the banana: purification and properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 31, n. 3, p. 320-327, May/June 1966.

INARI, T. et al. Chances in pectic polysaccharides during the ripening of cherry tomato fruits. **Food Science and Technology Research**, Wageningen, v. 8, n. 1, p. 55-58, Dec. 2002.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo, 2008. 371 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Amazônia Legal**. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/integrado_zee_amazonia_legal/amazonia_administrativo.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2014.

LE BOURVELLEC, C.; GUYOT, S.; RENARD, C. M. G. C. Interactions between apple (*Malus domestica* Borkh.) polyphenols and cell walls modulate the extractability of polysaccharides. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 75, n. 2, p. 251-261, Jan. 2009.

MAGALHÃES, L. A. M. et al. Identificação de berginina e carotenoides no fruto de uchi (*Endopleura uchi* Humiriaceae). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 3, p. 447-450, 2007.

MARKOVIC, O.; HEINRICHOVÁ, K.; LENKEY, B. Pectolytic enzymes from banana. **Collection Czechoslovak Chemistry Community**, London, v. 40, n. 3, p. 769-774, 1975.

MATSUMO, H.; URITANI, I. Physiological behavior of peroxidase enzymes in sweet potato root tissue injured by cutting or black root. **Plant Cell and Physiology**, Oxford, v. 13, n. 6, p. 1091-1101, 1972.

MATSUURA, F. C. A. U.; SILVEIRA, M. I. da. **Banana: pós-colheita**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001. 71 p.

MCCREADY, P. M.; MCCOMB, E. A. Extraction and determination of total pectic material. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 24, n. 12, p. 1586-1588, Dec. 1952.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, Alexandria, v. 17, n. 12, p. 1254-1255, 1992.

MELO, A. A. M.; VILAS BOAS, E. V. B. Redução do amaciamento de banana 'Maçã' minimamente processada pelo uso de tratamentos químicos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 821-828, maio/jun. 2007.

MELO, A. A. M.; VILAS BOAS, E. V. B.; JUSTO, C. F. Uso de aditivos químicos para conservação pós-colheita de banana ‘maçã’ minimamente processada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 228-236, jan./fev. 2009.

MENEZES, A. J. E. A.; HOMMA, A. K. O. **Recomendações para o plantio do uxizeiro**. Belém: EMBRAPA, 2012. 5 p. (Comunicado Técnico, 233).

NKANG, A. Effect of cyanide pretreatment on Peroxidase activity in germinating seeds of *Guilfoylia monostylis*. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 149, n. 1/2, p. 3-8, Nov. 1996.

NUNOMURA, R. C. S. et al. Characterization of Bergenin in *Endopleura uchi* bark and its anti-inflammatory activity. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 20, n. 6, p. 1060-1064, 2009.

PINELI, L. L. O. et al. Associação de atmosfera modificada e antioxidantes reduz o escurecimento de batatas ‘Ágata’ minimamente processadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 993-999, out./dez. 2005a.

PINELI, L. L. O. et al. Caracterização química e física de batatas ‘Ágata’ minimamente processadas, embaladas sob diferentes atmosferas modificadas ativas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 10, p. 1035-1041, out. 2005b.

PINTO, W. S. et al. Caracterização física, físico-química e química de frutos de genótipos de cajazeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1059-1066, set. 2003.

POLITI, F. A. S. **Estudos farmacognósticos e avaliação de atividades biológicas de extratos obtidos das cascas pulverizadas de *Endopleura uchi* (HUBER) CUATREC, (HUMIRIACEAE)**. 2009. 144 p. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento de Fármacos e Medicamentos) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2009.

PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit Ripening Phenomena: an overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 47, n. 1, p. 1-19, Feb. 2007.

RATNER, A.; GOREN, R.; MONSELINE, S. P. Activity of pectin esterase and celulase in the abscission zone of citrus leaf explants. **Plant Physiology**, Washington, v. 44, n. 12, p. 1717-1723, Dec. 1969.

RIDLEY, B. L.; O'NEIL, M. A.; MOHNEN, D. Pectins: structure, biosynthesis and oligogalacturonide-related signaling. **Phytochemistry**, Oxford, v. 57, n. 6, p. 929-967, July 2001.

SEVERO, J. et al. Gene transcript accumulation associated with physiological and chemical changes during development stages of strawberry cv. Camarosa. **Food Chemistry**, Oxford, v. 126, n. 3, p. 995-1000, June 2011.

SHANLEY, P.; LUZ, L.; SWINGLAND, I. R. The faint promise of a distant market: a survey of Belém's trade in non-timber forest products. **Biodiversity and Conservation**, Bengaluru, v. 11, n. 4, p. 615-636, Apr. 2002.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutífera e plantas úteis na vida amazônica**. Belém: CIFOR; Imazon, 2005. Disponível em:
<http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BShanley_0501.pdf>.
Acesso em: 7 dez. 2014.

TEISSON, C. Le brunissement interne de l'ananas: I-historique; II-materiel et methodes. **Fruits**, Paris, v. 34, n. 4, p. 245-281, 1979.

TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; ESPÍN, J. C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 81, n. 9, p. 853-876, July 2001.

VILAS BOAS, E. V. B.; CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F. Modificações pós-colheita de banana 'Prata' γ - Irradiada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 9, p. 599-607, set. 1996.

WAKABAYASHI, K.; CHUN, J. P.; HUBER, D. J. Extensive solubilization and depolymerization of cell wall polysaccharides during avocado (*Persea americana*) ripening involves concerted action of polygalacturonase and pectinmethylesterase. **Physiology Plant**, Minneapolis, v. 108, n. 4, p. 345-352, Apr. 2000.

WEI, J. et al. Changes and postharvest regulation of activity and gene expression of enzymes related to cell wall degradation in ripening apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 147-154, May 2010.

WILLS, R. B. H. et al. **Postharvest**: an introduction to the physiological and handling of fruit and vegetables. Wallingford: CABI, 2007. 163 p.

CAPÍTULO 3 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE, PERFIL FENÓLICO E COMPOSTOS VOLÁTEIS DE UXI (*ENDOUPLEURA UCHI*) EM TRÊS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

RESUMO

O uxizeiro (*Endopleura uchi*), árvore amazônica, produz frutos com grande potencial sensorial, nutricional e funcional, embora ainda muito pouco estudados. Objetivou-se identificar o perfil de compostos voláteis e fenólicos e a atividade antioxidante do uxi, em três estádios de maturação. Frutos verde-maturos foram obtidos em Belém do Pará. A atividade antioxidante (DPPH e ABTS) e os teores de vitamina C, carotenoides e fenólicos totais foram determinados espectrofotometricamente, os voláteis foram determinados por CG-MS, enquanto o perfil fenólico foi determinado por HPLC, utilizando-se padrões puros. O amadurecimento do uxi foi marcado por queda na sua atividade antioxidante (DPPH e ABTS) e vitamina C, aumento de carotenoides totais e queda seguida de aumento de fenólicos totais. Os fenólicos catequina, quercetina, vanilina e os ácidos cafeico, clorogênico, gálico, *m*, *o* e *p*-cumárico foram identificados e quantificados no uxi, nos três estádios de maturação. Apesar de seu estágio de maturação, a catequina foi o fenólico majoritário, encontrada em concentrações que variaram de 119,57 a 149,6 mg/ 100g, seguida do ácido gálico (2,42 a 2,01 mg/ 100g) e quercetina (1,63 a 1,01 mg/ 100g). Ao longo do amadurecimento, observou-se tendência de queda para a maioria dos compostos fenólicos, embora queda seguida de aumento tenha sido observada para o composto majoritário catequina, potente antioxidante associado à proteção cardiovascular. Ésteres foram os voláteis predominantes nos frutos verdes, enquanto os álcoois predominaram nos frutos intermediários e maduros. O acetato de etila foi o volátil que apresentou maior área no fruto verde e o 3-metil-2 butanol no intermediário e maduro. Os resultados obtidos apontam o uxi como um fruto com potencial antioxidante e apelo funcional.

Palavras-chave: Alimento funcional. Carotenoides. Catequina. Fruto amazônico. Vitamina C.

ABSTRACT

The uxi (*Endopleura uchi*), Amazonian tree, produces fruit with great sensory, nutritional and functional potential, although still very little studied. This study aimed to identify the antioxidant activity and the profile of phenolic and volatile compounds of uxi fruit in three maturation stages. Mature green fruits were obtained in Belem do Para- Brazil and let to ripen off the tree. The antioxidant activity (DPPH and ABTS) and the contents of vitamin C, carotenoids and total phenolic were determined spectrophotometrically, volatiles compounds were determined by GC-MS, while phenolic compounds were determined by HPLC, using pure standards. The uxi fruit ripening was marked by a decline in its antioxidant activity (DPPH and ABTS) and vitamin C, increase in total carotenoids and decrease followed of increase of total phenolics. The following phenolic compounds catechin, quercetin, vanillin and caffeic, chlorogenic, gallic, *m*, *o*, *p*-coumaric acids were identified and quantified in uxi fruit in the three maturation stages. Despite its maturation stage, catechin was the major phenolic found in concentrations ranging from 119.57 to 149.6 mg / 100g, followed by gallic acid (2.42 to 2.01 mg / 100g) and quercetin (1.63 the 1.01 mg / 100g). During the ripening it was observed a declining trend for most of the phenolic compounds, although decrease followed increase was observed for the major compound catechin. Esters were the predominant volatiles in mature green fruit, while alcohol predominated in intermediate and ripe uxi fruit. Ethyl acetate was the volatile compound with the biggest area in mature green fruit whereas 3-methyl-2-butanol in intermediate and ripe fruit. The obtained results point uxi as a fruit with antioxidant potential and functional appeal.

Keywords: Functional food. Carotenoids. Catechin. Amazonian fruit.
Vitamin C.

1 INTRODUÇÃO

O uxizeiro (*Endopleura uchi*) é uma espécie originária da Amazônia (MENEZES; HOMMA, 2012). Sua madeira, casca e frutos são valiosos para população local, que consome o fruto ao natural ou com farinha de mandioca (SHANLEY; GAIA 2004; SHANLEY; CARVALHO, 2005). Durante os meses de frutificação, os frutos da *Endopleura uchi* trazidos pelas famílias vindas da região periurbana de Belém, ganham espaço no comércio e geram renda para os colonos (SHANLEY; LUZ; SWINGLAND, 2002). A casca é muito utilizada para o preparo de remédios. Acredita-se que a berginina, encontrada tanto na casca como nos frutos, seja o principal componente ativo desta planta (CORRÊA, 1984; MAGALHÃES *et al.*, 2007; NUNOMURA, *et al.*, 2009).

Atualmente, alimentos com alegação de possuir propriedades funcionais têm atraído o interesse de muitos pesquisadores e consumidores que buscam uma dieta que, além de nutrir, traga outros benefícios à saúde, como redução do risco de doenças. Apesar de ainda pouco estudado, o potencial funcional do uxi (MAGALHÃES *et al.*, 2007; NUNOMURA, *et al.*, 2009) pode torná-lo uma opção saudável para a população brasileira, em geral, como de outras nações.

Evidências epidemiológicas têm demonstrado que o consumo regular de frutas está associado à redução da mortalidade e morbidade causadas por algumas doenças crônicas não transmissíveis (MELO *et al.*, 2008; ALOTHMAN, BHAT; KARIM, 2009; CASSILETH, 2008). Os frutos apresentam, em sua constituição, vários compostos com ação antioxidante, os quais incluem o ácido ascórbico, carotenoides e polifenóis, sendo estes últimos, a maior classe de antioxidantes provenientes da dieta (RATNAM *et al.*, 2006). De acordo com sua capacidade antioxidante, os frutos podem ser classificados como de baixa, moderada e forte atividade quando exibem atividade sequestrante de radicais livres, menor que 50%, entre 50 e 70% e acima de 70%, respectivamente

(Melo et al., 2008). Salienta-se que a quantidade e o perfil dos fitoquímicos presentes em frutas varia em função do tipo, variedade, luz solar, solo, estação e do grau de maturação, bem como das condições climáticas e edáficas do cultivo (LEONG; SHUI, 2002; CHIRINOS *et al.*, 2013; ILAHY *et al.*, 2011).

O conhecimento das alterações que ocorrem durante o desenvolvimento, em especial a maturação dos frutos, é importante, pois elas definem o seu valor sensorial, nutricional e funcional. Ao longo do amadurecimento, etapa final da maturação, variações bioquímicas, fisiológicas e estruturais ocorrem, influenciando a qualidade dos frutos (SIDDIQUI *et al.*, 2013). Do ponto de vista sensorial, enfatiza-se a importância da identificação dos compostos voláteis, determinantes do aroma e sabor dos alimentos (ONG *et al.*, 2008). Com o amadurecimento, compostos característicos do aroma são produzidos. Quatro ou cinco classes de compostos voláteis são responsáveis pelos mais importantes odores e sabores nas frutas: aldeídos, ésteres, cetonas, terpenoides e compostos que contêm enxofre (KNEE, 2002).

Entre os métodos de extração de voláteis, destaca-se a microextração em fase sólida (SPME) que integra amostragem, extração e concentração numa única etapa praticamente livre de solventes e utiliza uma pequena fibra de sílica fundida (BRAGA *et al.*, 2015). Marx *et al.* (2002) avaliaram o perfil volátil no uxi, no entanto, utilizaram a técnica de extração e destilação simultânea avaliando os frutos apenas em um estágio de maturação.

Após extensa revisão bibliográfica não encontramos artigos que tratassem da avaliação do uxi em diferentes estádios de maturação, tampouco sobre o seu potencial antioxidante e perfil volátil por SPME. Considerando-se a escassez de estudos sobre o uxi e seu potencial alimentar, neste trabalho os objetivos foram estudar a capacidade antioxidante e o perfil volátil dos frutos da *Endopleura uchi*, em três estádios de maturação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostragem

Os frutos verde-maturos, coletados no município de São Sebastião da Boa Vista (01° 43'05" S "e 49° 31'45" W Gr), Pará, Brasil, foram adquiridos no mercado do Ver-o-Peso em Belém do Pará, acondicionados em caixa de poliestireno e transportados (da coleta a chegada ao laboratório passaram-se 28h) para o Laboratório de pós-colheita de Frutas e Hortaliças da Universidade Federal de Lavras, onde foram realizadas as avaliações.

As análises foram realizadas no uxi em três estádios de maturação: verde, intermediário e maduro, sendo que o estádio verde caracterizou-se pelo fruto com a casca fortemente aderida à polpa que ainda não estava macia, aroma predominantemente herbáceo e sabor intensamente adstringente (dia da chegada), no intermediário as cascas apresentaram menor dificuldade para soltar da polpa que já estava mais macia, sabor adstringente e o aroma liberado era levemente alcóolico (72h após a chegada), no maduro a casca cedeu facilmente à pressão dos dedos, não apresentando o sabor adstringente e possuía o aroma alcóolico mais intenso (a partir de 144h após a chegada).

As seguintes análises foram realizadas nos três estádios de maturação do uxi.

2.2 Vitamina C

O teor de ácido ascórbico (após a oxidação a ácido dehidroascórbico) foi determinado pelo método colorimétrico, utilizando-se 2,4 dinitrofenilhidrazina, segundo Strohecker e Henning (1967). Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico 100g⁻¹ de polpa.

2.3 Carotenoides

A quantificação dos carotenoides totais foi realizada segundo Rodriguez-Amaya e Kimura (2004). Sendo a coloração lida em espectrofotômetro, a 450 nm. Os resultados foram expressos em μg de β -caroteno g^{-1} .

2.4 Fenólicos Totais

Os fenólicos totais foram determinados pelo método Folin-Ciocalteu (WATERHOUSE, 2002). A cor azul produzida pela redução do reagente Folin-Ciocalteu pelos fenólicos foi medida espectrofotometricamente, na faixa de absorção de 750 nm. O cálculo do teor de fenólicos foi realizado a partir da equação da reta obtida da curva padrão do ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (EAG) 100g^{-1} de polpa.

2.5 Porcentagem Sequestro de Radicais Livres (%SRL- DPPH)

A determinação da atividade antioxidante foi realizada pelo método de sequestro do radical DPPH por antioxidantes, segundo Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), adaptado por Rufino et al. (2007). Para determinar a atividade antioxidante, empregaram-se os extratos utilizados para a determinação dos fenólicos totais.

Este método tem por base a redução do radical DPPH que, ao fixar um H (removido do antioxidante em estudo), leva a uma diminuição da absorbância. Para a análise das amostras, adicionaram-se 3,9 mL da solução de DPPH 0,06mM a uma alíquota de 0,1 mL do extrato. As leituras foram

realizadas em espectrofotômetro UV-visível, a 517 nm, após 60 minutos do início da reação. As determinações foram realizadas em triplicata e acompanhadas de um controle (solução de DPPH sem agente antioxidante). A queda na leitura da densidade ótica das amostras foi comparada com o controle, estabelecendo-se a porcentagem de descoloração do radical DPPH, conforme a fórmula: % (SRL) = ((Abs controle- Abs amostra)/ (Abs controle)) *100.

Os resultados foram expressos em % de sequestro de radical livre (% SRL).

2.6 TEAC e % Sequestro de Radicais Livres ABTS

O teste foi realizado baseado no método proposto por Kuskoski et al., (2005), Re et al. (1999) e Rice-Evans e Miller (1996), com modificações. Preparou-se uma solução catiônica de ABTS (2,2'-azinobis- 3-etil-benzotiazolína-6-sulfonado), misturando em partes iguais (v:v) de solução ABTS 7,0mM e de solução de persulfato de potássio 2,45mM. Esta reagiu por 16 horas, em temperatura ambiente e ausência de luz. Após formado o radical ABTS•+, adicionou-se etanol à solução até obter um valor de absorbância de 0,700 (±0,05) a 735nm. A determinação da absorbância das amostras foi realizada em temperatura ambiente, 23°C (±1), após 6 minutos de reação. Como padrão desse ensaio foi utilizado como antioxidante de referência o Trolox (6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico). Os resultados foram expressos em µMol de Trolox/g de uchi e %SRL.

2.7 Perfil de Fenólicos

Foi realizado por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), onde os extratos foram preparados utilizando-se 2,5 gramas de polpa, acrescidos de 20mL de solução de metanol 70%. As amostras foram homogeneizadas em politron e posteriormente permaneceram por 60 min em banho ultrassônico à temperatura ambiente. Após, foram centrifugadas a 1400 x g por 15 minutos a 4 °C e filtradas em papel de filtro Whatman nº2 (RAMAYA et al., 2012). Para a identificação e quantificação dos compostos fenólicos foi utilizado cromatógrafo líquido de alta eficiência com detecção de diodo (HPLC-DAD/UV-Vis), coluna C18, 5 µm (250 mm x 4,6 mm). As fases móveis utilizadas foram 2% de ácido acético em água (Fase móvel A) e 70:28:2 de metanol/água/ácido acético, respectivamente (Fase móvel B). A taxa de fluxo foi de 1,0 mL/min e o tempo de corrida de 65 minutos. O volume injetado foi de 20 µL e as análises foram conduzidas a 15 °C. O comprimento de onda utilizado para detecção foi 280 nm.

Os padrões utilizados para este estudo foram: ácido gálico, ácido clorogênico, catequina, ácido cafeico, ácido *m*-cumárico, ácido *o*-cumárico, ácido *p*-cumárico, ácido rosmarínico, quercetina, vanilina, ácido ferrúlico e trans-cinâmico. As soluções padrões foram preparadas em metanol grau HPLC e as curvas de calibração foram obtidas a partir de injeções em duplicatas de cinco concentrações. Na análise em HPLC, os compostos fenólicos foram identificados comparando o tempo de retenção com os dos padrões puros. Os resultados foram expressos em mg do composto fenólico/100g de polpa.

2.8 Compostos Voláteis

Extração: os compostos voláteis foram extraídos pela técnica de microextração em fase sólida (SPME). Um grama da amostra foi transferido para um *vial* (próprio para retenção de volátil) de 10ml e foram levados para agitação e aquecimento a 70 °C por 15 minutos. Foi usada fibra de carboxem/polidimetilsiloxano (CAR/PDMS) 75µm para a partição dos compostos voláteis presentes na amostra. A fibra foi acondicionada a uma temperatura de 300 °C por 1 hora antes da utilização. Entre os analitos, o tempo de acondicionamento foi de 25 minutos. A fibra foi exposta ao *headspace* do frasco de vidro (10 mL), contendo 1 grama da amostra (uxi). Após 15 minutos de exposição à fibra sob 70 °C, a seringa foi automaticamente levada ao injetor do CG-MS, no qual os compostos voláteis foram dessorvidos, a 250 °C, em *splitless* por 2 minutos.

Identificação: a identificação dos compostos voláteis foi realizada na Central de Análises e Prospecção Química do Departamento de Química da UFLA, Lavras, MG. Utilizou-se aparelho Shimadzu CG-17A, com detector seletivo de massas modelo QP5050A, sob as seguintes condições operacionais: coluna capilar de sílica fundida de 30 m x 0,25 mm e 0,25 µm de espessura, tendo como fase estacionária 5% de difenil e 95% de polidimetilsiloxano (DB5); temperatura do injetor de 220 °C; programação da coluna com temperatura inicial de 40 °C, sendo acrescidos 3 °C a cada minuto até atingir 270 °C; gás de arraste hélio, com 1,0 mL.min⁻¹ na coluna; *Split* 5,0 com pressão inicial na coluna de 49,3 KPa.

As condições da EM foram: detector seletivo de massas operando por impacto eletrônico e energia de impacto de 70 eV; velocidade de varredura 1000 m/z s⁻¹; intervalo de varredura de 0,5 fragmentos/segundos e fragmentos detectados de 29 Da e 600 Da. Os compostos foram identificados comparando o

tempo de retenção de padrões de alcanos C8-C20, da Sigma Aldrich, nas mesmas condições, com índices de retenção da literatura. Os fragmentos de massa foram comparados utilizando as bibliotecas WILLEY 8 e literatura específica (ADAMS, 2007).

2.9 Análise Estatística

Os dados de todas as medições obtidos em triplicata foram expressos como desvio padrão (\pm) da média. As análises estatísticas foram realizadas com o programa estatístico MS Excel (Microsoft Office 2010 Professional).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, encontram-se os valores médios de vitamina C, carotenoides, fenólicos totais, atividade antioxidante em percentual de sequestro de radicais livres- %SRL (DPPH e ABTS) e TEAC nos frutos do uxi, em três estádios de maturação.

Tabela 1 Valores médios de vitamina C, carotenoides, fenólicos totais, atividade antioxidante em percentual de sequestro de radicais livres- %SRL (DPPH e ABTS) e TEAC nos frutos do uxi, em três estádios de maturação.

	Uxi Verde	Uxi Intermediário	Uxi Maduro
Vitamina C. (mg 100g⁻¹)	59,07±9,16	55,55±5,33	52,19±3,5
Carotenoides (µg de β-caroteno g⁻¹)	5,37±0,49	14,58±0,16	20,01±0,74
Fenólicos Totais (mg de EAG 100g⁻¹)	173,67±3,23	106,66±2,66	131,72±6,26
%SRL- DPPH	28,21±4,76	8,88±1,98	7,79±1,51
%SRL-ABTS	32,79±3,88	28,05±1,87	20,25±1,09
TEAC (µMol de Trolox g⁻¹ de uchi)	352,50±7,63	271,5±19,63	138,25±11,5

O teor de vitamina C permaneceu relativamente estável ao longo amadurecimento dos frutos (Tabela 1). O uxi apresentou valor médio de vitamina C de 55,60 mg 100g⁻¹, valor próximo ao que é encontrado em laranja: 57, mg 100g⁻¹ (PELLEGRINI et al., 2007), 44,27 mg 100g⁻¹ (LO SCALZO, R. et al., 2004), 62,50 mg 100 mL⁻¹ de suco na laranja pera (COUTO; CANNIATTI-BRAZACA, 2010), mostrando-se fonte desta vitamina. Marx *et al.* (2002) encontraram menor quantidade de vitamina C (22,2 mg 100g⁻¹) presente na polpa do uxi. A ingestão diária recomendada de vitamina C estabelecida pela *National Academy of Sciences* (2004) é de 75 mg para mulheres, 90

mg para homens e 45 mg para crianças, portanto 100 g de uxi atende à necessidade diária de uma criança.

O teor de carotenoides totais do uxi aumentou do verde para o maduro (Tabela 1). Nos cloroplastos, os tilacoides e plastoglóbulos fornecem os plastídeos com alta capacidade para sequestrar e armazenar os carotenoides sintetizados, conduzindo a elevados níveis de acúmulo em tecidos verdes (NISAR et al., 2015). O aumento na quantidade de carotenoides sugere que, mesmo fora da planta-mãe, o uxi continua sintetizando-os. O uxi maduro (20,01 µg/g) apresentou valor de carotenoides próximo ao encontrado em acerola (22 µg/g), melão ‘Cantaloupe’ (20 µg/g), piquiá (*Caryocar villosum*) (20 µg/g) e cenoura (20 µg/g) (Rodrigues-Amaya, Kimura e Amaya-Farfan, 2008). A atividade de vitamina A na dieta deriva de duas fontes: ésteres de retinil (pré-vitamina A) em alimentos de origem animal e de carotenoides com atividade provitamina A, em vegetais (WIRTZ et al. 2001). A ingestão diária recomendada de vitamina A estabelecida pela *National Academy of Sciences* (2004) é de 900 a 700 µg para homens e mulheres, respectivamente. Portanto, o uxi pode contribuir para a composição da dieta.

Observou-se queda (38%), seguida de aumento (23%) no teor de fenólicos totais, no início e final de amadurecimento, (Tabela 1). O uxi pode ser classificado como fruto de médio teor de fenólicos, considerando-se a classificação proposta por Rufino et al. (2010). A concentração de fenólicos do uxi é superior à de alguns outros frutos exóticos brasileiros: umbu semimaduro (38,03 mg de EAG/ 100g) (MELO; ANDRADE, 2010), abiu (83,0 mg de EAG/ 100g), aração-boi (111,0 mg de EAG/ 100g), cupuaçu (40,3 mg de EAG/ 100g), frutos de pupunheira (65,7 mg de EAG/ 100g) (CONTRERAS-CALDERÓN et al., 2011).

Verificou-se redução da capacidade antioxidante do uxi, independentemente do método utilizado, com o decorrer do amadurecimento (Tabela 1). Alguns autores associam a redução da capacidade antioxidante, ao longo do amadurecimento, em alguns frutos com a diminuição da quantidade de compostos fenólicos e outros

compostos bioativos (FISCHER et al., 2011; MPAHLELE et al., 2014; DRAGOVIC-UZELAC et al., 2007; BENCHIKH et al., 2014; GULL et al., 2012). Por conseguinte, uxis verde-maturos apresentaram maior teor de fenólicos e maior capacidade antioxidante, comparados com uxis no início e final do amadurecimento.

3.1 Perfil de fenólicos

Os valores médios do perfil de compostos fenólicos dos frutos do uxizeiro, em três estádios de maturação, encontram-se na tabela 2.

Tabela 2 Perfil de compostos fenólicos do uxi em três estádios de maturação.

Perfil de Compostos Fenólicos	Uxi verde (mg.100g ⁻¹)	Uxi intermediário (mg.100g ⁻¹)	Uxi maduro (mg.100g ⁻¹)
Ácido Cafeico	0,7487±0,0180	0,3651±0,0023	0,4095±0,069
Ácido Clorogênico	0,4368±0,0958	0,3264±0,005	0,3299±0,0023
Ácido Ferrúlico	-	-	0,4498±0,1938
Ácido Gálico	2,4228±0,02	2,0493±0,031	2,0083±0,097
Ácido <i>m</i> - Cumárico	0,067±0,051	0,1025±0,006	0,072±0,0007
Ácido <i>o</i> - Cumárico	0,4766±0,033	0,3309±0,004	0,7493±0,09
Ácido <i>p</i> - Cumárico	0,0839±0,0084	0,0255±0,0004	0,0202±0,001
Ácido trans-cinâmico	0,057±0,0207	-	0,0647±0,006
Catequina	119,568±0,8489	102,993±0,561	149,594±32,443
Quercetina	1,6269±0,047	0,7384±0,005	1,0067±0,007
Vanilina	0,0473±0,0028	0,0653±0,0004	0,0741±0,0567

Observou-se queda para a maioria dos compostos fenólicos, embora queda seguida de aumento tenha sido observada para ácido *o*- cumárico, catequina, ácido trans-cinâmico e quercetina. Esse comportamento também foi percebido nos compostos fenólicos totais. Na figura 1 são representados os cromatogramas relativos ao padrão de fenólicos e perfil fenólico do uxi verde, intermediário e maduro.

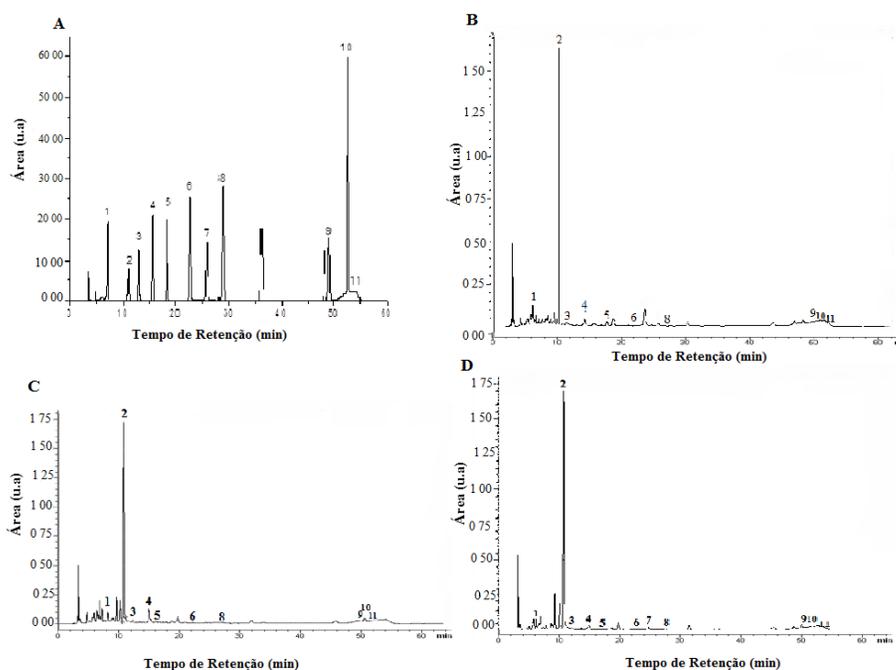


Figura 1 A: Cromatograma de padrões de fenólicos; B: Cromatograma do uxi verde; C: Cromatograma do uxi intermediário; D: Cromatograma do uxi maduro. 1: Ácido Gálico; 2: Catequina; 3: Ácido clorogênico; 4: Ácido cafeico; 5: Vanilina; 6: Ácido *p*-cumárico; 7: Ácido Ferrúlico; 8: Ácido *m*-cumárico; 9: Ácido *o*-cumárico; 10: Quercetina; 11: Ácido trans-cinâmico.

Entre os compostos fenólicos identificados, a catequina apresentou-se em maior quantidade. Ela e seus monômeros são apontados pelo seu potencial poder de promover benefícios à saúde, contribuindo na prevenção e/ou tratamento de diversas doenças crônico-degenerativas incluindo o câncer, doenças cardiovasculares e diabetes mellitus (AL-HAZZANI; ALSHATWI, 2011; JAIN et al., 2013; ADITYA et al., 2014; LV et al., 2014), além de atuar na redução da concentração de triglicerídeos (CHEN et al., 2014), e regulação de enzimas que atuam sobre tecido adiposo (ZHANG et al., 2012). As catequinas

são metabolizadas de forma rápida e extensiva (KIM, LEE; HONG, 2000; LESSER; KEEN, LANOUE, 2015).

A atividade antioxidante das catequinas pode prevenir a citotoxicidade induzida pelo estresse oxidativo em diferentes tecidos, pois possui ação varredora de radicais livres, ação quelante de metais de transição tais como ferro e cobre, impedindo assim a formação de espécies reativas de oxigênio pela reação de Fenton, além de ação inibidora da lipoperoxidação (LIU et al., 2015; CHENG, et al., 2013). Elas podem capturar as espécies reativas de oxigênio. Sua atuação básica consiste em transferir elétrons para as espécies reativas de oxigênio, estabilizando-as e formando com os radicais livres capturados um radical flavínico, bem menos reativo (DE LUIS; ALLER, 2008).

Altas concentrações de catequinas podem ser encontradas em folhas de chá verde, vinho tinto, uvas pretas, favas e morangos (GADKARI; BALARAMAN, 2013). De acordo com Grove e Lambert (2010), uma xícara de chá verde (200 mL), preparado com 2 gramas de folhas em água fervente, contém 240-320 mg de catequinas, o que equivaleria ao consumo de 160 a 213 g de uxi maduro fresco.

O ácido gálico, embora presente numa proporção de cerca de 2% do composto majoritário (catequina), foi o segundo fenólico mais abundante identificado no uxi. Ele possui atividade antioxidante a pH estomacal (ABDELWAHAB, 2013), pode sequestrar o radical DPPH (ASNAASHARI; FARHOOSH; SHARIF, 2014), além de possuir atividade antifúngica (NGUYEN et al., 2013; KHATKAR et al., 2013). As propriedades terapêuticas (antitumoral, antimicrobiano e antiviral) desse trifenois têm estimulado a elaboração de seus derivados ésteres (LOCATELLI, FILIPPIN-MONTEIRO; CRECZYNSKY-PASA, 2013).

Dos fenólicos identificados, a quercetina foi a terceira mais abundante, embora sua proporção em relação à catequina (composto majoritário) tenha sido

de apenas 1,3%. A quercetina (3,5,7,3'-4'- pentahidroxi flavona) é o principal flavonoide presente na dieta humana e o seu consumo diário médio é de cerca de 23 mg, o que representa 60-75% da média de ingestão de polifenol (SAMPSON et al., 2002). Possui efeito neuroprotetor (WILLIAMS; SPENCER; RICE-EVANS, 2009) além de ser um antioxidante geralmente encontrado na forma glicosilada, às vezes, como β -glicosidase. A natureza de sua glicosilação é conhecida por influenciar a eficiência de sua absorção (LODI et al., 2009). A quercetina glicosilada é mais rapidamente absorvida pelos humanos, independentemente da posição da glicose (BEHLING et al., 2004).

Em concentrações inferiores a 1mg 100 g⁻¹ foram identificados os ácidos cafeico, clorogênico, ferrúlico, *m*-, *o*- e *p*-cumárico e transcinâmico, além da vanilina, salientando-se que o ácido ferrúlico não foi encontrado nos frutos verde-maturos e no estágio intermediário de maturação, enquanto o ácido transcinâmico não foi observado nos frutos no estágio intermediário de maturação.

O ácido cafeico é um composto polar com forte habilidade de quelar metais (MEDINA *et al.*, 2007). A molécula tem dois sítios potenciais para complexar metais, o grupo carboxila e os grupos *o*- difenil (CILLIERS; SINGLETON, 1991). O efeito antioxidante do ácido cafeico inclui três aspectos: antiperoxidação lipídica, sequestro de radical livre e antioxidação de lipoproteínas de baixa densidade (CHEDEA et al., 2012). Reduz o risco de doenças crônicas, tais como inflamação, doenças cardiovasculares e câncer (PARK, 2009).

O ácido ferrúlico é um composto fenólico ubíquo em tecidos vegetais, tais como arroz, trigo, aveia, abacaxi, grãos, flores, frutos, sementes de café, amendoim e nozes. Uma das melhores atividades biológicas mais bem documentadas do ácido ferrúlico é sua propriedade antioxidante. Ademais, também são relatadas suas atividades antimicrobiana, anti-inflamatória,

antitrombose, antienvelhecimento e anticancerígena e seu papel neuroprotetor e redutor da glicose no sangue. Precursor da vanilina pode ser usado como conservante de alimentos (KUMAR; PRUTHI, 2014; MERLIN et al., 2012; OU; KWOK, 2004). Devido ao seu núcleo fenólico e sua cadeia lateral estendida, este ácido forma uma ressonância fenólica estabilizada com o radical livre (ROSAZZA et al., 1995).

Assim como os compostos fenólicos acima citados, os ácidos clorogênico e cumárico também apresentam atividade antioxidante, e o segundo, atividade antimicrobiana (HELENO et al., 2014; LOU et al., 2012; YAGASAKI, MIURA, OKAUCHI; FURUSE, 2000).

A vanilina é conhecida por ser o composto-chave no aroma de baunilha (GALLAGE; MOLLER, 2015). O ácido trans-cinâmico é um intermediário da biossíntese dos fenilpropanoides, esse é catalisado pela fenilalanina amonialiase, resultando na síntese de uma variedade de compostos fenólicos (GUO; WANG, 2010).

3.2 Compostos Voláteis

Os compostos voláteis identificados no uxi, nos três estádios de maturação, bem como sua área, tempo e índice de retenção e odor característico são apresentados na Tabela 3, enquanto os cromatogramas do padrão de alcanos, encontram-se na Figura 2.

Os compostos voláteis com maior percentual de área identificados no uxi foram: acetato de etila nos frutos verdes e 3- Metil-2-butanol nos intermediários e maduros. MARX *et al.* (2002), ao estudarem os compostos voláteis do uxi utilizando extração e destilação simultânea e não SPME como no presente trabalho, também provenientes do Mercado do Ver-o-Peso em Belém-PA, detectaram a presença de 3,3-Dimetil-2-butanol e Eugenol com

maior área. Assim como estes autores, encontrou-se também Hexanol, Hexanal e ocimene. No uxi verde, 62,5%, 12,5% e 25% dos voláteis detectados são ésteres, terpeno e álcoois, respectivamente. No intermediário 40% são álcoois, 20% aldeídos, 20%, ésteres e 20% terpenos. Com o avançar do amadurecimento, a quantidade de álcool aumentou, representado 60% dos voláteis detectados, enquanto que a quantidade de terpenos e aldeídos detectados foi a mesma que nos frutos intermediários.

Tabela 3 Compostos voláteis do uxi em três estádios de maturação.

Uxi Verde				
TR*	% Area	IR**	Composto	Odor***
1,62	27,22 ±0,25	606	Acetato de etila	Abacaxi
2,69	3,48±0,11	724	2- Metil- 1, Butanol	Vinho, cebola
3,21	1,69±0,13	761	Isobutil acetato	Fruta, maçã, banana
5,22	7,32±0,19	863	Hexanol	Resina, flor, verde
5,39	7,37±0,16	869	Isopentil acetato	Banana
5,46	3,02±0,06	871	Metil butil acetato	Fruta
9,69	5,79±0,16	1007	Hexil acetato	Fruta, herbáceo
10,14	1,05±0,12	1024	Limoneno	Limão, laranja
Uxi Intermediário				
TR*	% Area	IR**	Composto	Odor
2,35	27,09±0,17	671	3- Metil-2-butanol	
3,65	3,73±0,36	801	Hexanal	Gramma, sebo, gordura
5,21	21,85±0,14	863	Hexanol	Resina, flor, verde
7,31	23,58±0,11	880	Isopropil-2-metil butirato	Maçã
10,88	3,98±0,34	1044	β- Ocimeno	Doce, herbáceo
Uxi Maduro				
TR*	% Area	IR**	Composto	Odor
2,38	33,53±0,17	671	3- Metil-2-butanol	
3,63	17,65±0,14	801	Hexanal	Gramma, sebo, gordura
4,75	0,56±0,18	894	2- Heptanol	Herbáceo
4,8	6±0,21	912	2- Hexadienol	
10,12	2,06±0,14	1024	Limoneno	Limão, laranja

* Tempo de retenção, ** Índice de retenção, *** (ACREE; ARN, 2012).

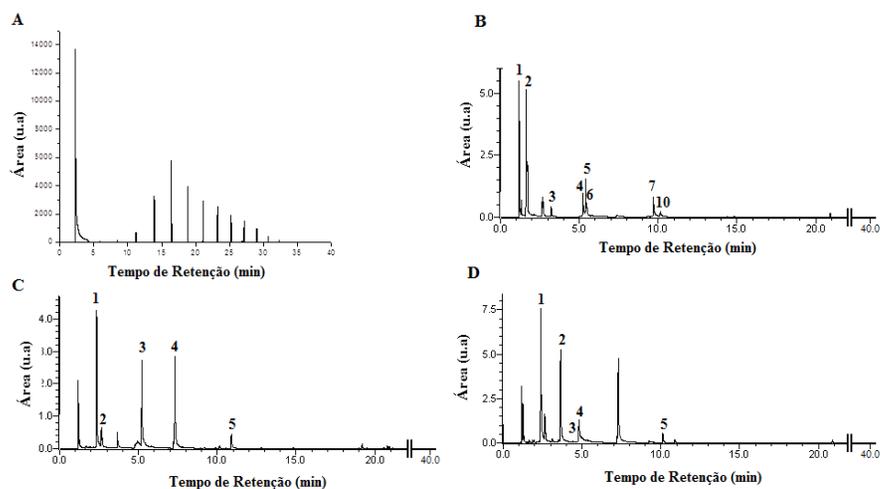


Figura 2 A: Cromatograma do padrão de alcanos; B: Cromatograma do uxi verde; C: Cromatograma do uxi intermediário; D: Cromatograma do uxi maduro.

O acetato de etila, presente no uxi verde, possui aroma frutal (CHRISTIAENS *et al.*, 2014), sendo um dos ésteres responsáveis pelo aroma de óleo de oliva (POULIAREKOU *et al.*, 2011), ervilha (AZARNIA, *et al.*, 2011), alface minimamente processada (DEZA-DURAND; PETERSEN, 2011) e é considerado o composto de odor ativo mais potente em abacaxis (PINO; QUERIS, 2010). Assim como no uxi, o 2- Metil- 1- Butanol foi encontrado em frutos de umbu (GALVÃO, *et al.*, 2011).

Encontrado no uxi verde e intermediário, o hexanol que possui aroma de flor foi observado em trigo (STARR, *et al.*, 2015), melão (CONDURSO *et al.*, 2012), umbu (GALVÃO, *et al.*, 2011), mamão (FUGGATE *et al.*, 2010), vinho (FARIÑA *et al.*, 2015), morango (PEINADO *et al.*, 2013), maçã (BOTH *et al.*, 2014), manga (TORRES, CHIRALT; ESCRICHE, 2012) e abacate, (OBENLAND *et al.*, 2012).

O acetato de hexila que foi observado apenas nos frutos verdes, também faz parte da composição de voláteis do trigo (STARR, et al., 2015) e apresenta aroma de abacaxi.

O terpeno limoneno presente em manga (SINGH; SAINI, 2014; DEA et al., 2010), trigo (STARR, et al., 2015), acerola (BICAS et al., 2011), frutos cítricos (KENDRA et al., 2011; STRANO et al., 2014), abacate (OBENLAND et al., 2012), pera (MAKKUMRAI et al., 2014), limão (SCHIPILLITI, et al., 2012) e maracujá (JANZANTTI et al., 2012), foi detectado nos uxis verdes e maduros. Este terpeno apresenta aroma de limão.

O composto 2-metil-1-butanol encontrado nos uxis intermediários e maduros, também foi encontrado em umbu (GALVÃO, et al., 2011) e no trigo (STARR, et al., 2015). Este apresenta aroma de vinho e cebola.

O hexanal foi identificado em maracujá (JANZANTTI et al., 2012), umbu (GALVÃO et al., 2011), morango (PEINADO et al., 2013), maçã (BOTH et al., 2014), tomate (HEREDIA et al., 2012) e pera (MAKKUMRAI et al., 2014) e apresenta aroma de gordura.

O ocimene, presente apenas no uxi intermediário, é um dos principais compostos responsáveis pelo aroma do umbu (GALVÃO et al., 2011), no maracujá seu isômero mostra alta intensidade de aroma (JANZANTTI *et al.*, 2012), este apresenta aroma doce. O volátil heptanol presente no umbu (GALVÃO, et al., 2011) e na maçã (BOTH et al., 2014), também foi observado no uxi maduro.

Os ésteres, grupo presente em maior quantidade nos uxis verdes, são considerados compostos fundamentais no aroma de frutas (GUNTHER *et al.*, 2015). A biossíntese de ésteres em frutos é catalisada pelas enzimas da família álcool aciltransferase (AAT) que unem uma molécula de acil-CoA a uma molécula de álcool, ambos derivados do metabolismo dos ácidos graxos e aminoácidos (D'AURIA; GERSHENZON, 2005).

Acredita-se que haja três grandes grupos de precursores de aromas em frutos: carboidratos, aminoácidos e ácidos graxos (CROTEAU; KARP, 1991). A partir do metabolismo de carboidratos são formados principalmente terpenos, da via de isoprenoides; e furanonas, vias secundárias, como o ciclo das pentosesfosfato. Do metabolismo de aminoácidos são gerados álcoois alifáticos, de cadeia ramificada ou aromáticos, carbonilas, ácidos e ésteres. Por fim, o metabolismo de ácidos graxos é considerado o maior gerador de precursores de compostos voláteis, sendo catabolizados por duas grandes vias oxidativas: β -oxidação e a via das lipoxigenases (LOXs). Compostos como o 2-metil-1-butanol e 3-metil-1-butanol são formados a partir de precursores aminoácidos, durante o processo de catabolismo (JIANG e SONG, 2010).

Os ésteres são os principais contribuintes para o aroma na maioria dos frutos maduros, embora em uxi tenhamos observado sua predominância nos frutos verde-maturos. De maneira geral, tanto os aminoácidos quanto os ácidos graxos são convertidos até aldeídos ramificados e alifáticos e, posteriormente, são reduzidos a álcoois. Essa reação é catalisada pelas enzimas álcool desidrogenases (BEEKWILDER *et al.*, 2004).

4 CONCLUSÃO

Ao longo do amadurecimento, a capacidade antioxidante do uxi diminuiu, no entanto, assim como nos compostos fenólicos totais, a catequina, o ácido *o*-cumárico, ácido trans-cinâmico e a quercetina apresentaram queda seguida de aumento. Os carotenoides aumentaram e o teor de vitamina C permaneceu relativamente estável. A identificação do perfil de fenólicos revelou a presença de substâncias com potencial antioxidante, estes são associados à prevenção e/ou auxílio no tratamento de diversas doenças. Os compostos voláteis, predominante no uxi verde, foram os ésteres, nos frutos intermediários e maduros, os álcoois. Os resultados obtidos apontam o uxi como um fruto com potencial antioxidante e apelo funcional.

REFERÊNCIAS

ABDELWAHAB, S. I. Protective mechanism of gallic acid and its novel derivative against ethanol-induced gastric ulcerogenesis: involvement of immunomodulation markers, Hsp70 and Bcl-2-associated X protein. **International Immunopharmacology**, New York, v. 16, n. 2, p. 296-305, June 2013.

ACREE, T.; ARN, H. **Flavornet and human odor space: gas chromatography/olfactometry (GCO) of natural products**. Cornell: Cornell University, 2012. Disponível em: <<http://www.flavornet.org>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/ quadrupole mass spectroscopy**. 4th ed. Stockton: Allured, 2007. 804 p.

ADITYA, N. P. et al. Antiangiogenic effect of combined treatment with curcumin and genistein on human prostate cancer cell line. **Journal of Functional Foods**, New York, v. 8, p. 204-213, May 2014.

AL-HAZZANI, A. A.; ALSHATWI, A. A. Catechin hydrate inhibits proliferation and mediates apoptosis of SiHa human cervical cancer cells. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 49, n. 12, p. 3281-3286, Dec. 2011.

ALOTHMAN, M.; BHAT, R.; KARIM, A. A. Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents. **Food Chemistry**, Oxford, v. 115, n. 3, p. 785-788, Aug. 2009.

ASNAASHARI, M.; FARHOOSH, R.; SHARIF, A. Antioxidant activity of gallic acid and methyl gallate in triacylglycerols of Kilka fish oil and its oil-in-water emulsion. **Food Chemistry**, Oxford, v. 159, n. 15, p. 439-444, Sept. 2014.

AZARNIA, S. et al. Volatile flavour profile changes in selected field pea cultivars as affected by crop year and processing. **Food Chemistry**, Oxford, v. 124, n. 1, p. 326-335, Jan. 2011.

BEEKWILDER, J. et al. Functional characterization of enzymes forming volatile esters from strawberry and banana. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 135, n. 4, p. 1865-1878, Aug. 2004.

BEHLING, E. B. et al. Flavonóide quercetina: aspectos gerais e ações biológicas. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 15, n. 3, p. 285-292, 2004.

BENCHIKH, Y. et al. Changes in bioactive phytochemical content and in vitro antioxidant activity of carob (*Ceratonia siliqua* L.) as influenced by fruit ripening. **Industrial Crops and Products**, London, v. 60, p. 298-303, Sept. 2014.

BICAS, J. L. et al. Volatile constituents of exotic fruits from Brazil. **Food Research International**, Barking, v. 44, n. 7, p. 1843-1855, Aug. 2011.

BOTH, V. et al. Effect of storage under extremely low oxygen on the volatile composition of 'Royal Gala' apples. **Food Chemistry**, Oxford, v. 156, n. 1, p. 50-57, Aug. 2014.

BRAGA, G. C. et al. Perfil volátil do suco do maracujá-amarelo por técnicas de extração em headspace estático e microextração em fase sólida. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 356-363, 2015.

BRAND-WILIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, Trivandrum, v. 28, n. 1, p. 25-30, June 1995.

CASSILETH, B. Complementary therapies, herbs, and other OTC agents. **Oncology**, New York, v. 22, n. 10, p. 1202-1202, Sept. 2008.

CHEDEA, V. S. et al. o-Quinone involvement in the prooxidant tendency of a mixture of quercetin and caffeic acid. **Food Chemistry**, Oxford, v. 135, n. 3, p. 1999-2004, Dec. 2012.

CHEN, Q. et al. Polyphenol-rich extracts from *Oiltea camellia* prevent weight gain in obese mice fed a high-fat diet and slowed the accumulation of triacylglycerols in 3T3-L1 adipocytes. **Journal of Functional Foods**, New York, v. 9, p. 148-155, July 2014.

CHENG, Y. et al. Catechin protects against ketoprofen-induced oxidative damage of the gastric mucosa by up-regulating Nrf2 in vitro and in vivo. **Journal of Nutritional Biochemistry**, Stoneham, v. 24, n. 2, p. 475-483, Feb. 2013.

CHIRINOS, R. et al. Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. **Industrial Crops and Products**, London, v. 47, p. 145-152, May 2013.

CHRISTIAENS, J. F. et al. The fungal aroma gene ATF1 promotes dispersal of yeast cells through insect vectors. **Cell Reports**, New York, v. 9, n. 2, p. 425-432, Oct. 2014.

CILLIERS, J. J. L.; SINGLETON, V. L. Characterization of the products of nonenzymic autoxidative phenolic reactions in a caffeic acid model system. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 39, n. 7, p. 1298-1303, July 1991.

CONDURSO, C. et al. Effects of different rootstocks on aroma volatile compounds and carotenoid content of melon fruits. **Scientia Horticulturae**, Alexandria, v. 148, n. 4, p. 9-16, Dec. 2012.

CONTRERAS-CALDERÓN, J. et al. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. **Food Research International**, Barking, v. 44, n. 7, p. 2047-2053, Aug. 2011.

CORRÊA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1984. v. 6, 764 p.

COUTO, M. A. L.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Quantificação de vitamina C e capacidade antioxidante de variedades cítricas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 15-19, 2010. Suplemento

CROTEAU, R.; KARP, F. Origin of natural odorants. In: _____. **Perfumes, art, science and technology**. London: Elsevier Applied Science, 1991. p. 101-126.

D'AURIA, J. C.; GERSHENZON, J. The secondary metabolism of *Arabidopsis thaliana*: growing like a weed. **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 308-316, June 2005.

DE LUIS, D. A.; ALLER, R. Papel de los flavonoides del té en la protección cardiovascular. **Anales de Medicina Interna**, Madrid, v. 25, n. 3, p. 105-107, Mar. 2008.

DEA, S. et al. Quality of fresh-cut 'Kent' mango slices prepared from hot water or non-hot water-treated fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 171-180, May 2010.

DEZA-DURAND, K. M.; PETERSEN, M. A. The effect of cutting direction on aroma compounds and respiration rate of fresh-cut iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 83-90, July 2011.

DRAGOVIC-UZELAC, V. et al. The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. **Food Chemistry**, Oxford, v. 102, n. 3, p. 966-975, Apr. 2007.

FARIÑA, L. et al. Volatile composition and aroma profile of Uruguayan Tannat wines. **Food Research International**, Barking, v. 69, p. 244-255, Mar. 2015.

FISCHER, U. A.; CARLE, R.; KAMMERER, D. R. Identification and quantification of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel, mesocarp, aril and differently produced juices by HPLC-DAD-ESI/MSn. **Food Chemistry**, Oxford, v. 127, n. 2, p. 807-821, July 2011.

FUGGATE, P. et al. Quality and volatile attributes of attached and detached 'Pluk Mai Lie' papaya during fruit ripening. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 126, n. 2, p. 120-129, Sept. 2010.

GALLAGE, N. J.; MOLLER, B. L. Vanillin-bioconversion and bioengineering of the most popular plant flavor and its de novo biosynthesis in the Vanilla Orchid. **Molecular Plant**, Saint Paul, v. 8, n. 1, p. 40-57, Sept. 2015.

GADKARI, P. V.; BALARAMAN, M. Catechins: Sources, extraction and encapsulation: A review. **Food and Bioproducts Processing**, v. 93, 122- 138, 2013.

GALVÃO, M. S. et al. Volatile compounds and descriptive odor attributes in umbu (*Spondias tuberosa*) fruits during maturation. **Food Research International**, Barking, v. 44, n. 7, p. 1919-1926, Aug. 2011.

GROVE, K.A.; LAMBERT, J.D. Laboratory, Epidemiological, and Human Intervention Studies Show That Tea (*Camellia sinensis*) May Be Useful in the Prevention of Obesity. **The Journal of Nutrition**, Springfield, v. 140, n. 3, p.466-453, Mar. 2010.

GULL, J. et al. Variation in antioxidant attributes at three ripening stages of guava (*Psidium guajava* L.) fruit from different geographical regions of Pakistan. **Molecules**, Basel, v. 17, n. 3, p. 3165-3180, Mar. 2012.

GUNTHER, C. S. et al. The impact of cold storage and ethylene on volatile ester production and aroma perception in 'Hort16A' kiwifruit. **Food Chemistry**, Oxford, v. 169, p. 5-12, Feb. 2015.

GUO, J.; WANG, M. H. Ultraviolet A- specific induction of anthocyanin biosynthesis and PAL expression in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 62, n. 1, p. 1-8, Sept. 2010.

HELENO, S. A. et al. Cytotoxicity of *Coprinopsis atramentaria* extract, organic acids and their synthesized methylated and glucuronate derivatives. **Food Research International**, Barking, v. 55, p. 170-175, Jan. 2014.

HEREDIA, A. I. et al. Volatile profile of dehydrated cherry tomato: influences of osmotic pre-treatment and microwave power. **Food Chemistry**, Oxford, v. 130, n. 4, p. 889-895, Feb. 2012.

ILAHY, R. et al. Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopene tomato cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 24, n. 4/5, p. 588-595, June/Aug. 2011.

JAIN, P. et al. A study on the role of (+)-catechin in suppression of HepG2 proliferation via caspase dependent pathway and enhancement of its in vitro and in vivo cytotoxic potential through liposomal formulation. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, Berlin, v. 50, n. 3/4, p. 353-365, Nov. 2013.

JANZANTTI, N. S. et al. Influence of the cultivation system in the aroma of the volatile compounds and total antioxidant activity of passion fruit. **LWT - Food Science and Technology**, Trivandrum, v. 46, n. 2, p. 511-518, May 2012.

JIANG, Y.; SONG, J. Fruits and fruit flavor: classification and biological characterization. In: _____. **Handbook of fruit and vegetable flavors**. New York: J. Wiley, 2010. p. 3-23.

KENDRA, P. E. et al. Gas chromatography for detection of citrus infestation by fruit fly larvae (Diptera: Tephritidae). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 59, n. 2, p. 143-149, Feb. 2011.

KHATKAR, A. et al. Synthesis, antimicrobial evaluation and QSAR studies of gallic acid derivatives. **Arabian Journal of Chemistry**, Riad, Nov. 2013.
Disponível em: <<http://www>>.

sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535213003845>. Acesso em: 10 nov. 2014.

KIM, S.; LEE, M. J.; HONG, J. Plasma and tissue levels of tea catechins in rats and mice during chronic consumption of green tea polyphenols. **Nutrition and Cancer**, London, v. 37, n. 1, p. 41-48, 2001.

KNEE, M. **Fruit quality and its biological basis**. Sheffield: Academic, 2002. 279 p.

KUMAR, N.; PRUTHI, V. Potential applications of ferulic acid from natural sources. **Biotechnology Reports**, New York, v. 4, p. 86-93, Dec. 2014.

KUSKOSKI, E. M. et al. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante em pulpa de frutos. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 726-732, 2005.

LEONG, L. P.; SHUI, G. An investigation of antioxidant capacity of fruit in Singapore markets. **Food Chemistry**, Washington, v. 76, n. 1, p. 69-75, Jan. 2002.

LESSER, M. N. R.; KEEN, C. L.; LANOUSE, L. Reproductive and developmental outcomes, and influence on maternal and offspring tissue mineral concentrations, of (-)-epicatechin, (+)-catechin, and rutin ingestion prior to, and during pregnancy and lactation in C57BL/6J mice. **Toxicology Reports**, New York, v. 2, p. 443-449, 2015.

LIU, J. et al. Antioxidant and protective effect of inulin and catechin grafted inulin against CCl4-induced liver injury. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 72, p. 1479-1484, Jan. 2015.

LO SCALZO, R. et al. Effect of thermal treatments on antioxidant and antiradical activity of blood orange juice. **Food Chemistry**, Oxford, v. 85, n. 1, p. 41-47, Mar. 2004.

LOCATELLI, C.; FILIPPIN-MONTEIRO, F. B.; CRECZYNSKI-PASA, T. B. Alkyl esters of gallic acid as anticancer agents: a review. **European Journal of Medicinal Chemistry**, Paris, v. 60, p. 233-239, Feb. 2013.

LODI, F. et al. Glucuronidated and sulfated metabolites of the flavonoid, quercetin prevent endothelial dysfunction but lack direct vasorelaxant effects in rat aorta. **Atherosclerosis**, Limerick, v. 204, n. 1, p. 34-39, May 2009.

LOU, Z. et al. P-coumaric acid kills bacteria through dual damage mechanisms. **Food Control**, Guildford, v. 25, n. 2, p. 550-554, June 2012.

LV, H. P. et al. Analysis of naturally occurring 3"-Methyl-epigallocatechin gallate in 71 major tea cultivars grown in China and its processing characteristics. **Journal of Functional Foods**, New York, v. 7, p. 727-736, Mar. 2014.

MAGALHÃES, L. A. M. et al. Identificação de berginina e carotenoides no fruto de uchi (*Endopleura uchi Humiriaceae*). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 3, p. 447-450, 2007.

MAKKUMRAI, W. et al. Effect of ethylene and temperature conditioning on sensory attributes and chemical composition of 'Bartlett' pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 97, p. 44-61, Nov. 2014.

MARX, F. et al. Studies of edible Amazonian plants, part 5: chemical characterization of Amazonian *Endopleura uchi* fruits. **European Foods Research Technology**, Dresden, v. 214, n. 4, p. 331-334, 2002.

MEDINA, I. et al. Effect of molecular of phenolic families as hydroxycinnamic acids and catechins on their antioxidant effectiveness in minced fish muscle. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, n. 10, p. 3889-3895, 2007.

MELO, E. A.; ANDRADE, R. A. M. S. Compostos bioativos e potencial antioxidante de frutos do umbuzeiro. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 3, p. 453-457, 2010.

MELO, E. A. et al. Capacidade antioxidante de frutas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 44, n. 2, p. 193-201, abr./jun. 2008.

MENEZES, A. J. E. A.; HOMMA, A. K. O. **Recomendações para o plantio do uxizeiro**. Belém: EMBRAPA, 2012. 5 p. (Comunicado Técnico, 233).

MERLIN, J. P. J. et al. Ferulic acid loaded Poly-d, l-lactide-co-glycolide nanoparticles: systematic study of particle size, drug encapsulation efficiency and anticancer effect in non-small cell lung carcinoma cell line in vitro. **Biomedicine & Preventive Nutrition**, New York, v. 2, n. 1, p. 69-76, Jan./Mar. 2012.

MPHAHLELE, R. R. et al. Effect of fruit maturity and growing location on the postharvest contents of flavonoids, phenolic acids, vitamin C and antioxidant activity of pomegranate juice (cv. Wonderful). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 179, p. 36-45, Nov. 2014.

NGUYEN, D. et al. Antifungal activity of gallic acid purified from Terminalia nigrovenulosa bark against Fusarium solani. **Microbial Pathogenesis**, New York, v. 56, p. 8-15, Mar. 2013.

NISAR, N. et al. Carotenoid metabolism in plants. **Molecular Plant**, Saint Paul, v. 8f, n. 1, p. 68-82, Jan. 2015.

NUNOMURA, R. C. S. et al. Characterization of Bergenin in Endopleura uchi bark and its anti-inflammatory activity. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 20, n. 6, p. 1060-1064, 2009.

OBENLAND, D. et al. Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in 'Hass' avocado. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 71, p. 41-50, Sept. 2012.

ONG, B. T. et al. Analysis of volatile compounds in five jackfruit (*Artocarpus heterophyllum* L) cultivars using solid-phase microextraction (SPME) and gas

chromatography-time-of-flight mass spectrometry (GC-TOFMS). **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 21, n. 5, p. 416-422, Aug. 2008.

OU, S.; KWOK, K. C. Ferulic acid: pharmaceutical functions, preparation and applications in foods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 84, n. 11, p. 1261-1269, Aug. 2004.

PADOVANI, R. M. et al. Dietary reference intakes: aplicabilidade das tabelas em estudos nutricionais. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 19, n. 6, p. 741-760, nov./dez. 2006.

PARK, J. 5-Caffeoylquinic acid and caffeic acid orally administered suppress P-selectin expression on mouse platelets. **Journal of Nutritional Biochemistry**, Stoneham, v. 20, n. 10, p. 800-805, Oct. 2009.

PEINADO, I. et al. Influence of processing on the volatile profile of strawberry spreads made with isomaltulose. **Food Chemistry**, Oxford, v. 138, n. 1, p. 621-629, May 2013.

PELLEGRINI, N. et al. Evaluation of antioxidant capacity of some fruit and vegetable foods: efficiency of extraction of a sequence of solvents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 87, n. 1, p. 103- 111, Jan. 2007.

PINO, J. A.; QUERIS, O. Analysis of volatile compounds of pineapple wine using solid-phase microextraction techniques. **Food Chemistry**, Oxford, v. 122, n. 4, p. 1241-1246, Oct. 2010.

POULIAREKOU, E. et al. Characterization and classification of Western Greek olive oils according to cultivar and geographical origin based on volatile compounds. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1218, n. 42, p. 7534-7542, Oct. 2011.

RAMAYA, S. D. et al. Sugar, ascorbic acid, total phenolic content and total antioxidant activity in passion fruit (*Passiflora*) cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 93, n. 5, p. 1198-1205, Oct. 2012.

RATNAM, D. V. et al. Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. **Journal of Controlled Release**, Amsterdam, v. 113, n. 3, p. 189-207, July 2006.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, New York, v. 26, n. 9/10, p. 1231-1237, 1999.

RICE-EVANS, C. A.; MILLER, N. J.; PAGANGA, G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology & Medicine**, New York, v. 20, n. 7, p. 933-956, May 1996.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **Harvestplus handbook for Carotenoid analysis**. Washington: International Food Policy Research Institute, 2004. 63 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 21, n. 6, p. 445-463, Sept. 2008.

ROSAZZA, J. P. N. et al. Review: biocatalytic transformations of ferulic acid: an abundant aromatic natural product. **Journal of Industrial Microbiology**, Berlin, v. 15, n. 6, p. 457-471, Dec. 1995.

RUFINO, M. S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, Oxford, v. 121, n. 4, p. 996-1002, Aug. 2010.

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Fortaleza: EMBRAPA, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 127).

SAMPSON, L. et al. Flavonol and flavone intakes in US health professionals. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 102, n. 10, p. 1414-1420, Oct. 2002.

SCHIPILLITI, L. et al. Authenticity control on lemon essential oils employing Gas Chromatography-Combustion-Isotope Ratio Mass Spectrometry (GC-C-IRMS). **Food Chemistry**, Oxford, v. 131, n. 4, p. 1523-1530, Apr. 2012.

SHANLEY, P.; CARVALHO, J. E. U. Uxi: *Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec. In: SHANLEY, P.; MEDINA, G. (Ed.). **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. Belém: CIFOR; Imazon, 2005. p. 147-158.

SHANLEY, P.; GAIA, G. A “fruta do pobre” se torna lucrativa: a *Endopleura uchi* Cuatrec, em áreas manejadas próximo a Belém. In: ALEXIADES, M. N.; SHANLEY, P. (Ed.). **Productos forestales, médios de subsistencia y conservación: estudios de caso sobre sistemas de manejo de productos forestales no maderables**. Bogor Barat: CIFOR, 2004. v. 3, p. 219-240.

SHANLEY, P.; LUZ, L.; SWINGLAND, I. R. The faint promise of a distant market: a survey of Belém's trade in non-timber forest products. **Biodiversity and Conservation**, Bengaluru, v. 11, n. 4, p. 615-636, Apr. 2002.

SIDDIQI, M. D. W. et al. Dynamics of changes in bioactive molecules and antioxidant potential of *Capsicum chinense* Jacq. cv. Habanero at nine maturity stages. **Acta Physiologiae Plantarum**, Copenhagen, v. 35, n. 4, p. 1141-1148, Apr. 2013.

SINGH, S. P.; SAINI, M. K. Postharvest vapour heat treatment as a phytosanitary measure influences the aroma volatiles profile of mango fruit. **Food Chemistry**, Oxford, v. 164, p. 387-395, Dec. 2014.

STARR, G. et al. Variation of volatile compounds among wheat varieties and landraces. **Food Chemistry**, Oxford, v. 174, p. 527-537, May 2015.

STRANO, M. C. et al. Hot water dipping treatments on Tarocco orange fruit and their effects on peel essential oil. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 94, p. 26-34, Aug. 2014.

STROHECKER, R.; HENNING, H. M. **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428 p.

TORRES, J. D.; CHIRALT, A.; EXCRICHE, I. Development of volatile fraction of fresh cut osmotically treated mango during cold storage. **Food Chemistry**, Oxford, v. 130, n. 4, p. 921-927, Feb. 2012.

WATERHOUSE, A. L. Polyphenolics: determination of total phenolics. In: WROLSTAD, R. E. (Ed.). **Current protocols in food analytical chemistry**. New York: J. Wiley, 2002. p. 1073-1080.

WILLIAMS, R. J.; SPENCER, J. P.; RICE-EVANS, C. Flavonoids: antioxidants or signaling molecules? **Free Radical Biology & Medicine**, New York, v. 36, n. 7, p. 838-49, 2009.

WIRTZ, G. M. et al. The substrate specificity of β , β -carotene 15,15'-monooxygenase. **Helvetica Chimica Acta**, New York, v. 84, n. 8, p. 2301-2315, Aug. 2001.

YAGASAKI, K. et al. Inhibitory effects of chlorogenic acid and its related compounds on the invasion of hepatoma cells in culture. **Cytotechnology**, New York, v. 33, n. 1/3, p. 229-235, July 2000.

ZHANG, Y. et al. Effects of catechin-enriched green tea beverage on visceral fat loss in adults with a high proportion of visceral fat: a double-blind, placebo-controlled, randomized trial. **Journal of Functional Foods**, New York, v. 4, n. 1, p. 315-322, Jan. 2012.