

PAULA FERREIRA DE ARAUJO RIBEIRO

**COMPOSTOS BIOATIVOS DE CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*) EM  
FUNÇÃO DO AMBIENTE DE CULTIVO E DO ESTÁDIO DE  
MATURAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

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

T

R484c  
2012

Ribeiro, Paula Ferreira de Araujo, 1982-  
Compostos bioativos de camu-camu (*Myrciaria dubia*) em  
função do ambiente de cultivo e do estágio de maturação /  
Paula Ferreira de Araujo Ribeiro. – Viçosa, MG, 2012.  
viii, 128f. : il. ; (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Paulo Cesar Stringheta  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Polifenóis. 2. Vitaminas. 3. Minerais. 4. Antocianinas.  
5. Radicais livres (Química). 6. *Myrciaria dubia*.  
7. Camu-camu. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed.664.07

PAULA FERREIRA DE ARAUJO RIBEIRO

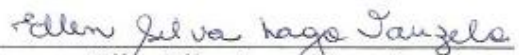
**COMPOSTOS BIOATIVOS DE CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*) EM  
FUNÇÃO DO AMBIENTE DE CULTIVO E DO ESTÁDIO DE  
MATURAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

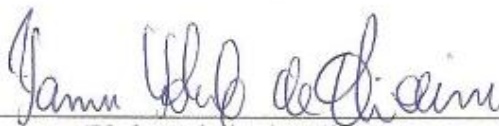
APROVADA: 23 de outubro de 2012.



Pollyanna Ibrahim Silva



Ellen Silva Lago Vanzela



Tânia Toledo de Oliveira  
(Coorientadora)



Eduardo Basílio de Oliveira  
(Coorientador)



Paulo Cesar Stringheta  
(Orientador)

*Ao meu marido Guilherme, pela paciência, amor e dedicação. Muito obrigado por tudo! Com você ao meu lado foi muito mais fácil chegar até aqui.*

*Àqueles que de alguma maneira torceram por mim e ficaram felizes com essa conquista.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar... Pela benção de me permitir chegar até aqui.

À minha família...

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos. À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Ao Professor Paulo Cesar Stringheta pela amizade, orientação e por ter confiado a mim esse trabalho!

Ao Professor Eduardo Basílio de Oliveira pela amizade, orientação e boa vontade sempre demonstrada em ajudar nesse trabalho. À Professora Tânia Toledo de Oliveira pelas ótimas sugestões realizadas ao longo desse trabalho.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelo auxílio em questões científicas e administrativas.

Aos colegas e acima de tudo AMIGOS do Laboratório de Corantes Naturais e Compostos Bioativos, pela ajuda científica, pela amizade e pelos nossos “cafezinhos” de final de tarde.

À Professora Helena Maria Pinheiro Sant’Ana, do Departamento de Nutrição e Saúde (UFV), pela ajuda em algumas análises realizadas nesse trabalho.

Ao Senhor Jean Louis Dupui, da Fazenda Yurican, pela concessão do camu-camu oriundo do Amazonas e à equipe da Professora Gilmara Duarte Pereira, da Universidade Federal de Roraima, pela concessão dos frutos de Roraima.

Ao amigo Adenilson pela enorme ajuda e cooperação com esse trabalho!

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho!

## SUMÁRIO

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vii
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 HIPÓTESE GERAL .....	2
2.1 Objetivos específicos .....	3
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	4
<b>ARTIGO 1: Compostos bioativos em camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>) e seus efeitos benéficos à saúde .....</b>	<b>6</b>
<b>ARTIGO 2: Influência de substâncias redutoras na determinação de polifenóis totais em diferentes frutos camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>).....</b>	<b>51</b>
<b>ARTIGO 3: Influência do tipo de cultivo e do estágio de maturação sobre os compostos antioxidantes de frutos e cascas de camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>)... </b>	<b>70</b>
<b>ARTIGO 4: Teor de vitaminas e minerais em cascas e frutos de camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>) cultivados em diferentes ambientes e em diferentes estádios de maturação. ....</b>	<b>100</b>
4 CONCLUSÃO GERAL .....	127

## RESUMO

RIBEIRO, Paula Ferreira de Araujo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2012. **Compostos bioativos de camu-camu (*Myrciaria dubia*) em função do ambiente de cultivo e do estágio de maturação.** Orientador: Paulo Cesar Stringheta. Coorientadores: Tânia Toledo de Oliveira e Eduardo Basílio de Oliveira.

O camu-camu é uma *Myrtaceae* encontrada principalmente na Amazônia Brasileira e Peruana, sendo considerada uma das maiores fontes de vitamina C até hoje. Entretanto, o interesse pelo fruto não fica restrito apenas ao teor dessa vitamina, visto que a quantidade de polifenóis, carotenóides e alguns minerais também é significativa. O cultivo natural do camu-camu é à beira de rios e igarapés, onde parte de seu caule permanece submersa em água durante o período de cheia dos rios Amazônicos. Entretanto, o Brasil vem tentando adaptar a cultura em ambiente seco (solo sem inundação), visto que os entraves da produção em ambientes alagados (solos inundados) são muitos. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o teor de vitaminas (vitamina C e  $\beta$ -caroteno), minerais, polifenóis e antocianinas totais, ácido elágico (livre e total) e a capacidade antioxidante *in vitro* de frutos descaroçados e cascas de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (seco e alagado) e em diferentes estágios de maturação (verde e maduro). Os frutos de ambiente seco apresentaram, estatisticamente ( $p < 0,05$ ), maior teor de vitamina C, polifenóis e antocianinas totais, assim como de ácido elágico total. Por consequência, demonstraram também maior capacidade antioxidante. O teor de  $\beta$ -caroteno não variou ( $p > 0,05$ ) entre os frutos analisados. Os teores de ácido elágico livre foram maiores nos frutos cultivados em ambiente alagado. O camu-camu cultivado em ambiente seco também apresentou maior teor da maioria dos minerais determinados. Dessa forma, o plantio do camu-camu em ambiente seco, como alternativa ao desenvolvimento da cultura e crescimento da produção, é viável em relação ao plantio em ambiente alagado, visto que as alterações identificadas apenas melhoraram as características do fruto. Em relação ao estágio de maturação, frutos verdes e maduros não apresentaram diferença ( $p > 0,05$ ) quanto ao teor de vitaminas. Entretanto, o conteúdo de polifenóis totais variou, sendo maior nos frutos maduros, que por consequência também apresentaram maior capacidade antioxidante. Em relação aos teores de ácido elágico livre e total, os mesmos foram maiores nos frutos verdes. Alguns minerais, como ferro, manganês e potássio, foram maiores nos frutos

maduros, assim como magnésio, zinco e cobre, apresentaram-se em maior proporção nos frutos verdes. A casca, em relação ao fruto descaroçado, independente do sistema de cultivo e do grau de maturação, apresentou menor concentração de vitamina C, polifenóis totais, ácido elágico livre e total, bem como também menor capacidade antioxidante. Entretanto, os teores de  $\beta$ -caroteno e antocianinas totais foram maiores. Da mesma maneira, também foi observado na casca, menor teor de todos os minerais investigados no camu-camu.

## ABSTRACT

RIBEIRO, Paula Ferreira de Araujo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2012. **Bioactive compounds from camu-camu (*Myrciaria dubia*) depending on the environment and at stage of maturation.** Adviser: Paulo Cesar Stringheta. Co-advisers: Tânia Toledo de Oliveira and Eduardo Basílio de Oliveira.

The camu-camu is a *Myrtaceae* mostly found in Peruvian and Brazilian Amazonia, is considered one of the greatest sources of vitamin C today. However, interest in the fruit is not restricted only to the content of this vitamin, since the amount of polyphenols, carotenoids and minerals also draws some attention. The cultivation of natural camu-camu is on the verge of rivers and streams, where part of its stem remains submerged in water during the flood of Amazonian rivers. However, Brazil has been trying to adapt the culture in a dry environment (soil without flooding), since the barriers of production in flooded environments (flooded conditions) are many. The objective of this study was to evaluate the content of vitamins (vitamin C and  $\beta$ -carotene), minerals, polyphenols and anthocyanins, ellagic acid (free and total) and *in vitro* antioxidant capacity of ginned fruit and bark camu-camu grown in different environments (dry and irrigated) and at different stages of ripening (green and ripe). The fruits of dry environment exhibited statistically ( $p < 0.05$ ), higher contents of vitamin C, polyphenols and anthocyanins, and ellagic acid total. Consequently, also showed higher antioxidant capacity. The content of  $\beta$ -carotene did not change ( $p > 0.05$ ) between fruits analyzed. The content of free ellagic acid were higher in fruits grown in irrigated environment. The camu-camu cultivated in dry conditions also showed a higher content of most minerals determined. Regarding the maturity stage, green and ripe fruits showed no difference ( $p > 0.05$ ) for vitamin content. However, the total polyphenol content varied, being higher in ripe fruits, which consequently also had higher antioxidant capacity. Regarding the levels of total and free ellagic acid, they were higher in unripe fruits. Some minerals, such as iron, manganese and potassium were higher in ripe fruits, as well as magnesium, zinc and copper, showed up in greater proportion in unripe fruits. The bark, in relation to the ginned fruit, regardless of the cropping system and the degree of maturation, showed lower concentrations of vitamin C, total polyphenols, total and free ellagic acid and also lower antioxidant capacity. However, the levels of  $\beta$ -carotene and

anthocyanins were higher. Likewise, was also observed in husk, lower content of all minerals investigated in camu-camu.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O consumo de frutas e hortaliças tem sido associado à redução no risco de doenças crônicas não transmissíveis como câncer e doenças cardiovasculares (AZEVEDO et al., 2007; MIRMIRAN et al., 2009; SOERJOMATARAM, et al., 2010; FISK II et al., 2011), principalmente, em virtude da presença de substâncias antioxidantes (vitamina C, carotenóides, compostos fenólicos, etc.) que estão diretamente envolvidas na redução do risco de doenças relacionadas com a formação de radicais livres.

Há alguns anos frutas e hortaliças regionais conhecidas e utilizadas apenas pela população local começaram a receber atenção de pesquisadores. A região Amazônica, em particular, é detentora da maior biodiversidade, com uma grande variedade de frutíferas. O conhecimento a respeito do valor nutricional, capacidade antioxidante e propriedades bioativas de diversas frutas nativas desta região, no entanto, ainda é muito escasso (YUYAMA et al., 2002; YUYAMA et al., 2003; SILVA FILHO et al., 2005; MAEDA et al., 2007; GENOVESE et al., 2008; YUYAMA et al., 2008; RUFINO et al., 2010).

Dentre as frutas nativas da região Amazônica pode-se destacar o camu-camu (*Myrciaria dubia*), devido ao elevado conteúdo de vitamina C reportados, de até 6.000 mg•100 g<sup>-1</sup> de fruto (MAEDA et al., 2007; RUFINO et al., 2010; VILLANUEVA-TIBURCIO et al., 2010). Além disso, o fruto contém elevado conteúdo de compostos fenólicos (GENOVESE et al., 2008; CHIRINOS et al., 2010; GONÇALVES et al., 2010; RUFINO et al., 2010) que contribuem, em grande escala, para o potencial antioxidante característico do camu-camu.

Seu habitat natural é à beira de rios e igarapés ou regiões permanentemente alagadas, onde a parte inferior de seu caule permanece submersa. No entanto, o

Brasil vem tentando domesticar a cultura, buscando adaptar a mesma ao cultivo em áreas secas (solo sem inundação), pois são muitos os entraves técnicos e econômicos da produção em ambientes alagados. Estudos vêm sendo conduzidos nesse sentido, de forma a ampliar as áreas de plantio, aumentar a produção e a qualidade dos frutos, que em regiões alagadas tendem a diminuir (ZANATTA et al.; 2005; ZANATTA e MERCADANTE, 2007).

A composição dos frutos pode variar conforme o tipo de plantio e a região de produção, em função do solo, clima e técnicas de manejo (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Da mesma forma, variações inerentes aos processos de maturação também podem ocorrer (CHIRINOS et al., 2010). Em função disso, mudanças no conteúdo e perfil dos nutrientes e compostos bioativos podem ser observadas. Assim, investigações a respeito da composição do camu-camu frente à esses fatores de variação são pertinentes de serem realizadas, e a divulgação dos dados adquiridos podem contribuir para uma maior valorização do mesmo e, por conseguinte, para a difusão do seu consumo (*in natura* ou sob a forma de produtos processados).

## **2 HIPÓTESE GERAL**

Camu-camu cultivado em diferentes ambientes (seco e alagado) e em diferentes estádios de maturação (verde e maduro) apresenta diferentes teores de compostos fenólicos (polifenóis e antocianinas totais, ácido elágico livre e total), vitaminas (vitamina C e  $\beta$ -caroteno) e minerais, bem como capacidade antioxidante *in vitro*, também diferentes.

## 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar o teor de vitamina C (ácido ascórbico) e  $\beta$ -caroteno em frutos descaroçados e cascas de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (seco e alagado) e em diferentes estádios de maturação (verde e maduro).
- Quantificar os teores de minerais (cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês, cobre, boro, nitrogênio, fósforo e potássio) em frutos descaroçados e cascas de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (seco e alagado) e em diferentes estádios de maturação (verde e maduro).
- Quantificar o teor de polifenóis totais, antocianinas totais, ácido elágico livre e total em frutos descaroçados e cascas de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (seco e alagado) e em diferentes estádios de maturação (verde e maduro).
- Avaliar a capacidade antioxidante *in vitro* dos frutos descaroçados e das cascas de camu-camu por diferentes métodos: ABTS e DPPH.
- Avaliar a interferência de compostos redutores (ácido ascórbico, aminoácidos e açúcares) na quantificação de polifenóis totais, pelo método espectrofotométrico do reagente de Folin-Ciocalteu, de frutos descaroçados de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (seco e alagado) e em diferentes estádios de maturação (verde e maduro).

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, L. et al. Differential response related to genotoxicity between eggplant (*Solanum melanogena*) skin aqueous extract and its main purified anthocyanin (delphinidin) *in vivo*. **Food and Chemical Toxicology**, v.45, p.852-858, 2007.

CHIRINOS, R. et al. Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturity stages. **Food Chemistry**, v.120, p.1019-1024, 2010.

FISK II, P. S. et al. Few favorable associations between fruit and vegetable intake and biomarkers for chronic disease risk in American adults. **Nutrition Research**, v.31, p.616-624, 2011.

GENOVESE, M. I. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits and commercial frozen pulps from Brazil. **Food Science and Technology International**, v.14, p.207-214, 2008.

GONÇALVES, A. E. de S. S., LAJOLO, F. M., GENOVESE, M. I. Chemical composition and antioxidant/antidiabetic potential of brazilian native fruits and commercial frozen pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.4666-4674, 2010.

MAEDA, R. N. et al. Estabilidade de ácido ascórbico e antocianinas em néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H. B. K.) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.313-316, 2007.

MIRMIRAN, P. et al. Fruit and vegetable consumption and risk factors for cardiovascular disease. **Metabolism Clinical and Experimental**, v.58, p.460-468, 2009.

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

SILVA FILHO, D. F. da. et al. Caracterização e avaliação do potencial agrônômico e nutricional de etnovarietades de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) da Amazônia. **Acta Amazonica**, v.35, p.399-406, 2005.

SOERJOMATARAM, I. et al. Increased consumption of fruit and vegetables and future cancer incidence in selected European countries. **European Journal of Cancer**, v.46, p.2563-2580, 2010.

VILLANUEVA-TIBURCIO, J. E.; CONDEZO-HOYOS, L. A.; ASQUIERI, E. R. Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, p.151-169, 2010.

YUYAMA, K., AGUIAR, J. P. L., YUYAMA, L. K. O. Camu-camu: um fruto fantástico como fonte de vitamina C. **Acta Amazônica**, v.32, p.169-174, 2002.

YUYAMA, L. K. O. et al. Teores de elementos minerais em algumas populações de Camu-Camu. **Acta Amazônica**, v.33, p.549-554, 2003.

YUYAMA, L. K. O. et al. Processamento e avaliação da vida-de-prateleira do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) desidratado e pulverizado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, p.408-412, 2008.

ZANATTA, C. F. et al. Determination of anthocyanins from camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS, and NMR. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p.9531-9535, 2005.

ZANATTA, C. F.; MERCADANTE, A. Z. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Food Chemistry**, v.101, p.1526-1532, 2007.

## ARTIGO 1

### COMPOSTOS BIOATIVOS EM CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*) E SEUS EFEITOS BENÉFICOS À SAÚDE

#### RESUMO

O camu-camu (*Myrciaria dubia*), um fruto produzido na Amazônia Brasileira, é considerado uma fonte promissora de compostos bioativos como polifenóis, vitamina C e carotenóides. Ainda é pouco conhecido, em virtude, principalmente, de ser um fruto regional, com produção concentrada essencialmente em parte da região Norte do Brasil. Com isso, informações a respeito da composição, bem como dos benefícios que o consumo pode proporcionar ao organismo são estratégicos. Isto ajudaria a difundir o conhecimento sobre o fruto, contribuindo para uma melhor valorização tecnológica do mesmo. Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão sobre o camu-camu e os principais compostos bioativos presentes no mesmo (vitamina C,  $\beta$ -caroteno, luteína, flavonóides não antociânicos, ácido elágico e antocianinas), relacionando a sua composição com a diminuição do risco da incidência de algumas doenças.

**Palavras-chave:** *Myrtaceae*, vitamina C, polifenóis, carotenóides, potencial antioxidante.

## CONTEÚDO

1 INTRODUÇÃO .....	7
2 CAMU-CAMU ( <i>Myrciaria dubia</i> ) .....	8
2.1 Aspectos botânicos e geográficos do fruto .....	8
2.2 Características do fruto .....	9
2.3 Principais compostos bioativos.....	17
2.3.1 Carotenóides .....	17
2.3.2 Vitamina C (Ácido ascórbico) .....	22
2.3.3 Compostos Fenólicos.....	25
2.3.3.1 Ácido elágico.....	17
2.3.3.2 Flavonóides .....	30
2.3.3.3 Antocianinas .....	33
3 CONSIDERAÇÕES.....	36
4 CONCLUSÃO .....	37
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

## 1 INTRODUÇÃO

Ainda pouco conhecido e difundido entre a população, o camu-camu (*Myrciaria dubia*), nativo da Amazônia Peruana e Brasileira, é um fruto que desperta o interesse de um número cada vez maior de pesquisadores. Vermelho arroxeado, do tamanho de uma cereja, lembrando a jabuticaba, o camu-camu é apontado como uma das mais importantes fontes de vitamina C, podendo conter até 6000 mg•100 g<sup>-1</sup> de fruta (YUYAMA et al., 2002). Além disso, apresenta outros compostos bioativos como carotenóides (luteína e β-caroteno, em maior proporção) (AZEVEDO-MELEIRO e RODRIGUEZ-AMAYA, 2004) e alguns minerais como potássio, cálcio, magnésio e sódio (JUSTI et al., 2000). Caracteriza-se, também, por apresentar elevado conteúdo de compostos fenólicos, substâncias não nutritivas que chamam atenção pela sua atividade antioxidante, capaz de, segundo algumas pesquisas, minimizar o risco de incidência de algumas doenças crônicas não transmissíveis

(MIRMIRAN et al., 2009; SOERJOMATARAM et al., 2010; FISK II et al., 2011). Entre os compostos fenólicos presentes no camu-camu, destaca-se o ácido elágico (48 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco) (GENOVESE et al., 2008), as antocianinas cianidina-3-glicosídeo e delphinidina-3-glicosídeo (48 e 2,75 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco, respectivamente) (ZANATTA et al., 2005), e os flavonóides não antociânicos quercetina (2,4 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco) e rutina (1,3 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco) (REYNERTSON et al., 2008).

Assim, os objetivos desse artigo são apresentar características botânicas e geoeconômicas do camu-camu e fazer uma revisão dos compostos bioativos presentes no fruto, enfatizando o efeito dos mesmos no metabolismo humano. Destaque será dado ao potencial dos compostos na redução do risco de incidência de algumas doenças. Pretende-se com o exposto, contribuir para a valorização tecnológica destes frutos, visando à utilização dos mesmos na elaboração de produtos alimentícios com alegação funcional ou de compostos fitoterápicos.

## **2 CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*)**

### **2.1 Aspectos botânicos e geográficos do fruto**

O camu-camu pode ser encontrado em quase toda a Amazônia Brasileira (Amazonas, Roraima, Rondonia, Tocantins e outros) (Figura 1A), apresentando-se como um arbusto de pequeno porte que pode atingir de 4 a 8 metros de altura. É uma angiosperma pertencente à família *Myrtaceae*, sendo uma espécie silvestre normalmente encontrada à beira de rios e igarapés, onde parte inferior de seu caule (cerca de 30 a 40 % da estatura) permanece submersa, podendo ficar de 4 a 6 meses em baixo da água (Figura 1B) (YUYAMA, 2011). A formação dos brotos ocorre quando o nível dos rios baixa. O florescimento e a frutificação começam quando o

nível dos mesmos sobe. A temperatura média ideal para o desenvolvimento do camu-camu é de aproximadamente 25 °C, com uma umidade relativa do ar de 70 a 95 % (YUYAMA et al., 2001).

O cultivo em solos sem inundação (ambiente seco) (Figura 1C) vem crescendo no Brasil, como uma alternativa para ampliar as áreas de cultivo, visto que o fruto é pouco conhecido no país. Esta aparece como uma alternativa para aumentar sua produção, disseminando a espécie para as diversas regiões do Brasil, tornando-a, assim, mais conhecida e acessível à população (YUYAMA, 2011).

O camu-camu é uma planta perene que frutifica de novembro a março, quando o cultivo é em ambientes alagados. Em ambientes secos, por outro lado, podem ocorrer duas safras no ano, uma de novembro a março e outra nos meses de junho e julho (ZANATTA e MERCADANTE, 2007; YUYAMA, 2011).

## **2.2 Características do fruto**

Os frutos de camu-camu são arredondados, com 10 a 32 mm de diâmetro, podendo pesar entre 8,5 e 10 gramas. Possuem coloração avermelhada (Figura 1E) passando a roxo-escuro no final da maturação (Figura 1F). A polpa é aquosa e ácida, e envolve de 2 a 3 sementes (Figura 1F) (PINEDO, 2007).

A cor do camu-camu se deve à presença de antocianinas, as quais estão concentradas principalmente no pericarpo (casca) e são transferidas à polpa apenas durante o processamento industrial (ZANATTA et al., 2005). Com isso, é importante que o consumo e o processamento do fruto ocorram em conjunto com a casca, pois a não utilização da mesma implicaria em um baixo aproveitamento das antocianinas presentes no camu-camu.

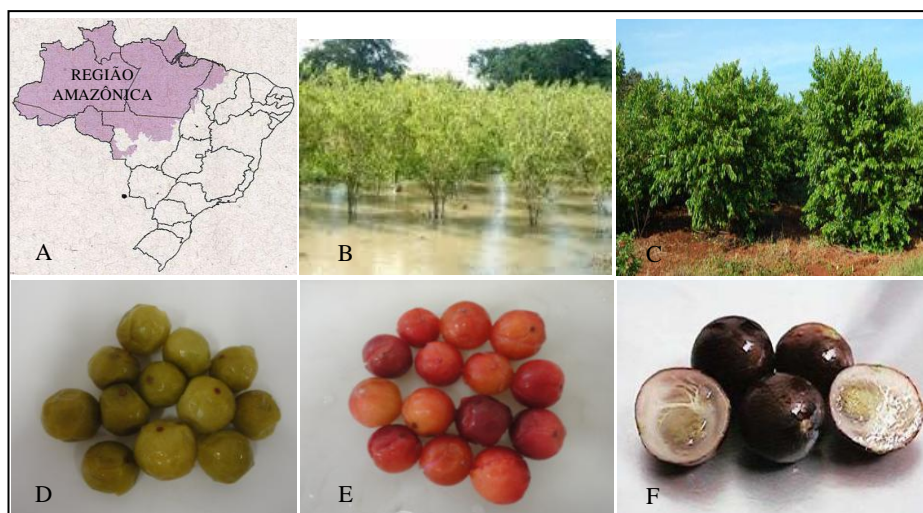


Figura 1 – (A) Mapa do Brasil com destaque para a Região Amazônica; (B) Arbusto de camu-camu (cultivo em ambiente alagado); (C) Arbusto de camu-camu (cultivo em ambiente seco); (D) Fruto de camu-camu verde; (E) Fruto de camu-camu maduro; (F) Visualização interna do fruto de camu-camu em estágio final de maturação.

Os frutos de camu-camu não são climatéricos (GAVINHO, 2005). Em função dessa característica, devem ser colhidos no estágio ótimo de amadurecimento comestível (caracterizado pela coloração vermelha da casca), pois não conseguem atingir a maturação total após a colheita. Assim, se colhidos no estágio inicial de desenvolvimento, ainda verde (Figura 1D), não poderão ser consumidos posteriormente, pois sua composição torna o fruto desagradável ao paladar.

Devido à elevada acidez e ao sabor bastante azedo, o fruto é pouco consumido *in natura*. Em função disso, é utilizado no preparo de diversos produtos como sucos, sorvetes, picolés, geléias e licores (MAEDA et al., 2006). Dessa maneira, a elaboração de produtos derivados do camu-camu pode ser uma alternativa de renda para as comunidades ribeirinhas localizadas na Amazônia Brasileira, onde o fruto é obtido, através do extrativismo, de arbustos naturalmente presentes nas

margens dos rios. Segundo YUYAMA (2011), o camu-camu é uma das frutíferas cujo extrativismo é viável para a população local, pois o fruto amadurece no período das cheias dos rios, quando os ribeirinhos e pescadores ficam sem trabalho. Em contrapartida, produtos derivados também podem ser um incremento econômico para os produtores da fruta, visto que o consumo *in natura* não é a forma mais apreciável.

As maiores produções de camu-camu estão concentradas na Amazônia Peruana, devido às condições climáticas que favorecem o plantio da fruta. Com isso, o Peru é o maior exportador de camu-camu, e, segundo a OTCA (Organização do Tratado de Cooperação Amazônica), foi responsável por 72 % da exportação da fruta no ano de 2011. As principais formas de comercialização do país foram farinha de camu-camu (76 %), extrato (13,4 %) e camu-camu desidratado (6,2 %). Os países de destino foram Estados Unidos (56 % das vendas), seguido pelo Canadá (19 %), Reino Unido (5,3 %), Japão (4,4 %), França (2,9 %), Austrália (2,8 %) e Alemanha (2,7 %) (OTCA, 2011).

O grande interesse no camu-camu está relacionado principalmente com a sua composição bastante variada, com concentrações expressivas, em compostos bioativos (Figura 2), o que faz da fruta uma matéria-prima promissora para a elaboração de alimentos funcionais e/ou produtos fitoterápicos.

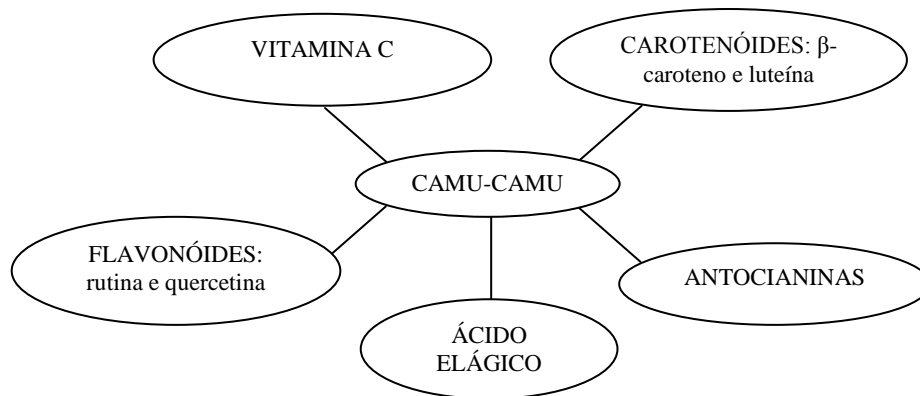


Figura 2 – Compostos bioativos presentes no camu-camu.

Na Tabela 1 estão descritas relações entre a composição bioativa do camu-camu e de outros vegetais também considerados fontes de vitamina C, carotenóides (luteína e  $\beta$ -caroteno) e compostos fenólicos (quercetina, antocianinas e ácido elágico). Na Tabela 2 são apresentados estudos que descrevem alguns efeitos biológicos reportados para estas respectivas biomoléculas. Nas sessões subsequentes são revisadas as correlações entre o consumo regular destes compostos e os benefícios para a saúde humana.

Tabela 1 – Composição bioativa de camu-camu (*Myrciaria dubia*) e de outros vegetais também considerados fontes das respectivas biomoléculas

Composto	Amostra	Capacidade Antioxidante	Referências
Polifenóis totais	Camu-camu: 1.100 – 1.800 mg AGE•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Acerola ( <i>Malpighia ermaginata</i> ): 1.300 – 2.200 mg AGE•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Açaí ( <i>Euterpe oleracea</i> ): 3.437 mg AGE•100 g <sup>-1</sup> (B.S.) Casca de uva Isabel ( <i>Vitis vinifera</i> x <i>Vitis labrusca</i> ): 1.839 mg CE•100 g <sup>-1</sup> (B.S.) Jabuticaba ( <i>Myrciaria cauliflora</i> ): 440 mg AGE•100 g <sup>-1</sup> (B.U.)	Camu-camu: 1.400 µmol TEAC•g <sup>-1</sup> B.S. (DPPH) Acerola: 966 µmol TEAC•100 g <sup>-1</sup> B.U. (ABTS) Açaí: 2,78 µmol TEAC•100 g <sup>-1</sup> B.S. (ABTS) Casca de uva Isabel: 3.640 µmol TEAC•100 g <sup>-1</sup> B.S. (DPPH) Jabuticaba: 3.750 µmol TEAC• 100g <sup>-1</sup> B.U. (ABTS)	MAEDA et al. (2007); GENOVESE et al. (2008); GONÇALVES et al. (2010); MEZADRI et al. (2008); CHIRINOS et al. (2010); RUFINO et al. (2010); ROCKENBACH et al. (2011); GORDON et al. (2012)
Antocianinas totais	Camu-camu: 40 – 100 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Açaí: 224 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Casca de uva Isabel: 456,52 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.S.) Jabuticaba: 58,1 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Jambolão ( <i>Syzygium cumini</i> ): 93,3 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.)	Jambolão: 2.970 µmol TEAC• 100g <sup>-1</sup> B.U. (ABTS)	ZANATTA et al. (2005); MAEDA et al. (2006); GENOVESE et al. (2008); RUFINO et al. (2010); ROCKENBACH et al. (2011)
Quercetina	Camu-camu: 4,1 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Acerola: 5,3 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Jabuticaba: 1,1 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Morango ( <i>Fragaria ananassa</i> ): 1,1 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Pitanga ( <i>Eugenia uniflora</i> L.): 6,2 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.)	Morango: 1.221 µmol TEAC•100 g <sup>-1</sup> B.U. (DPPH) Pitanga: 41 mmol TEAC•100 g <sup>-1</sup> B.U. (DPPH)	GENOVESE et al. (2008); HOFFMANN-RIBANI et al. (2009); PINELI et al. (2011)
Ácido elágico total	Camu-camu: 45 – 48 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Framboesa ( <i>Rubus idaeus</i> L.): 100 – 300 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Morango: 42 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.)	Framboesa: 305 – 351 µmol TEAC•g <sup>-1</sup> B.S. (DPPH)	GENOVESE et al. (2008); PINTO et al. (2008); REYNERTSON et al. (2008); ZHANG et al. (2010); BOBINATÉ et al. (2012)

\*AGE: ácido gálico equivalente; TEAC: equivalente de Trolox; B.S.: base seca; B.U.: base úmida.

Tabela 1 - Continuação

Composto	Amostra	Capacidade antioxidante	Referências
Vitamina C	Camu-camu: 1.800 – 2.500 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Acerola: 1.300 – 2.200 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Goiaba ( <i>Psidium guajava</i> ): 65,8 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Jambolão: 112 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Morango: 42,45 mg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.)	Goiaba: 380 μmol TEAC•100 g <sup>-1</sup> B.U. (ABTS)	MAEDA et al. (2006); CHIRINOS et al. (2010); RUFINO et al. (2010); CARDOSO et al. (2011); VALENTE et al. (2011); McCOOK-RUSSELL et al. (2012)
β-caroteno	Camu-camu: 140 μg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Acerola: 6.100 μg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Cenoura ( <i>Daucus carota</i> L.): 7.400 μg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Espinafre ( <i>Tetragonia expansa</i> ): 4.400 μg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Pitanga: 510 μg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Manga ( <i>Mangifera indica</i> ): 1.557 μg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.)	Manga: 156,6 μmol TEAC•100 g <sup>-1</sup> B.U. (ORAC)	ZANATTA e MERCADANTE (2007); PERRY et al. (2009); NORATTO et al. (2010); BAGETTI et al. (2011); BISWAS et al. (2011); CARDOSO et al. (2011); OLIVEIRA et al. (2011)
Luteína	Camu-camu: 600 μg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Couve ( <i>Brassica oleracea</i> ): 3.500 μg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.) Espinafre: 6.000 μg•100 g <sup>-1</sup> (B.U.)		NACHTIGALL et al. (2007); ZANATTA e MERCADANTE (2007)

\* TEAC: equivalente de Trolox; B.S.: base seca; B.U.: base úmida.

Tabela 2 – Compostos bioativos em camu-camu (*Myrciaria dubia*) e seus efeitos na redução do risco de incidência de algumas patologias

Composto	Efeito	Comprovações	Referências
Polifenóis totais	Hipocolesterolemiantes Antioxidante Antidiabético	Extrato de casca de amendoim ( <i>Arachis hypogaea</i> L.), rico em polifenóis, foi eficiente na redução da gordura visceral, dos teores de triglicerídeos, colesterol total e LDL-colesterol no fígado e plasma de ratos.	BANSODE et al. (2012)
		Um estudo com diversas variedades de maçã ( <i>Malus domestica</i> ) mostrou que existe correlação entre os polifenóis presentes nas mesmas e a redução dos níveis de colesterol total e LDL-colesterol em ratos.	SERRA et al. (2012)
		Extratos de framboesa ( <i>Rubus idaeus</i> L.) mostram potencial efeito inibitório, <i>in vitro</i> , da atividade da enzima $\alpha$ -glicosidase, podendo atuar contra o diabetes através da inibição da digestão do amido.	ZHANG et al. (2010)
Antocianinas totais	Hipocolesterolemiantes Antiaterogênico Anticancerígeno	Um estudo mostrou que o consumo de um tipo de uva tinta ( <i>Vitis vinifera</i> x <i>Vitis labrusca</i> ), rica em antocianinas e com apenas traços de resveratrol, diminuiu a oxidação da lipoproteína LDL em humanos, interferindo positivamente na patogênese da aterosclerose.	KAMIYAMA et al. (2009)
		Diferentes tipos de “berries”, framboesa ( <i>Rubus idaeus</i> L.), mirtilo ( <i>Vaccinium</i> sp.), morango ( <i>Fragaria ananassa</i> ) e açai ( <i>Euterpe oleracea</i> ), foram capazes de inibir a formação de tumor induzido no esôfago de ratos. Também foram capazes de diminuir os níveis de citocinas séricas (interleucinas 5 e 8), relacionando esse efeito com o aumento da capacidade antioxidante no soro sanguíneo.	STONER et al. (2010)
		Extrato antociânico de framboesa ( <i>Rubus idaeus</i> L.) mostrou atividade antiinflamatória, <i>in vitro</i> , devido à inibição de ciclooxigenases; atividade antiproliferativa em células tumorais humanas e potencial de inibição da peroxidação lipídica.	BOWEN-FORBES et al. (2010)
Quercetina	Antidiabético Antioxidante Anticancerígeno	A quercetina se foi eficiente na disfunção cognitiva em ratos com diabetes induzida.	BHUTADA et al. (2010)
		A quercetina apresentou efeito protetor no rim de ratos contra lesão oxidativa induzida por chumbo, melhorando a função renal, atenuando alterações histopatológicas, diminuindo o dano oxidativo ao DNA e a apoptose.	LIU et al. (2010)
		Uso da quercetina como adjuvante no tratamento do carcinoma gástrico humano.	BORSKA et al. (2012)

Tabela 2 – Continuação

Composto	Efeito	Comprovações	Referências
Ácido elágico	Cardioprotetor Antioxidante Antiinflamatório	O ácido elágico foi eficaz na proteção cardiovascular e na melhoria da disfunção cardíaca atuando contra lesões do miocárdio e o estresse oxidativo em ratos com infarto do miocárdio induzido.	KANNAN e QUINE et al. (2011)
		O ácido elágico foi eficiente em atenuar os efeitos da doença de Chron (inflamação intestinal), minimizando o estresse oxidativo e os eventos inflamatórios em ratos.	ROSILLO et al. (2011)
β-caroteno	Anticancerígeno Antidiabético Antioxidante	O β-caroteno pode exercer influência sobre algumas linhagens de células leucêmicas ( <i>teste in vitro</i> ), podendo aumentar a apoptose por modulação da expressão dos genes regulatórios.	SACHA et al. (2005)
		A acumulação, <i>in vitro</i> , de β-caroteno em adipócidos resistentes à insulina recuperou a expressão do gene relacionado à sensibilidade a insulina e diminuiu os níveis de espécies reativas de oxigênio.	KAMEJI et al (2010)
Luteína	Antiaterogênico Antioxidante Anticancerígeno	A luteína se mostrou eficiente na diminuição da espessura da placa de ateroma em pacientes com doença cardiovascular crônica e aguda.	LIDEBJER et al. (2007)
		A ingestão de 5 mg de luteína, duas vezes ao dia durante 2 semanas, diminuiu a fadiga visual em indivíduos com idade entre 22 e 45 anos.	YAGI et al. (2009)
		A luteína foi capaz de proteger o intestino de ratos contra injúrias oxidativas após isquemia e reperfusão intestinal.	SATO et al. (2011)
Vitamina C	Hipocolesterolemiantes	A suplementação com 500 mg/dia de vitamina C resultou em decréscimo nas concentrações de LDL-colesterol e triglicerídeos séricos em humanos.	McRAE (2007)

## 2.3 Principais compostos bioativos em camu-camu

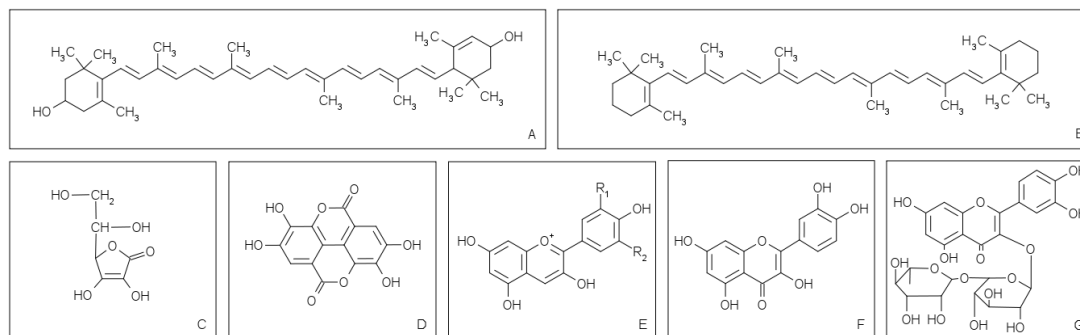


Figura 3 – Estrutura química das principais biomoléculas presentes no camu-camu: (A) Luteína; (B) β-caroteno; (C) Ácido ascórbico (Vitamina C); (D) Ácido elágico; (E) Estrutura geral das antocianidinas; (F) Quercetina; (G) Rutina.

### 2.3.1 Carotenóides

Os diversos tipos de carotenóides são biossintetizados pela mesma via metabólica, onde modificações inerentes à formação de cada composto dão origem às diferentes estruturas que ocorrem nos vegetais. O ácido mevalônico é o precursor primário na via biossintética de produção dos carotenóides, pois é a partir dele que o isopentenil difosfato, composto base de todos os isoprenóides, é originado (Figura 4). Este, a partir de uma série de reações, se transforma em um fitoeno (primeiro composto de 40 carbonos, mas ainda sem coloração), que por dessaturação gera o licopeno. O licopeno por ciclização origina o β-caroteno, que após reações de hidroxilação se transforma nas xantofilas (VALDUGA et al., 2009; BARRETO et al., 2011).

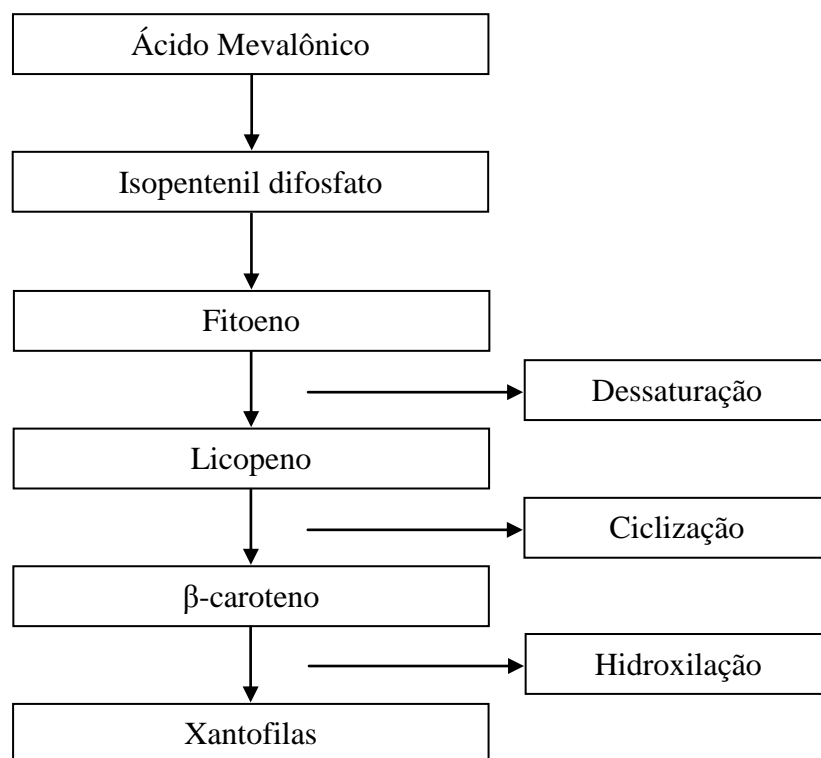


Figura 4 – Representação esquemática dos estágios da biossíntese dos carotenóides.

Costuma-se agrupar os diversos tipos de carotenóides em dois grandes grupos: os carotenos, que quimicamente são compostos por carbono e hidrogênio; e as xantofilas, que são derivados oxigenados. Faz parte do segundo grupo a luteína (Figura 3A) e, do primeiro, o  $\beta$ -caroteno (Figura 3B), dois carotenóides encontrados em maior proporção no camu-camu (600 e 140  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}/\text{peso fresco}$ , respectivamente) (ZANATTA e MERCADANTE, 2007).

Os carotenos, em virtude da sua estrutura, são apolares; enquanto que as xantofilas apresentam certa polaridade, em função dos grupamentos orgânicos oxigenados (cetona, alcoóis e aldeídos) presentes na estrutura. Em consequência disso, o  $\beta$ -caroteno tem a capacidade de atuar no interior das membranas lipoproteicas das células, protegendo-as contra a oxidação. Em contrapartida, a

luteína, por ser menos hidrofóbica, tem a capacidade de reagir com radicais livres presentes em regiões aquosas da superfície das membranas celulares (DENICOLA et al., 1996).

Os carotenóides agem *in vivo* principalmente como desativadores do oxigênio singlete ou como sequestradores dos radicais peroxila, reduzindo a oxidação do DNA e dos lipídios. Com isso, podem ser capazes de diminuir a incidência de câncer, doenças cardíacas e degenerativas, uma vez que essas patologias estão diretamente ligadas aos processos oxidativos (RAO e RAO, 2007).

Um estudo relacionou os níveis de xantofilas e carotenos no plasma de pacientes com doença cardiovascular (crônica e aguda) e verificou que os teores de luteína,  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno e licopeno foram menores nos pacientes com a patologia descrita, quando comparados a um grupo controle. A observação indica que esses compostos têm ligação direta com esse tipo de doença, podendo interferir no desenvolvimento da mesma. Neste estudo, os autores verificaram uma relação direta entre a luteína e a diminuição da espessura da placa de ateroma, predispondo a idéia de que esse carotenóide pode ser um adjuvante na progressão da aterosclerose (LIDEBJER et al., 2007).

A relação dos carotenóides com o câncer foi estudada por HUNG et al. (2006). Os autores evidenciaram o efeito protetor dos carotenóides, entre eles, luteína e  $\beta$ -caroteno, sobre o câncer de bexiga e mencionaram que esse tipo de patologia pode ser prevenida por meio da ingestão de alimentos ricos nesses nutrientes.

Os vegetais de folhas verdes, como a couve e o espinafre são boas fontes de luteína, assim como a cenoura e a acerola são grandes fontes de  $\beta$ -caroteno (Tabela 1), ambos apresentando valores dos respectivos carotenóides bem acima da quantidade encontrada no camu-camu. Entretanto, mesmo o camu-camu não sendo

uma fonte expressiva de luteína e  $\beta$ -caroteno, a ingestão do fruto pode ser uma alternativa de inclusão desses nutrientes na dieta, que se consumido diariamente pode fortalecer o organismo e com isso, diminuir o risco de incidência de algumas patologias.

O  $\beta$ -caroteno é um dos principais carotenóides da dieta, em virtude da sua capacidade de conversão em vitamina A. Ao ser ingerido pode ser absorvido na sua forma original ou hidrolisado para retinol, o qual vai depender, principalmente, das características da matriz alimentar e de fatores intrínsecos do indivíduo, como condições do trato gastrointestinal e aporte de vitamina A no organismo, sendo esta última, uma das mais relevantes. A interação do carotenóide com os demais constituintes do alimento e o tipo de processamento aplicado à matéria-prima são fatores que podem influenciar a biodisponibilidade dos carotenóides (YEUM e RUSSELL, 2002; SIQUEIRA et al., 2007; ORNELAS-PAZ et al., 2010).

Um estudo realizado por SIQUEIRA et al. (2007) avaliou o potencial de bioconversão, em ratos, do  $\beta$ -caroteno sintético e do  $\beta$ -caroteno oriundo de folhas de mandioca em vitamina A. Os autores verificaram que a bioconversão do composto sintético foi maior que a do composto de origem vegetal, relacionando o acontecimento ao fato de que o carotenóide na folha de mandioca está ligado a proteínas e localizado no interior dos cloroplastos, o que torna difícil a sua liberação no trato gastrointestinal. Os autores também observaram que a bioconversão do  $\beta$ -caroteno em folhas de mandioca secas e moídas foi menor que em folhas de mandioca cozidas, mostrando que o processamento também pode influenciar na biodisponibilidade desse nutriente. Com isso, é importante mencionar que, além da quantidade do carotenóide presente no alimento, a capacidade de bioconversão do

mesmo também é um fator importante no momento de se avaliar a sua biodisponibilidade.

A vitamina A desempenha diversas funções no organismo, relacionadas com a visão, o crescimento ósseo e a diferenciação dos tecidos. Apesar disso, a deficiência de vitamina A ainda é um problema de saúde pública no mundo e, nos países em desenvolvimento, é agravado em virtude do baixo consumo de alimentos energéticos. Com isso, as fontes vegetais são de grande importância, pois podem substituir as fontes de origem animal, as quais são mais abundantes em vitamina A, mas em contrapartida, apresentam custo mais elevado (SOUZA e VILAS BOAS, 2002; SIQUEIRA et al., 2007).

A luteína, juntamente com a zeaxantina, está presente na região macular do olho em quantidade muito maior que em qualquer outro tecido humano, sendo a mácula, uma pequena área da retina responsável pela visão central e nitidez das imagens. Dos principais benefícios associados à luteína (Tabela 2), a proteção do olho contra a degeneração macular relacionada à idade, é considerada um dos mais importantes (STRINGHETA et al., 2006). Diversos estudos sugerem associação direta entre a ingestão elevada de luteína e a diminuição no risco da degeneração macular. YAGI et al. (2009) verificaram que a ingestão de 5 mg de luteína, duas vezes ao dia durante 2 semanas, diminuiu a fadiga visual em indivíduos com idade entre 22 e 45 anos. NOLAN et al. (2007) observaram que existe uma expressiva associação entre a falta de luteína e zeaxantina na mácula e os fatores de risco (idade, tabagismo e histórico familiar) para o desenvolvimento da degeneração macular, salientando os benefícios dos pigmentos maculares.

O mecanismo de proteção da retina pelos pigmentos maculares deve-se à capacidade que os mesmos apresentam em filtrar a luz azul danosa aos tecidos da

retina, reduzindo a extensão do dano fotooxidativo. A luz azul gera espécies reativas de oxigênio (EROS) na retina que desencadeiam a peroxidação das membranas lipídicas (STRINGHETA et al., 2006; LEUNG, 2008).

A luteína não é sintetizada pelo organismo humano e com isso, a ingestão de alimentos fontes desse carotenóide (Tabela 1) é de extrema importância para a proteção do olho contra as degenerações que a idade pode acarretar. Assim, a inserção na dieta do camu-camu, e/ou de produtos tecnologicamente processados a partir do mesmo, pode reduzir a probabilidade de incidência da principal patologia relacionada com a ingestão de luteína.

### **2.3.2 Vitamina C (Ácido ascórbico)**

A síntese de vitamina C (Figura 3C) nos vegetais ocorre a partir da glicose produzida pela planta durante a fotossíntese (CHITARRA e CHITARRA, 2005), através das rotas biossintéticas do ácido galacturônico e do mio-inositol (HANCOCK et al., 2003).

A necessidade dietética de vitamina C ocorre porque o homem, ao contrário dos vegetais, não é capaz de sintetizar o composto devido à ausência da enzima hepática L-gulonolactona-oxidase, que catalisa a conversão da L-gulonolactona em ácido ascórbico (VERRAX e CALDERON, 2008). Com isso, o camu-camu, em virtude do seu elevado teor de vitamina C (Tabela 1), torna-se um alimento importante para a dieta, pois é uma excelente fonte de um nutriente que o organismo humano não é capaz de sintetizar. A ingestão diária recomendada de vitamina C para adultos é em torno de 60 mg (BRASIL, 2005). Em função do grande aporte dessa vitamina no camu-camu, em geral, o consumo de 6 g, ou seja, de um fruto de camu-camu é o suficiente para cobrir a ingestão sugerida. É importante mencionar que, em

função da elevada quantidade de vitamina C presente no camu-camu, o consumo exagerado da fruta pode desencadear náusea ou diarreia. Entretanto, por ser um composto hidrossolúvel, o excesso de vitamina C é rapidamente eliminado pela urina, o que pode originar, em longo prazo, problemas nos rins e bexiga, devido ao elevado volume de excreta produzido. Contudo, é possível de acarretar formação de pedras nos rins, em função da deposição de seu metabólito principal, o ácido oxálico (SONI et al., 2010).

Por ser uma substância hidrossolúvel, a vitamina C é a primeira linha de defesa contra radicais livres em meio aquoso. Pode atuar contra a peroxidação lipídica de duas maneiras: no plasma sanguíneo, neutralizando radicais livres e com isso, minimizando, por exemplo, o risco de oxidação das lipoproteínas, em especial da LDL (lipoproteína de baixa densidade) (McGREGOR e BIESALSKI, 2006; TALAULIKAR e MANYONDA, 2011); ou na regeneração de antioxidantes lipofílicos, atuando em sinergismo com a vitamina E regenerando-a após a sua oxidação, através da doação de um átomo de hidrogênio (VERRAX e CALDERON, 2008).

KUIPER et al. (2011) verificaram que a suplementação com vitamina C (500 mg duas vezes por dia) reduziu, em grande escala, a concentração de metabólitos urinários derivados do 4-hidroperoxi-2-nonenal, como o 4-hidroxi-2-nonenal (HNE) em indivíduos fumantes. Segundo esses autores, esses compostos são derivados da reação de radicais livres com ácidos graxos poliinsaturados, e estão diretamente ligados a patologias como o Alzheimer e o câncer.

A vitamina C também tem grande importância em outras rotas metabólicas como na formação do colágeno, no fortalecimento do sistema imunológico e na biossíntese de aminoácidos. Na formação do colágeno, juntamente com o ferro e o

oxigênio, é necessária para formar a hidroxiprolina e a hidroxilisina, dois aminoácidos que fazem parte da composição do colágeno (PADAYATTY et al., 2003). Com isso, a ingestão de frutos de camu-camu pode ser um adjuvante nos processos de cicatrização, onde o elevado teor de vitamina C presente no fruto pode impulsionar a produção de colágeno, e assim, a reconstituição da pele. Ao mesmo tempo o camu-camu também tem potencial para ser utilizado na elaboração de produtos fitoterápicos com aplicação direta em lesões ocasionadas na pele.

No sistema imunológico, a vitamina C estimula a produção de interferon e das imunoglobulinas A e M, os quais são responsáveis por proteger o organismo de agentes externos como vírus, bactérias e células tumorais. Em virtude desse e também de outros fatores, foi que se estabeleceu uma relação direta entre a vitamina C e o câncer, pois o fortalecimento do sistema imunológico promove um aumento na produção de células imunes, as quais destroem as células pré-cancerígenas e cancerígenas, que são reconhecidas pelo organismo como células invasoras. Outro fator que relaciona a vitamina C com o câncer é a sua ação antioxidante, que através da neutralização de radicais livres diminui a ocorrência de mutações irreversíveis no DNA das células e com isso, evita a formação de células cancerígenas (GLASER et al., 2000; VERRAX e CALDERON, 2008). Também apresenta grande importância na prevenção da anemia, pois atua como fator promotor da absorção de ferro não heme (inorgânico) presente nos alimentos de origem vegetal. O ácido ascórbico promove a redução do  $Fe^{3+}$  (pouco solúvel no intestino) a  $Fe^{2+}$ , para que seja absorvido; facilita a liberação do ferro da transferrina (proteína que transporta o ferro no sangue) e da ferritina (principal proteína de armazenamento do ferro); e participa de modo importante da síntese de ferritina e, portanto, do depósito de ferro (DUARTE e JONES, 2007).

De acordo com KIM (2012), a suplementação com vitamina C em pacientes submetidos à hemodiálise é um adjuvante na tentativa de elevar os níveis séricos de ferro dos mesmos, visto que a deficiência desse mineral é constante nesse tipo de paciente. O consumo diário de 100 g de camu-camu é suficiente para fornecer em torno de 10 % da necessidade diária recomendada de ferro (14 mg) (BRASIL, 2005). Entretanto, apesar de o camu-camu não apresentar elevado teor desse mineral, a sua composição rica em vitamina C torna altamente biodisponível o ferro presente no fruto e em outros alimentos ingeridos em conjunto.

### **2.3.3 Compostos Fenólicos**

A produção de compostos fenólicos nos vegetais é caracterizada por um mecanismo de defesa em resposta a doenças provocadas por patógenos, radiação ultravioleta, temperaturas extremas e injúrias mecânicas (NACZK e SHAHIDI, 2004; SAIGNE-SOULARD et al., 2006). A fenilalanina é o principal precursor desses compostos, os quais (entre eles taninos, flavonóides e antocianinas) são formados a partir das vias do chiquimato (ácido chiquímico) e/ou malonato. A enzima fenilalanina-amonialiase (PAL) atua como catalisador da reação de biossíntese, transformando a fenilalanina em ácido cinâmico, onde a partir do mesmo são originados os compostos fenólicos (SAIGNE-SOULARD et al., 2006).

A relação dos compostos fenólicos com o metabolismo e a diminuição do risco de algumas patologias (Tabela 2) deve-se, principalmente, ao potencial antioxidante que essas substâncias apresentam. A capacidade antioxidante desses compostos está relacionada à presença de grupos hidroxilas em sua estrutura. O grupamento hidroxila cede um átomo de hidrogênio e um elétron para o radical livre, neutralizando-o (Figura 5) (ELISIA et al., 2007).

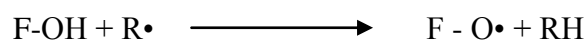


Figura 5 – Inativação de radicais livres a partir dos compostos fenólicos. (F-OH: composto fenólico; R•: radical livre; RH: radical livre estabilizado)

Evidências atuais sugerem que os compostos fenólicos são capazes de contribuir para a redução do risco de ocorrência de diversas doenças como alguns cânceres (ARAÚJO et al., 2011), a hipertensão (MEDINA-REMÓN et al., 2011), a hiperglicemia (GONÇALVES et al., 2010), a hipercolesterolemia (RIBEIRO et al., 2011) e as doenças cardiovasculares (DALEPRANE et al., 2012). GONÇALVES et al. (2010) reportaram em seu estudo que o extrato polifenólico de camu-camu mostrou-se eficiente na inibição da atividade da  $\alpha$ -amilase e  $\alpha$ -glicosidase, podendo ser um adjuvante na prevenção da hiperglicemia.

O camu-camu apresenta elevados teores de polifenóis (em média 1.000 mg•100 g<sup>-1</sup> de fruto), maior que muitas frutas consideradas fontes desses compostos, como acerola, jaboticaba e açaí (Tabela 1). Assim, o aporte polifenólico do camu-camu, além de ser um adjunto na redução do risco das patologias citadas anteriormente, pode ser um incentivo para a valorização de frutas e hortaliças características da região Amazônica e também, para a elaboração de produtos derivados, sejam eles alimentos funcionais e/ou produtos fitoterápicos. Além disso, em conjunto com o elevado conteúdo de polifenóis, o camu-camu também apresenta um alto teor de vitamina C (Tabela 1), sendo esses compostos os principais responsáveis pelo grande potencial antioxidante que caracteriza a fruta. Assim, a utilização do fruto como suplemento nutracêutico pode ser bastante viável e de boa rentabilidade econômica, visto que os teores de polifenóis totais e vitamina C, separados, correspondem, em geral, a mais de 1 % do peso da fruta.

Os principais compostos fenólicos presentes no camu-camu são o ácido elágico, os flavonóides (principalmente quercetina e rutina) e as antocianinas (principalmente cianidina e delphinidina-3-glicosídeo). Nas sessões subsequentes, estes compostos são descritos e comentados em mais detalhes.

### **2.3.3.1 Ácido Elágico**

O ácido elágico (Figura 3D) é um composto fenólico pertencente ao grupo dos taninos hidrolisáveis, sendo formado a partir da hidrólise ácida ou básica de elagitaninos. Pode ocorrer na forma livre, glicosilada ou ligada (elagitaninos). Os elagitaninos são ésteres de glicose com o ácido hexahidroxiidifênico, onde após a hidrólise, este último é lactonizado espontaneamente formando o ácido elágico (LANDETE, 2011).

A eficiência do ácido elágico como composto antioxidante depende principalmente da sua estrutura química. A presença de vários grupamentos hidroxila é responsável pela forte capacidade de doar átomos de hidrogênio, sendo que a eficiência antioxidante desses compostos está diretamente relacionada com o seu grau de hidroxilação, diminuindo conforme o grau de glicosilação (LANDETE, 2011). O teor de ácido elágico livre nos vegetais varia conforme a matriz alimentar e o tipo de processamento aplicado. Entretanto, sabe-se que esse teor é geralmente baixo, estando presente nos alimentos principalmente na forma de elagitaninos (HAKKINEN et al., 2000; PINTO et al., 2008).

Segundo GONÇALVES et al. (2010) e GENOVESE et al. (2008), o camu-camu apresenta um teor de ácido elágico total de 48 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco, sendo que deste valor apenas 1,6 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco corresponde ao composto livre. Frutas consideradas fontes clássicas de ácido elágico, como morango e framboesa,

apresentam em torno de 3 e 5 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco do composto livre, respectivamente, e cerca de 20 – 50 e 200 – 300 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco de ácido elágico total, respectivamente (Tabela 1) (PINTO et al., 2008; BOBINAITĖ et al., 2012). Essas diferenças ajudam a reforçar a afirmativa de que o teor de ácido elágico livre varia de acordo com a matriz alimentar e que no camu-camu a maior parte do composto está na forma ligada, o que pode ser um problema quando se relaciona a biodisponibilidade do mesmo.

O metabolismo do ácido elágico ainda não foi totalmente elucidado. Em muitos estudos, a presença de ácido elágico na corrente sanguínea não foi detectada após a ingestão de alimentos contendo este composto. Assim, a hipótese de que o composto é metabolizado pela microbiota intestinal, produzindo metabólitos de interesse, é preconizada. Existem estudos que sugerem que o ácido elágico é metabolizado pela microbiota intestinal produzindo metabólitos como as urolitinas (Figura 6 ) (SELMA et al., 2009; SHARMA et al., 2010).

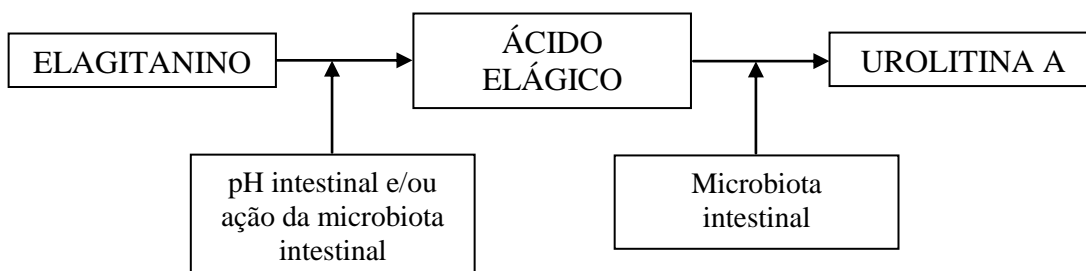


Figura 6 – Hidrólise dos elagitaninos e metabolismo do ácido elágico pela microbiota intestinal.

Com isso, a atividade fisiológica atribuída ao ácido elágico estaria relacionada, mais precisamente, aos metabólitos produzidos pela microbiota e não pelo composto original em si. Entretanto, ainda não está claro se os elagitaninos são

hidrolisados devido ao pH fisiológico do intestino ou por ação da microbiota intestinal. No entanto, independente do processo, ambos os casos culminam para o mesmo propósito, a transformação do composto em substâncias mais facilmente absorvíveis pelo organismo (LARROSA et al., 2010).

Observando o comportamento metabólico dos elagitaninos após o consumo, alguns pesquisadores verificaram que 3 a 6 % do composto ingerido foi detectado na forma de metabólitos na urina e fezes. Com isso, presume-se que os elagitaninos não são diretamente absorvidos e devem ser metabolizados antes da absorção (CERDÁ et al., 2004). Estudos com romã mostraram que as urolitinas aparecem no sistema circulatório humano dentro de algumas horas após o consumo da fruta, atingindo concentrações máximas entre 24 a 48 horas, sendo encontradas no plasma e na urina até 72 horas após a ingestão, na forma livre ou conjugada com ácido glicorônico (MERTENS-TALCOTT et al., 2006; SEERAM et al., 2006). Com isso, as urolitinas são consideradas como biomarcadores da exposição humana à dieta com ácido elágico e seus derivados (LANDETE, 2011).

Estudos mostram que as urolitinas são capazes de inibir a proliferação de células cancerígenas do cólon e apresentam papel importante na modulação de processos celulares associados ao desenvolvimento de câncer de cólon como a sinalização por MAPK (proteínas quinases ativadas por mitógenos) (LARROSA et al., 2006; GONZÁLEZ-SARRÍAS et al., 2009). Além disso, as urolitinas diminuem a proporção de marcadores inflamatórios na mucosa do cólon, incluindo a óxido nítrico sintase, ciclooxigenase-2, prostaglandina sintase E e prostaglandina E2 (LARROSA et al., 2010).

O ácido elágico também tem sido apontado como importante em outros diversos processos biológicos (Tabela 2), como atividade anti-inflamatória, anti-

aterogênica e antimicrobiana (MULLEN et al., 2002; AVIRAM et al., 2004; SEERAM et al., 2005; YU et al., 2005).

### **2.3.3.2 Flavonóides**

Dentre os compostos bioativos obtidos de fontes vegetais, os flavonóides são muito importantes, pois atuam eliminando radicais livres, em virtude de seu potencial redutor, protegendo o corpo de reações oxidativas que possam ocorrer (ROUTRAY e ORSAT, 2012). Os flavonóides presentes no camu-camu em maior proporção são a quercetina ( $24 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso fresco) (Figura 3F) e a rutina ( $13 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso fresco) (Figura 3G) (REYNERTSON et al., 2008; GONÇALVES et al., 2010).

Um dos fatores que facilita a atividade antioxidante dos flavonóides é a sua capacidade de interagir com as biomembranas, devido a sua lipofilicidade. Isso geralmente ocorre com as agliconas, visto que a presença de açúcares na cadeia do flavonóide torna-o mais polar, dificultando sua interação com a membrana das células. Assim, os flavonóides assimilados pelas membranas exercem a função de moduladores de fluidez, restringindo a fluidez das mesmas, o que gera impedimento físico para a difusão das espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, fazendo, assim, decrescer a cinética das reações responsáveis pelo estresse oxidativo (BARREIROS e DAVID, 2006).

Os flavonóides são associados à redução do risco da incidência de câncer, uma vez que essa patologia tem sido muito associada ao estresse oxidativo. Os radicais livres têm papel importante na carcinogênese, pois a atividade metabólica dos carcinógenos é uma reação dependente desses compostos, que danificam o DNA das células promovendo mutações. Se em algum momento estas não forem reparadas

pelo sistema enzimático endógeno danos permanentes podem ser desencadeados (TIWARI, 2004).

Um estudo realizado por DU et al. (2010) investigou a ação da quercetina em sinergismo com a doxorrubicina, uma droga utilizada no tratamento do câncer, tendo como alvo o câncer de mama induzido em camundongos. Os autores verificaram que o flavonóide potencializou o efeito da droga, ajudando na supressão do tumor e também na diminuição do desenvolvimento de metástases.

A quercetina, devido a sua ação antitumoral, também pode induzir a apoptose de várias células tumorais, incluindo células leucêmicas, de tumores pancreáticos, de cânceres de mama e da próstata (LEE et al., 2002; KAWAHARA et al., 2009; YUAN et al., 2010). WANG et al. (2012) verificaram que a quercetina é capaz de alterar a morfologia e induzir a apoptose de células de carcinoma gástrico humano, indicando que esse mecanismo pode ocorrer em função de uma alteração que o composto provoca no sistema mitocondrial da célula tumoral, resultando em perda de energia.

Em um estudo realizado por KIM et al. (2011), avaliou-se o efeito da quercetina e da rutina na inibição do estresse oxidativo induzido por radicais peróxila e hidroxila em células HepG2 de fígado humano. Os autores concluíram que a quercetina se difunde mais facilmente pela membrana das células do que a rutina e com isso, promove uma maior inibição do estresse oxidativo causado pelos radicais citados. Os autores mostraram que para que a rutina tenha uma eficiência similar à quercetina na neutralização dos radicais citados é necessário que a mesma seja desglicosilada, ou seja, esteja na forma de sua aglicona, a quercetina, pois assim apresenta uma menor polaridade e com isso atravessa com mais facilidade a membrana das células hepáticas utilizadas na realização do teste. Esse é um fator

importante no que concerne ao camu-camu, uma vez que a fruta é comumente consumida na forma de produtos processados, como suco e polpa. De forma geral, os tratamentos aplicados com a finalidade de conservação (pH e tratamento térmico) podem induzir a hidrólise de flavonóides como a rutina e com isso, aumentar o teor de quercetina no produto e da mesma forma, potencializar o efeito endógeno do mesmo.

Outra maneira de prevenção do processo carcinogênico exercida pelos flavonóides seria estimulando a excreção de substâncias xenobióticas e seus intermediários, pela ativação das fases I e II dos sistemas enzimáticos envolvidos na eliminação dessas toxinas. As reações de fase I e II são responsáveis pela biotransformação de substâncias tóxicas, neutralizando sua possível reatividade e tornando-as passíveis de serem excretadas, uma vez que são transformadas em moléculas hidrossolúveis (YANG et al., 2001).

Além de atuar nos processos carcinogênicos, os flavonóides também estão correlacionados à redução da incidência dos processos inflamatórios porque são potentes inibidores de lipoxigenases e ciclooxigenases, enzimas que catalisam a formação de prostaglandinas e leucotrienos, que são mediadores de inflamações agudas e lesões em tecidos (BASTOS et al., 2009). Podem exercer ação antitrombótica, pois têm a capacidade de se ligarem à membrana das plaquetas e eliminar radicais livres, reestabelecendo a biossíntese e a ação da prostaciclina endotelial e do fator de relaxamento endotelial, os quais são inibidos pelos radicais livres (COSTA e ROSA, 2010).

A quercetina também pode estar relacionada com a redução do colesterol total e frações, assim como dos triglicérides. Um estudo realizado com camu-camu avaliou o efeito do mesmo frente à hipercolesterolemia, em contraste com o efeito da

quercetina pura. SCHWERTZ et al. (2012) avaliou o potencial hipolipêmico de suco de camu-camu em ratos hipercolesterolêmicos. O estudo contou com grupos de animais submetidos à ingestão de 0,1, 1 e 2 mL de suco de camu-camu diariamente durante 14 dias. Paralelamente, um grupo padrão foi tratado com quercetina na mesma concentração determinada no suco de camu-camu ( $400 \text{ mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ ). A ingestão de 2 mL de suco promoveu maior redução dos triglicerídeos (83 %), porém estatisticamente igual ( $p > 0,05$ ) à redução acarretada pela quercetina (86 %). Em relação ao colesterol total, a redução maior foi com o grupo que ingeriu 0,1 mL de suco (21 %), a qual também foi estatisticamente igual ( $p > 0,05$ ) ao efeito promovido pela quercetina (29 %). A redução de LDL-colesterol ocorreu apenas nos grupos que ingeriram 0,1 e 1 mL de suco de camu-camu (14 e 6 %, respectivamente), sendo que a quercetina pura não mostrou efeito de redução sobre esse parâmetro. O efeito do suco de camu-camu na modulação do perfil lipídico de ratos hipercolesterolêmicos foi similar ao da quercetina pura. A observação permite inferir que a quercetina, tanto na forma pura ou em sinergismo com outros compostos no alimento, tem atuação na dislipidemia.

### **2.3.3.3 Antocianinas**

As antocianinas (Figura 3E) são polifenóis que fazem parte do grupo dos flavonóides, constituídas por duas ou três frações: uma aglicona (antocianidina), uma parte glicosídica e, com certa frequência, um ácido orgânico. Antocianidinas livres são raramente encontradas nos vegetais, estando comumente glicosiladas, o que estabiliza a molécula; o açúcar pode estar ligado em diferentes posições da molécula (FRANCIS, 2000). As principais antocianinas presentes no camu-camu são a

cianidina-3-glicosídeo e a delphinidina-3-glicosídeo (48 e 2,75 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco, respectivamente) (ZANATTA et al., 2005).

Alguns estudos indicam grande potencial das antocianinas contra doenças cardiovasculares (MIRMIRAN et al., 2009; RIBEIRO et al., 2011). Devido ao seu potencial antioxidante, esses compostos podem inibir a oxidação da LDL (lipoproteína de baixa densidade), reduzindo o risco de incidência da aterosclerose, uma vez que a LDL oxidada danifica o endotélio e inicia o processo aterosclerótico. Segundo TIWARI (2004), a LDL oxidada é facilmente adsorvida por macrófagos, formando células esponjosas que, ao crescer, dão lugar às placas ateroscleróticas que obstruem os vasos impedindo o fluxo sanguíneo para os tecidos.

Alguns estudos também mostraram a atuação das antocianinas no tratamento das lipidemias, ajudando na diminuição do colesterol sanguíneo (total e frações – LDL) e dos triglicerídeos. ZAWISTOWSKI et al. (2009) avaliaram o efeito do extrato de arroz preto, rico em antocianinas (300 mg•100 g<sup>-1</sup>) nos lipídios plasmáticos (colesterol total, LDL, HDL e triglicerídeos) de ratos hipercolesterolêmicos e verificou que a redução do colesterol total, da fração LDL e dos triglicerídeos foi de 13, 23 e 37 %, respectivamente. Verificou-se também, que o acúmulo de colesterol no fígado foi bem menor nos animais que ingeriram o extrato de arroz preto. Outro estudo avaliou o efeito da suplementação da dieta com polpa de açaí nos lipídios séricos de ratos e verificou uma redução de 33 % do colesterol total e 35 % da fração LDL, não havendo modificações em relação ao teor de triglicerídeos (SOUZA et al., 2010).

Diversos mecanismos de ação têm sido atribuídos aos compostos fenólicos para explicar seus efeitos no metabolismo lipídico e com isso sua capacidade de reduzir a hipercolesterolemia. Um deles envolve suas ações no aumento da excreção

de sais biliares nas fezes e, outro, na redução na absorção intestinal de colesterol e no incremento da atividade da lipase pancreática (enzima relacionada com a degradação dos triglicérides) (REHRAH et al., 2007).

O mecanismo hipocolesterolêmico dos compostos fenólicos pode ainda decorrer da ação sobre enzimas como a colesterol esterase, responsável pela hidrólise de ésteres de colesterol no lúmen intestinal; colesterol-7- $\alpha$ -hidrolase, responsável pela degradação do colesterol e síntese de ácidos biliares; ACAT, responsável pela esterificação e armazenamento intracelular do colesterol; e HMG-CoA redutase, enzima limitante da síntese endógena de colesterol (MARTINELLO, 2006). KUMAR et al. (2005) relacionaram a ação hipocolesterolemizante dos compostos fenólicos com o aumento da atividade da lipase e da excreção de sais biliares, sendo este último em função do estímulo que os polifenóis promovem na atividade da enzima colesterol-7- $\alpha$ -hidrolase. MOLLACE et al. (2011) mencionou que os compostos fenólicos podem promover a diminuição dos níveis de colesterol por meio da modulação hepática dos níveis de HMG-CoA, aumento de sais biliares e incremento da rotatividade das taxas de colesterol entre o sangue e o fígado.

Também existe grande correlação dos compostos fenólicos, em especial das antocianinas com a hiperglicemia. Apesar de mecanismos não muito esclarecidos e poucos estudos relatados, hipóteses salientam que a alta capacidade antioxidante dos compostos fenólicos, principalmente dos flavonóides antociânicos, pode ser efetiva na progressão da diabetes Mellitus (MATSUI et al., 2001; SONG et al., 2005; GONÇALVES et al., 2010). Um estudo realizado por MCDUGALL e STEWART (2005), relatou a eficácia das antocianinas como inibidores de  $\alpha$ -glicosidase e KWON et al. (2006) e APOSTOLIDIS et al. (2006) também relataram que esses

compostos, além de elevada capacidade antioxidante, possuem ainda propriedades antidiabéticas.

### **3 CONSIDERAÇÕES**

A abordagem feita sobre o camu-camu e seus compostos bioativos mostra que esse é um fruto com elevado valor nutricional, por ser rico em vitaminas, em particular vitamina C e  $\beta$ -caroteno. Além disso, o fruto contém outras substâncias bioativas (compostos fenólicos), que somadas às vitaminas, lhe conferem propriedades biológicas benéficas, relacionadas, principalmente com a diminuição do risco da incidência de algumas patologias.

Essas informações são importantes para ajudar na propagação do conhecimento sobre o fruto, uma vez que dados sobre o camu-camu ainda são escassos na literatura especializada. Além disso, esta revisão contribui para que seja reconhecido e valorizado o potencial tecnológico de alimentos regionais, conhecidos e utilizados apenas por populações locais. Tal é o caso do camu-camu que, no Brasil é consumido praticamente apenas na região Amazônica.

Essa revisão mostrou que o camu-camu, em virtude principalmente do seu elevado potencial antioxidante, ligado ao teor de vitamina C e compostos fenólicos, pode propiciar diversos efeitos terapêuticos ou preventivos de patologias, comparáveis àqueles de outros frutos mais conhecidos. Entre estes, cita-se ver, por exemplo, as correlações das antocianinas com a diabetes e as doenças cardiovasculares; do ácido elágico e dos flavonóides quercetina e rutina com o câncer; da luteína e do  $\beta$ -caroteno com a degeneração macular; e das vitaminas A e C com o fortalecimento do sistema imunológico.

A análise da literatura também mostrou que o metabolismo de algumas destas substâncias ainda não está bem elucidado e que existem questionamentos com relação à absorção e sítios de ação das mesmas, o que torna difícil a compreensão precisa do mecanismo de ação no organismo. Com isso, estas substâncias podem apresentar diferenças *in vivo*, com relação à atividade observada *in vitro*. *In vitro*, observa-se a atividade dos compostos na forma como se apresentam naturalmente no alimento. Já *in vivo*, observa-se a atividade dos compostos absorvidos ou dos seus metabólitos, podendo nem sempre apresentar a mesma intensidade do composto original. Fatores como a solubilidade dos compostos frente aos diferentes sistemas do organismo, pH do meio, concentração e sinergismo entre as substâncias podem influenciar no metabolismo das mesmas ao longo do trato gastrointestinal.

Vale ressaltar que alimentos como camu-camu, ricos em substâncias bioativas, não devem ser consumidos em caráter curativo, pois não apresentam função medicamentosa, e sim de redução epidemiológica do risco de incidência de determinadas doenças. Além disso, é importante salientar que, para que se obtenha o benefício desejado, o consumo de alimentos ricos em substâncias bioativas deve fazer parte da rotina do indivíduo, pois o efeito possível de ser gerado é cumulativo e não instantâneo.

#### **4 CONCLUSÃO**

O camu-camu é tão rico, quanto diversos frutos, comumente conhecidos em substâncias bioativas, destacando-se entre elas a vitamina C, os carotenóides e os compostos fenólicos. Todos esses compostos já foram correlacionados em vários estudos a efeitos benéficos para o organismo humano. Entretanto, o camu-camu ainda é pouco conhecido e consumido, e com isso, estudos específicos sobre o seu

comportamento bioativo ainda são necessários. Abre-se assim um promissor campo para as pesquisas com o camu-camu, em particular para estudos: que visem concentrar e estabilizar os compostos bioativos a partir do fruto, para utilização em formulações alimentares, farmacêuticas e/ou cosméticas; para o desenvolvimento de produtos alimentícios (sorvetes, sucos, geléias, etc.); e para o desenvolvimento de fitoterápicos e suplementos nutricionais. Estas são algumas aplicações promissoras que permitiriam o aproveitamento e a valorização tecnológica e econômica do fruto.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APOSTOLIDIS, E.; KWON, Y. I.; SHETTY, K. Potencial of select yogurts for diabetes and hypertension management. **Journal of Food Biochemistry**, v.30, p.699-717, 2006.

ARAÚJO, J. R.; GONÇALVES, P.; MARTEL, F. Chemopreventive effect of dietary polyphenols in colorectal cancer cell lines. **Nutrition Research**, v.31, p.77-87, 2011.

AVIRAM, M. et al. Pomegranate juice consumption for 3 years by patients with carotid artery stenosis (CAS) reduces common carotid intima-media thickness (IMT), blood pressure and LDL oxidation. **Clinical Nutrition**, v.23, p.423-433, 2004.

AZEVEDO-MELEIRO, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.17, p.385-396, 2004.

BAGETTI, M. et al. Physicochemical characterization and antioxidant capacity of pitanga fruits (*Eugenia uniflora* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.31, p.147-154, 2011.

BANSODE, R. R. et al. Evaluation of hypolipidemic effects of peanut skin-derived polyphenols in rats on Western-diet. **Food Chemistry**, v.135, p.1659-1666, 2012.

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

BARRETO, G. P. M. et al. Influence of ethylene on carotenoid biosynthesis during papaya postharvesting ripening. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.24, p.620-624, 2011.

BASTOS, D. H. M.; ROGERO, M. M.; ARÊAS, J. A. G. Mecanismos de ação de compostos bioativos dos alimentos no contexto de processos inflamatórios relacionados à obesidade. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v.53, p.646-656, 2009.

BHUTADA, P. et al. Ameliorative effect of quercetin on memory dysfunction in streptozotocin-induced diabetic rats. **Neurobiology of Learning and Memory**, v.94, p.293-302, 2010.

BISWAS, A. K.; SAHOO, J.; CHATLI, M. K. A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of  $\beta$ -carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets. **LWT – Food Science and Technology**, v.44, p.1809-1813, 2011.

BOBINAITE, R.; VISKELIS, P.; VENSKUTONIS, P. R. Variation of total phenolics, anthocyanins, ellagic acid and radical scavenging capacity in various raspberry (*Rubus* spp.) cultivars. **Food Chemistry**, v.132, p.1495-1501, 2012.

BORSKA, S. et al. *In vitro* effect of quercetin on human gastric carcinoma: Targeting cancer cells death and MDR. **Food and Chemical Toxicology**, v.50, p.3375-3383, 2012.

BOWEN-FORBES, C. S.; ZHANG, Y.; NAIR, M. G. Anthocyanin content, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties of blackberry and raspberry fruits. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.23, p.554-560, 2010.

BRASIL – **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. Disponível em: [www.anvisa.gov.br](http://www.anvisa.gov.br) – Acesso em: 20 mai 2012.

CARDOSO, P. C. et al. Vitamin C and carotenoids in organic and conventional fruits grown in Brazil. **Food Chemistry**, v.126, p.411-416, 2011.

CERDÁ, B. et al. The potent *in vitro* antioxidant ellagitannins from pomegranate juice are metabolized into bioavailable but poor antioxidant hydroxy-6H-

dibenzopyran-6-one derivatives by the colonic microflora in healthy humans. **European Journal of Nutrition**, v.43, p.205–220, 2004.

CHIRINOS, R. et al. Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturity stages. **Food Chemistry**, v.120, p.1019-1024, 2010.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de Frutos e Hortaliças: Fisiologia e manuseio**. 2 ed. Rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

COSTA, N. M. B.; ROSA, C. O. B. **Alimentos funcionais – componentes bioativos e efeitos fisiológicos**. Rio de Janeiro: Editora Rubio, 2010, 536p.

DALEPRANE, J. B. et al. Anti-atherogenic and anti-angiogenic activities of polyphenols from própolis. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v.23, p.557-566, 2012.

DENICOLA, A. et al. Peroxynitrite reaction with carbon dioxide/bicarbonate: kinetics and influence on peroxynitrite-mediated oxidations. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.333, p.49-58, 1996.

DU, G. et al. Dietary quercetin combining intratumoral doxorubicin injection synergistically induces rejection of established breast cancer in mice. **International Immunopharmacology**, v.10, p.819-826, 2010.

DUARTE, T.; JONES, G. Vitamin C modulation of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced damage and iron homeostasis in human cells. **Free Radical Biology & Medicine**, v.43, p.1165–1175, 2007.

ELISIA, I. et al. Antioxidant assessment of na anthocyanin-enriched blackberry extract. **Food Chemistry**, v.101, p.1052-1058, 2007.

FISK II, P. S. et al. Few favorable associations between fruit and vegetable intake and biomarkers for chronic disease risk in American adults. **Nutrition Research**, v.31, p.616-624, 2011.

FRANCIS, F. J. Anthocyanins and betalains: composition and applications. **Cereal Foods World**, v.45, p.208-213, 2000.

GAVINHO, C. A. **Efeitos da adubação foliar na produção de frutos e na concentração de ácido ascórbico do camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) em condições de terra-firme.** 2005. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Agricultura no Trópico Úmido) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2005.

GENOVESE, M. I. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits and commercial frozen pulps from Brazil. **Food Science and Technology International**, v.14, p.207-214, 2008.

GLASER, R. et al. Stress induced immunomodulation: implications for infectious diseases. **Journal of the American Medical Association**, v.281, p.2268-2270, 2000.

GONÇALVES, A. E. de S. S., LAJOLO, F. M., GENOVESE, M. I. Chemical composition and antioxidant/antidiabetic potential of brazilian native fruits and commercial frozen pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.4666-4674, 2010.

GONZÁLEZ-SARRÍAS, A. et al. Dissimilar in vitro and in vivo effects of ellagic acid and its microbiota-derived metabolites, urolithins, on the cytochrome P450 1A1. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.57, p.5623–5632, 2009.

GORDON, A. et al. Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açaí fruits (*Euterpe oleraceae* Mart.) during ripening. **Food Chemistry**, v.133, p.256-263, 2012.

HAKKINEN, S. H. et al. Ellagic acid content in berries: Influence of domestic processing and storage. **European Food Research and Technology**, v.212, p.75–80, 2000.

HANCOCK, R. et al. Synthesis of L-ascorbic acid in the phloem. **BMC Plant Biology**, v.3, p.1-12, 2003.

HOFFMANN-RIBANI, R.; HUBER, L. S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flavonols in fresh and processed Brazilian fruits. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.22, p.263-268, 2009.

HUNG, R. J. et al. Protective effects of plasma carotenoids on the risk of bladder cancer. **The Journal of Urology**, v.176, p.1192-1197, 2006.

JUSTI, K. C. et al. Nutritional composition and Vitamin C stability in stored camu-camu (*Myrciaria dubia*) pulp. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.50, p.405-408, 2000.

KAMEJI, H. et al.  $\beta$ -carotene accumulation in 3T3-L1 adipocytes inhibits the elevation of reactive oxygen species and the suppression of genes related to insulin sensitivity induced by tumor necrosis factor- $\alpha$ . **Nutrition**, v.26, p.1151-1156, 2010.

KAMIYAMA, M. et al. Inhibition of low-density lipoprotein oxidation by Nagano purple grape (*Vitis vinifera* x *Vitis labrusca*). **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**, v.55, p.471-478, 2009.

KANNAN, M. M.; QUINE, S. D. Ellagic acid ameliorates isoproterenol induced oxidative stress: evidence from electrocardiological, biochemical and histological study. **European Journal of Pharmacology**, v.659, p.45-52, 2011.

KAWAHARA, T. et al. Cyclopamine and quercetin suppress the growth of leukemia and lymphoma cells. **Anticancer Research**, v.29, p.4629-4632, 2009.

KIM, G-N.; KWON, Y-I.; JANG, H-D. Protective mechanism of quercetin and rutin on 2,20-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride or  $\text{Cu}^{2+}$ -induced oxidative stress in HepG2 cells. **Toxicology in Vitro**, v.25, p.138-144, 2011.

KIM, Y. L. Vitamin C and functional iron deficiency anemia in hemodialysis. **Kidney Research and Clinical Practice**, v.31, p.1-3, 2012.

KUIPER, H. C. et al. Vitamin C supplementation lowers urinary levels of 4-hydroperoxy-2-nonenal metabolites in humans. **Free Radical Biology & Medicine**, v.50, p.848-853, 2011.

KUMAR, S. A.; SUDHAHAR, V.; VARALAKSHMI, P. Attenuation of serum lipid abnormalities and cardiac oxidative stress by eicosapentaenoate-lipoate (EPA-LA) derivative in experimental hypercholesterolemia. **Clinica Chimica Acta**, v.335, p.197-204, 2005.

KWON, Y. I.; VATTEN, D. A.; SHETTY, K. Clonal herbs of Laminaceae species against diabetes and hypertension. **Asian Pacific Journal of Clinical Nutrition**, v.15, p.424-432, 2006.

LANDETE, J. M. Ellagitannins, ellagic acid and their derived metabolites: A review about source, metabolism, functions and health. **Food Research International**, v.44, p.1150-1160, 2011.

LARROSA, M.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; ESPÍN, J. C. The dietary hydrolysable tannin punicalagin releases ellagic acid that induces apoptosis in human colon adenocarcinoma Caco-2 cells by using the mitochondrial pathway. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v.17, p.611–625, 2006.

LARROSA, M. et al. Anti-inflammatory properties of a pomegranate extract and its metabolite urolithin-A in a colitis rat model and the effect of colon inflammation on phenolic metabolism. **The Journal of Nutrition Biochemistry**, v.21, p.717–725, 2010.

LEE, L. T. et al. Blockade of the epidermal growth factor receptor tyrosine kinase activity by quercetin and luteolin leads to growth inhibition and apoptosis of pancreatic tumor cells. **Anticancer Research**, v.22, p.1615–1627, 2002.

LEUNG, I. Macular pigment: New clinical methods of detection and the role of carotenoids in age-related macular degeneration. **Optometry**, v.79, p.266-272, 2008.

LIDEBJER, C. et al. Low plasma levels of oxygenated carotenoids in patients with coronary artery disease. **Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases**, v.17, p.448-456, 2007.

LIU, C-M et al. Quercetin protects the rat kidney against oxidative stress-mediated DNA damage and apoptosis induced by lead. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v.30, p.264-271, 2010.

MAEDA, R. N. et al. Determinação da formulação e caracterização do néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, p.70-74, 2006.

MAEDA, R. N. et al. Estabilidade de ácido ascórbico e antocianinas em néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H. B. K.) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.313-316, 2007.

MARTINELLO, F. **Avaliação da atividade biológica do extrato hidroalcoólico de Tamarindus indica L. sobre o metabolismo lipídico e na carcinogênese coloretal em hamster**. 2006. 153 f. Tese (Doutorado em Biociências aplicadas à Farmácia) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, 2006.

MATSUI, T. et al.  $\alpha$ -Glucosidase inhibitory action of natural acylated anthocyanins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.49, p.1952-1956, 2001.

McCOOK-RUSSELL, K. P. et al. Nutritional and nutraceutical comparison of Jamaican *Psidium cattleianum* (strawberry guava) and *Psidium guajava* (common guava) fruits. **Food Chemistry**, v.134, p.1069-1073, 2012.

MCDUGALL, G. J.; STEWART, D. The inhibitory effects of berry polyphenols on digestive enzymes. **Biofactors**, v.23, p.189-195, 2005.

McGREGOR, G. P.; BIESALSKI, H. K. Rationale and impact of vitamin C in clinical nutrition. **Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolism Care**, v.9, p.697-703, 2006.

McRAE, M. P. Vitamin C supplementation lowers serum low-density lipoprotein cholesterol and triglycerides: a meta-analysis of 13 randomized controlled trials. **Journal of Chiropractic Medicine**, v.7, p.48-58, 2008.

MEDINA-REMÓN, A. et al. Total polyphenol excretion and blood pressure in subjects at high cardiovascular risk. **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases**, v.21, p.323-331, 2011.

MERTENS-TALCOTT, S. et al. Absorption, metabolism and antioxidant effects of pomegranate polyphenols after ingestion of a standardized extract in healthy human volunteers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.8956-8961, 2006.

MEZADRI, T. et al. Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.21, p.282-290, 2008.

MIRMIRAN, P. et al. Fruit and vegetable consumption and risk factors for cardiovascular disease. **Metabolism Clinical and Experimental**, v.58, p.460-468, 2009.

MOLLACE, V. et al. Hypolipemic and hypoglycaemic activity of bergamot polyphenols: from animal models to human studies. **Fitoterapia**, v.82, p.309-316, 2011.

MULLEN, W. et al. Ellagitannins, flavonoids and other phenolics in red raspberries and their contribution to antioxidant capacity and vasorelaxation properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, p.5191–5196, 2002.

NACHTIGALL, A. M. Determinação do teor de luteína em hortaliças. **B. CEPPA**, v.25, p.181-192, 2007.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, v.1054,p.95-111, 2004.

NOLAN, J. M. et al. Risk factors for age-related maculopathy are associated with a relative lack of macular pigment. **Experimental Eye Research**, v.84, p.61-74, 2007.

NORATTO, et al. Anticarcinogenic effects of polyphenolics from mango (*Mangifera indica*) varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.4104-4112, 2010.

OLIVEIRA, D. S. et al. Vitamina C, carotenóides, fenólicos totais e atividade antioxidante de goiaba, manga e mamão procedentes da Ceasa do Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum**, v.33, p.89-98, 2011.

ORNELAS-PAZ, J. J. et al. Bioconversion efficiency of b-carotene from mango fruit and carrots in vitamin A. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v.5, p.301-308, 2010.

OTCA – **Organização do Tratado de Cooperação Amazônica**. Exportaciones de camu-camu crecerían 79 % en el presente año, 2011. Disponível em: [www.otca.info/portal](http://www.otca.info/portal) - Acesso em: 05 jun 2012.

PADAYATTY, S. et al. Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. **Journal of the American College of Nutrition**, v.22, p.8–35, 2003.

PERRY, A.; RASMUSSEN, H.; JOHNSON, E. J. Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and corn and egg products. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.22, p.9-15, 2009.

PINEDO, R. A. **Estudo da estabilização da polpa de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) congelada visando a manutenção de ácido ascórbico e de antocianinas**. (2007). 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007.

PINELI, L. L. O. et al. Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.24, p.11-16, 2011.

PINTO, M. S.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch). **Food Chemistry**, v.107, p.1629-1635, 2008.

RAO, A. V.; RAO, L. G. Carotenoids and human health. **Pharmacological Research**, v.55, p.207-216, 2007.

REHRAH, D. et al. Enhanced cholesterol and triglyceride lowering effect of West African green tea. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.87, p.1323-1329, 2007.

REYNERTSON, K. A. et al. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. **Food Chemistry**, v.109, p.883-890, 2008.

RIBEIRO, P. F. A. et al. Benefits of blackberry nectar (*Rubus* spp.) relative to hypercholesterolemia and lipid peroxidation. **Nutrición Hospitalaria**, v.26, p.984-990, 2011.

ROCKENBACH, I. I. et al. Phenolic compounds and antioxidant activity of seed and skin extracts of red grape (*Vitis vinifera* and *Vitis labrusca*) pomace from Brazilian winemaking. **Food Research International**, v.44, p.897-901, 2011.

ROSILLO, M. A. et al. Protective effect of ellagic acid, a natural polyphenolic compound, in a murine model of Crohn's disease. **Biochemical Pharmacology**, v.82, p.737-745, 2011.

ROUTRAY, W.; ORSAT, V. Microwave-assisted extraction of flavonoids: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v.4, p.409-424, 2012.

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

SACHA, T. et al. The effect of  $\beta$ -carotene and its derivatives on cytotoxicity, differentiation, proliferative potential and apoptosis on the three human acute

leukemia cell lines: U-937, HL-60 and TF-1. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1740, p.206-214, 2005.

SAIGNE-SOULARD, C. et al.  $^{13}\text{C}$  NMR analysis of polyphenol biosynthesis in grape cells: Impact of various inducing factors. **Analytica Chimica Acta**, v.563, p.137-144, 2006.

SATO, Y. et al. Protective effect of lutein after ischemia-reperfusion in the small intestine. **Food Chemistry**, v.127, p.893-898, 2011.

SCHWERTZ, M. C. et al. Efeito hipolipêmico do suco de camu-camu em ratos. **Revista de Nutrição**, v.25, p.35-44, 2012.

SEERAM, N. P. et al. *In vitro* antiproliferative, apoptotic and antioxidant activities of punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract are enhanced in combination with other polyphenols as found in pomegranate juice. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v.16, p.360–367, 2005.

SEERAM, N. P. et al. Pomegranate juice ellagitannin metabolites are present in human plasma and some persist in urine for up to 48 hours. **The Journal of Nutrition**, v.136, p.2481–2485, 2006.

SELMA, M. V.; ESPIN, J. C.; TOMÁS-BARBERAN, F. A. Interaction between phenolics and gut microbiota role in human health. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.57, p.6485–6501, 2009.

SERRA, A. T. et al. Evaluation of cardiovascular protective effect of different apple varieties – Correlation of response with composition. **Food Chemistry**, v.135, p.2378-2386, 2012.

SHARMA, M. et al. Effects of fruit ellagitannin extracts, ellagic acid, and their colonic metabolite, urolithin A, on Wnt signaling. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.3965-3969, 2010.

SIQUEIRA, E. M. A. et al.  $\beta$ -Carotene from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves improves vitamin A status in rats. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.146, p.235-240, 2007.

SOERJOMATARAM, I. et al. Increased consumption of fruit and vegetables and future cancer incidence in selected European countries. **European Journal of Cancer**, v.46, p.2563-2580, 2010.

SONI, M. G. et al. Safety of vitamins and minerals: controversies and perspective. **Toxicological Sciences**, v.118, p.348-355, 2010.

SONG, Y. et al. Associations of dietary flavonoids with risk of Type 2 diabetes and markers of insulin resistance and systemic inflammation in women: a prospective study and cross-sectional analysis. **Journal of the American College of Nutrition**, v.24, p.376-384, 2005.

SOUZA, W. A.; VILAS-BOAS, O. M. G. C. A deficiência de vitamina A no Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v.12, p.173-179, 2002.

SOUZA, M. O. et al. Diet supplementation with açai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp improves biomarkers of oxidative stress and the serum lipid profile in rats. **Nutrition**, v.26, p.804-810, 2010.

STONER, G. D. et al. Multiple berry types prevent *N*-nitrosomethylbenzylamine-induced esophageal cancer in rats. **Pharmaceutical Research**, v.27, p.1138-1145, 2010.

STRINGHETA, P. C. et al. Luteína: propriedades antioxidantes e benefícios à saúde. **Alimentos e Nutrição**, v.17, p.229-238, 2006.

TALAULIKAR, V. S.; MANYONDA, I. T. Vitamin C as an antioxidant supplement in women's health: a myth in need of urgent burial. **European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology**, v.157, p.10-13, 2011.

TIWARI, A. K. Antioxidants: new-generation therapeutic base for treatment of polygenic disorders. **Current Science**, v.86, p.1092-1102, 2004.

VALDUGA, E. et al. Produção de carotenóides: microrganismos como fontes de pigmentos naturais. **Química Nova**, v.32, p.2429-2436, 2009.

VALENTE, A. et al. Ascorbic acid content in exotic fruits: A contribution to produce quality data for food composition databases. **Food Research International**, v.44, p.2237-2242, 2011.

VERRAX, J.; CALDERON, P. B. The controversial place of vitamin C in cancer treatment. **Biochemical Pharmacology**, v.76, p.1644-1652, 2008.

YAGI, A. et al. The effect of lutein supplementation on visual fatigue: A psychophysiological analysis. **Applied Ergonomics**, v.40, p.1047-1054, 2009.

YANG, C. S. et al. Inhibition of carcinogenesis by dietary polyphenolic compounds. **Annual Review of Nutrition**, v.21, p.381-406, 2001.

YEUM, K. J.; RUSSELL, R. M. Carotenoid bioavailability and bioconversion. **Annual Review of Nutrition**, v.22, p.483-504, 2002.

YU, Y. M. et al. Reduction of oxidative stress and apoptosis in hyperlipidemic rabbits by ellagic acid. **Journal of Nutrition and Biochemistry**, v.16, p.675-681, 2005.

YUAN, H. et al. Suppression of the androgen receptor function by quercetin through protein-protein interactions of Sp1, c-Jun, and the androgen receptor in human prostate cancer cells. **Molecular and Cellular Biochemistry**, v.339, p.253-262, 2010.

YUYAMA, K. et al. Variabilidade genética de camu-camu silvestre na Amazônia. **III SIRGEALC – Simpósio de Recursos Genéticos para a América Latina e Caribe**, p.459-461, 2001.

YUYAMA, K., AGUIAR, J. P. L., YUYAMA, L. K. O. Camu-camu: um fruto fantástico como fonte de vitamina C. **Acta Amazônica**, v.32, p.169-174, 2002.

YUYAMA, K. A cultura de camu-camu no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, p.1-2, 2011.

WANG, P. et al. Effects of quercetin on the apoptosis of the human gastric carcinoma cells. **Toxicology in Vitro**, v.26, p.221-228, 2012.

ZANATTA, C. F. et al. Determination of anthocyanins from camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS, and NMR. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p.9531-9535, 2005.

ZANATTA, C. F.; MERCADANTE, A. Z. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Food Chemistry**, v.101, p.1526-1532, 2007.

ZAWISTOWSKI, J.; KOPEC, A.; KITTS, D. D. Effects of a black rice extract (*Oryza sativa* L. indica) on cholesterol levels and plasma lipid parameters in Wistar Kyoto rats. **Journal of Functional Foods**, v.1, p.50-56, 2009.

ZHANG, L. et al. Inhibitory effect of raspberries on starch digestive enzyme and their antioxidant properties and phenolic composition. **Food Chemistry**, v.119, p.592-599, 2010.

## ARTIGO 2

### INFLUÊNCIA DE SUBSTÂNCIAS REDUTORAS NA DETERMINAÇÃO DE POLIFENÓIS TOTAIS EM DIFERENTES FRUTOS DE CAMU-CAMU

*(Myrciaria dubia)*

#### RESUMO

O objetivo desse trabalho foi estudar a interferência de substâncias redutoras (ácido ascórbico, açúcares e aminoácidos) na quantificação de polifenóis totais pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu em frutos de camu-camu cultivados em diferentes ambientes e com distinto estágio de maturação. As amostras foram avaliadas antes e depois de serem eluídas em cartucho C18 para a remoção dos interferentes. Frutos cultivados em ambiente seco e alagado, bem como em estágio verde e maduro de maturação, apresentaram menor ( $p < 0,05$ ) teor de polifenóis totais após a eluição no cartucho C18. A diferença de compostos fenólicos entre amostra bruta e purificada ficou em torno de 20 % para as duas condições avaliadas no estudo. As avaliações permitiram verificar que, entre os interferentes da técnica de polifenóis totais presentes no camu-camu, o efeito do ácido ascórbico é maior.

**Palavras-chave:** ácido ascórbico, açúcares, aminoácidos, Folin-Ciocalteu.

## 1 INTRODUÇÃO

Os compostos fenólicos são potentes antioxidantes encontrados na maioria dos vegetais. A funcionalidade dessas substâncias é decorrente das características de sua estrutura, que apresenta anel aromático com um ou mais grupamentos hidroxilas que liberam íons  $H^+$  responsáveis pela estabilização de radicais livres (ELISIA et al., 2007). Em virtude disso, é de grande interesse quantificar, de maneira precisa, o teor desses compostos nos alimentos.

Os métodos para a quantificação de compostos fenólicos podem ser classificados em determinação de fenólicos totais e quantificação individual ou de um grupo ou classe de composto fenólico (MOURE et al., 2001). O método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu é o mais comumente utilizado para a quantificação de polifenóis totais. Baseia-se na redução do ácido fosfomolibdico-fosfotúngstico pelas hidroxilas fenólicas, produzindo um complexo de coloração azul em meio alcalino. Entretanto, não é um método específico, pois a reação envolve todos os grupamentos fenólicos presentes no meio, além de substâncias redutoras adicionadas aos alimentos ou naturalmente presente nos mesmos, interferindo nos resultados (ANGELO e JORGE, 2007). Segundo NACZK e SHAHIDI (2004), o reagente de Folin-Ciocalteu é capaz de reduzir também substâncias como o ácido ascórbico, açúcares e alguns aminoácidos.

Na década de 80 já se mencionava a utilização do método de Folin-Ciocalteu, com eficiência, para a determinação de ácido ascórbico. JAGOTA e DANI (1982), ao observarem que o ácido ascórbico foi um interferente na determinação de proteínas através do reagente de Folin-Ciocalteu, resolveram utilizar a técnica para a quantificação do ácido ascórbico. Os autores verificaram que o ácido ascórbico, por ser uma substância de caráter redutor, pode ser estimado

através da reação com o reagente de Folin-Ciocalteu, utilizando a mesma técnica empregada na determinação de polifenóis totais. O estudo também mostrou que o reagente de Folin-Ciocalteu ainda pode ser utilizado na determinação de proteínas. Com isso, pode-se concluir que aminoácidos e proteínas de caráter redutor também podem ser interferentes da técnica de polifenóis totais.

O grande problema da determinação de polifenóis totais em camu-camu (*Myrciaria dubia*) é que muitos dos relatos publicados podem estar equivocados (MAEDA et al., 2006; GENOVESE et al., 2008; GONÇALVES et al., 2010; RUFINO et al., 2010; SILVA et al., 2012). A maioria das determinações não leva em consideração o elevado teor de ácido ascórbico que a fruta apresenta. Com isso, os valores de polifenóis totais descritos para o fruto podem estar superestimados. O camu-camu apresenta elevada quantidade de compostos fenólicos, muitas vezes acima de 1.000 mg ácido gálico equivalente•100 g<sup>-1</sup> de fruta (peso fresco) (GENOVESE et al., 2008; CHIRINOS et al., 2010; RUFINO et al., 2010). Ao mesmo tempo, também contém elevado teor de vitamina C (ácido ascórbico), o qual pode chegar até 6.000 mg•100 g<sup>-1</sup> de fruta (peso fresco) (MAEDA et al., 2007; RUFINO et al., 2010; VILLANUEVA-TIBURCIO et al., 2010).

Alguns estudos apontam teores de polifenóis totais muito mais elevados em camu-camu do que em outras frutas. Todavia, estes estudos não consideram a presença de interferentes. RUFINO et al. (2010) ao avaliarem diferentes frutas típicas brasileiras, dentre elas o açaí (*Euterpe oleracea*), o caju (*Anacardium occidentale*), a jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*), o jambolão (*Syzygium cumini*), a mangaba (*Hancornia speciosa*), o camu-camu e a acerola (*Malpighia emarginata*), apontaram que estes dois últimos foram as maiores fontes de polifenóis totais. Entretanto, essas também foram as maiores fontes de ácido ascórbico, fato não considerado nas

análises. Dessa forma, se tivesse sido removido o ácido ascórbico da amostra antes da determinação de polifenóis, os teores de polifenóis medidos para estes dois frutos provavelmente teriam sido menores, gerando uma diferença menos pronunciada com relação aos demais.

Nesse contexto, os objetivos desse trabalho foram, considerando frutos de camu-camu oriundos de diferentes sistemas de cultivo (seco e alagado) e em estádios de maturação distintos: estimar a concentração de vitamina C na forma de ácido ascórbico; estimar o teor de polifenóis totais pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu; e realizar novamente a estimativa do teor total de polifenóis após a remoção da vitamina C e demais interferentes (aminoácidos e açúcares) do material analisado, a fim de se avaliar a interferência desses compostos na quantificação dos polifenóis pelo método mencionado.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Coleta e preparo das amostras**

Foram investigados frutos provenientes de dois estados pertencentes à Amazônia Brasileira: Amazonas e Roraima. O camu-camu oriundo do Amazonas, cultivado em ambiente seco (solo sem inundação), foi coletado na Fazenda Yuricam, localizada no km 100 da rodovia AM-010, uma propriedade particular pertencente ao município de Rio Preto da Eva (latitude 2°41'56'' sul, longitude 59°42'00'' oeste), entre os meses de janeiro e fevereiro de 2011. O camu-camu de Roraima, cultivado em ambiente alagado (solo inundado), foi coletado as margens do médio Rio Branco, localizado 30 km a norte de Boa Vista (latitude 2°49'12'' norte, longitude 60°40'19'' oeste), em abril de 2011.

Os frutos provenientes do Amazonas (ambiente seco) foram coletados verdes e maduros, ambos caracterizados pela coloração da casca: verde para o fruto em estágio inicial de desenvolvimento e vermelho para o fruto maduro. Os frutos de Roraima (ambiente alagado) foram coletados apenas no estágio final da maturação. O estudo para observar o efeito da maturação na composição polifenólica do camu-camu foi realizado apenas com os frutos cultivados em ambiente seco (solo sem inundação) porque o acesso aos mesmos durante o seu ciclo vegetativo é mais fácil. Os frutos de cultivo alagado (solo inundado) tem seu acesso restrito, em virtude das cheias dos rios Amazônicos, onde parte de seus arbustos ficam submersos em água durante quase todo o período de desenvolvimentos dos frutos.

Em ambos os casos, os frutos foram provenientes de diferentes arbustos e coletados durante vários dias. No final da colheita, foram misturados com o objetivo de se formar uma única matriz de análise dentro de cada classe de camu-camu avaliada. Foram selecionados, descartando-se aqueles com injúrias mecânicas, lavados em água corrente, congelados em freezer ( $-18 \pm 1$  °C), e assim mantidos até a realização das análises.

Cada unidade experimental foi composta por 10 frutos escolhidos de forma aleatória. Para a análise dos frutos, as sementes foram separadas manualmente e o restante (polpa e casca) foi triturado em processador do tipo “mixer” (Dellar, modelo GOURMET DMX433, China).

## **2.2 Delineamento experimental e análise estatística**

O experimento foi conduzido segundo delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições. Os resultados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias de Tukey, ao nível de

probabilidade de 5 %, utilizando o programa estatístico SAS (Statistical Analysis System), versão 9.2, licenciado para a UFV em 2008.

### **2.3 Determinação de umidade**

As análises de umidade foram realizadas via método gravimétrico de secagem em estufa a 105 °C até peso constante, sendo os resultados expressos em % de umidade (AOAC, 2005).

### **2.4 Extração e quantificação de vitamina C (ácido ascórbico)**

A extração do ácido ascórbico dos frutos de camu-camu foi baseada em CAMPOS et al. (2009). O procedimento foi realizado com solução extratora composta de ácido metafosfórico 3 %, ácido acético 8 %, ácido sulfúrico 0,3 N e EDTA 1 mM. O material foi filtrado a vácuo, diluído para volume conhecido com água ultrapura e centrifugado por 15 minutos a 1789 g.

Uma alíquota de 2 mL do extrato foi filtrada em membrana filtrante HV Millex de polietileno, com 0,45 µm de porosidade. O ácido ascórbico foi analisado por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). As condições da análise foram: sistema CLAE, modelo Shimadzu, composto por bomba de alta pressão, modelo LC-10AT VP; injetor automático, com “loop” de 50 µL, modelo SIL-10 AF; coluna C18 de 5 µm e 250 mm x 4 mm; detector de arranjos de diodos UV-Visível, modelo SPD-M10A; software “Multi System” modelo Class VP 6.1 para controle de até quatro sistemas; fase móvel – água ultrapura contendo 1 mM de fosfato monobásico de sódio, 1 mM de EDTA e pH ajustado para 3,0 com ácido fosfórico; fluxo de 1 mL·min<sup>-1</sup>; volume de injeção de 20 µL; tempo de corrida de cinco minutos. Os cromatogramas foram lidos em comprimento de onda de 250 nm.

A concentração de ácido ascórbico foi estimada utilizando-se curva padrão de ácido ascórbico (Vetec – Brasil), conforme a área dos picos das amostras. Os resultados foram expressos em  $\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  de fruto.

## **2.5 Extração e quantificação dos compostos fenólicos**

### **2.5.1 Extração**

Os compostos fenólicos foram extraídos a partir de 10 g de fruta (polpa + casca) maceradas com 100 mL de solução aquosa de etanol 70 %. A suspensão foi deixada em repouso, na ausência de luz (frasco coberto com papel alumínio) e sob refrigeração ( $7 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ ), por 24 horas. O extrato final apresentou pH próximo a 2,0.

### **2.5.2 Purificação do extrato**

Para a determinação exata da quantidade de polifenóis as amostras foram eluídas em cartucho de separação C18 (Sep-Pak Vac 35cc – Waters) visando à remoção de interferentes da análise (ácido ascórbico, açúcares e aminoácidos) (NORATTO et al., 2010). Inicialmente o cartucho foi acondicionado com 50 mL de metanol acidificado (0,01 % de HCl) e 50 mL de água destilada. Após, uma alíquota de 20 mL do extrato de camu-camu foi eluída no cartucho de separação. Os interferentes foram removidos por meio da passagem de 100 mL de água destilada pelo cartucho, ficando os polifenóis adsorvidos no mesmo. O extrato polifenólico de camu-camu, livre de interferentes, foi eluído do cartucho com 50 mL de metanol (NORATTO et al., 2010).

### **2.5.3 Quantificação dos compostos fenólicos totais**

O teor de polifenóis totais foi estimado tanto no extrato “bruto” descrito no item 2.5.1, quanto no extrato após a remoção dos interferentes, descrito no item 2.5.2. As análises foram realizadas utilizando-se o reagente de Folin-Ciocalteu, de acordo com a metodologia espectrofotométrica (espectrofotômetro UV-1601 PC Shimadzu) proposta por SINGLETON e ROSSI (1965). A quantidade de polifenóis foi calculada com base em curva padrão de ácido gálico (Carlo Erba, Itália). As leituras de absorvância foram realizadas a 760 nm e o resultado expresso em mg AGE (ácido gálico equivalente) por 100 g de fruta.

### **2.6 Soluções de ácido ascórbico, aminoácidos e açúcares**

Foram preparadas através de dissolução dos compostos em água destilada. As soluções de aminoácidos foram obtidas a partir de água destilada acidificada com 5 % de ácido clorídrico. Os aminoácidos avaliados (cisteína, triptofano e tirosina) foram escolhidos com base nas suas estruturas compostas por anel fenólico e hidroxilas livres, típicas dos compostos fenólicos de origem vegetal. Os açúcares avaliados (glicose e frutose) foram escolhidos em virtude de serem os presentes em maior concentração no camu-camu.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Quantificação de vitamina C (ácido ascórbico) e polifenóis totais em frutos de camu-camu

##### 3.1.1 Influência do ambiente de cultivo

Na Tabela 1 estão os resultados das determinações de ácido ascórbico e polifenóis totais realizadas em frutos de camu-camu (polpa + casca) cultivados em diferentes ambientes (seco e alagado).

Tabela 1 – Teor de ácido ascórbico e compostos fenólicos totais em frutos de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (valores expressos em peso fresco)

Determinações	Ambiente Seco*	Ambiente Alagado**
	Fruto	Fruto
Umidade (%)	92,21 ± 0,06 <sup>a</sup>	91,79 ± 0,15 <sup>a</sup>
Ácido ascórbico (mg•100 g <sup>-1</sup> )	1.100,54 ± 18,7 <sup>a</sup>	945,70 ± 23,3 <sup>b</sup>
Compostos fenólicos totais (mg AGE•100 g <sup>-1</sup> )/amostra bruta	1.426,27 ± 5,9 <sup>aA</sup>	1.225,70 ± 84,5 <sup>bA</sup>
Compostos fenólicos totais (mg AGE•100 g <sup>-1</sup> )/amostra purificada***	1.180,42 ± 7,3 <sup>aB</sup>	978,14 ± 82,3 <sup>bB</sup>

\*Fruto produzido no Amazonas; \*\*Fruto produzido em Roraima; \*\*\*Livre de ácido ascórbico, açúcares e aminoácidos; AGE: ácido gálico equivalente; Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão; Comparações entre os frutos cultivados em diferentes ambientes (linha) são representadas por letras minúsculas e comparações entre os teores de compostos fenólicos totais do mesmo fruto (coluna) são representadas por letras maiúsculas; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância (p>0,05).

Os frutos, independente do tipo de cultivo, apresentaram elevados teores de ácido ascórbico (em torno de 1.000 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco), o que faz da fruta uma importante fonte de vitamina C. Os frutos cultivados em ambiente seco apresentaram teor de ácido ascórbico significativamente maior (p<0,05) (1.100,54 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco) que os frutos cultivados em ambiente alagado (945,70 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco).

O menor teor de ácido ascórbico nos frutos cultivados em ambiente alagado ( $945,70 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) pode ter ocorrido em função de uma menor radiação solar incidente na planta durante a sua frutificação. O efeito de sombreamento de um arbusto sobre o outro é maior no cultivo em ambiente alagado, visto que o desenvolvimento das frutíferas ocorre de forma desordenada e sem controle na beira dos rios. O contrário é observado no cultivo em ambiente seco, onde segundo YUYAMA (2011), todas as etapas do sistema produtivo são controladas, garantindo a qualidade final dos frutos.

Estudos realizados com o camu-camu mostram que os teores de ácido ascórbico ultrapassam as  $1.000 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de fruto (peso fresco). Esses valores muitas vezes ficam acima do relatado para a acerola, a qual foi considerada durante muito tempo a maior fonte de ácido ascórbico presente na dieta (Tabela 2).

Tabela 2 – Teor de ácido ascórbico em frutos de camu-camu (*Myrciaria dubia*) e acerola (*Malphigia ermaginata*) ( $\text{mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de fruto em peso fresco)

Fruto	Ácido ascórbico	Referência
Camu-camu	2.010	CHIRINOS et al. (2010)
	1.882	RUFINO et al. (2010)
	2.585	MAEDA et al. (2007)
	1.721	SILVA et al. (2006)
	3.571	YUYAMA et al. (2002)
Acerola	2.294	CARDOSO et al. (2011)
	1.357	RUFINO et al. (2010)
	677	MEZADRI et al. (2008)

Os frutos de camu-camu avaliados também apresentaram elevado conteúdo de compostos fenólicos totais. As análises dos extratos brutos de polifenóis indicaram aproximadamente  $1.430 \text{ mg AGE}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso fresco para frutos cultivados em ambiente seco e aproximadamente  $1.225 \text{ mg AGE}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso fresco

para frutos oriundos de ambiente alagado. Entretanto, quando se quantifica os compostos fenólicos no extrato após a remoção dos interferentes previamente mencionados, estes valores se reduzem a aproximadamente 1.180 e 970 mg AGE•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco, respectivamente.

O menor teor nos frutos de cultivo alagado pode ser pela exposição à água que os arbustos são submetidos quando o nível dos rios Amazônicos sobe, ficando grande parte do arbusto submersa nas margens dos mesmos. Pode ocorrer de o acúmulo de água ao redor da planta diminuir a temperatura da mesma. Consequentemente a produção de polifenóis pode ser menor, visto que, segundo NACZK e SHAHIDI (2004), o estresse térmico é um dos fatores responsáveis pela síntese dos mesmos nos frutos. Paralelo a esse fator, o efeito de sombreamento observado no cultivo alagado também pode influenciar, de forma negativa, a formação de compostos fenólicos no camu-camu.

### **3.1.2 Influência do estágio de maturação**

Na Tabela 3 são dados os resultados das determinações de ácido ascórbico e compostos fenólicos totais em frutos de camu-camu cultivados no mesmo ambiente, entretanto, em diferentes estádios de maturação.

Tabela 3 – Teores de ácido ascórbico e compostos fenólicos totais em frutos de camu-camu cultivados no mesmo ambiente e em diferentes estádios de maturação (100 g de amostra úmida)

Determinações	Ambiente Seco*	
	Fruto Verde	Fruto Maduro
Umidade (%)	92,3 ± 0,24 <sup>a</sup>	92,21 ± 0,06 <sup>a</sup>
Ácido ascórbico (mg•100 g <sup>-1</sup> )	1.022,65 ± 47,9 <sup>a</sup>	1.100,54 ± 18,7 <sup>a</sup>
Compostos fenólicos totais (mg AGE•100 g <sup>-1</sup> )/amostra bruta	1.145,70 ± 17,8 <sup>bA</sup>	1.426,27 ± 5,9 <sup>aA</sup>
Compostos fenólicos totais (mg AGE•100 g <sup>-1</sup> )/amostra purificada**	900,22 ± 10,8 <sup>bB</sup>	1180,42 ± 7,3 <sup>aB</sup>

\*Fruto produzido no Amazonas; \*\*Livre de ácido ascórbico, açúcares e aminoácidos; AGE: ácido gálico equivalente; Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão; Comparações entre os frutos cultivados no mesmo ambiente (linha) são representadas por letras minúsculas (linha) e comparações entre os teores de compostos fenólicos totais do mesmo fruto (coluna) são representadas por letras maiúsculas; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância (p>0,05).

Os frutos verdes apresentaram menor (p<0,05) teor de compostos fenólicos totais (900,22 mg AGE•100 g<sup>-1</sup>) quando comparados aos maduros (1.180,42 mg AGE•100 g<sup>-1</sup>), caracterizados pela coloração vermelha da casca. O teor de ácido ascórbico não variou estatisticamente (p>0,05) entre fruto verde e maduro. A diferença de compostos fenólicos é devida à presença das antocianinas, que fazem aumentar o teor de polifenóis totais dos frutos maduros. Os frutos verdes não contêm antocianinas, as quais aparecem no camu-camu em virtude de mudanças fisiológicas decorrentes do processo de maturação. A clorofila presente vai sendo degradada e dando lugar aos pigmentos antociânicos, que tornam o camu-camu vermelho no estágio intermediário e violeta no final da maturação (CHITARRA e CHITARRA, 2005; ZANATTA et al., 2005).

### **3.2 Avaliação da interferência de outros compostos na quantificação de polifenóis totais**

A quantificação de polifenóis totais em camu-camu é uma determinação que pode sofrer a interferência de diversas substâncias presentes no fruto. Na Tabela 1 é possível verificar que a quantificação de compostos fenólicos totais no camu-camu é bastante suscetível, principalmente, à presença do ácido ascórbico. Ao se avaliar o teor de compostos fenólicos totais em amostra eluída em cartucho C18, é possível perceber que, em relação à amostra bruta, os valores são 17 e 20 % menores em ambos os frutos investigados (cultivo seco e alagado). O mesmo foi observado quando foram avaliados frutos de camu-camu em diferentes estádios de maturação (Tabela 3). Em relação à amostra bruta (não eluída em cartucho C18), os teores de polifenóis totais são 21 e 17 % menores para os frutos verdes e maduros. Esses percentuais, se não levados em consideração no momento da quantificação, são contabilizados como polifenóis totais, superestimando o resultado final que sofre um acréscimo em torno de 250 mg de AGE•100 g<sup>-1</sup> de fruto.

Como previamente mencionado, uma das grandes limitações do método espectrofotométrico do reagente de Folin-Ciocalteu é a capacidade que ele tem de detectar compostos fenólicos, além de contabilizar também outras substâncias de caráter redutor, como ácido ascórbico, aminoácidos e açúcares (NACZK e SHAHIDI, 2004). Alguns pesquisadores já chamaram a atenção para a problemática. Por exemplo, CHIRINOS et al. (2010) consideraram este fato ao avaliar o teor total de polifenóis em camu-camu. A metodologia realizada pelos autores incluiu a eluição da amostra em cartucho C18 antes da quantificação de compostos fenólicos. O procedimento proporcionou a remoção de interferentes, restando apenas os compostos fenólicos. Com isso, os autores garantiram a veracidade da determinação.

A Tabela 4 representa os resultados de avaliações realizadas em soluções aquosas de ácido ascórbico, aminoácidos (cisteína, triptofano e tirosina) e açúcares (frutose e glicose) pela técnica de quantificação de compostos fenólicos totais através do reagente de Folin-Ciocalteu.

Tabela 4 – Determinação do teor de ácido ascórbico, aminoácidos e açúcares pela técnica espectrofotométrica do reagente de Folin-Ciocalteu\*

Composto	Teor (mg AGE•L <sup>-1</sup> )**
Ácido ascórbico (100 mg•L <sup>-1</sup> )	65,42 ± 1,07
Cisteína (100 mg•L <sup>-1</sup> )	21,56 ± 0,12
Triptofano (100 mg•L <sup>-1</sup> )	99,97 ± 0,13
Tirosina (100 mg•L <sup>-1</sup> )	107,84 ± 0,42
Frutose (300 mg•L <sup>-1</sup> )	0,68 ± 0,13
Glicose (300 mg•L <sup>-1</sup> )	0,57 ± 0,07
Glicose (2000 mg•L <sup>-1</sup> )	0,72 ± 0,00

\*Técnica descrita no item 2.5.2; \*\*Valores determinados com base em curva padrão de ácido gálico; AGE: ácido gálico equivalente; Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão.

Os resultados permitiram inferir que o ácido ascórbico e os aminoácidos avaliados (cisteína, triptofano e tirosina) são passíveis de serem detectados como se fossem polifenóis totais, quando se aplica o método de Folin-Ciocalteu. O aminoácido cisteína mostrou exercer menos interferência (21,56 mg AGE•L<sup>-1</sup> de solução) que a tirosina e o triptofano (107,84 e 99,97 mg AGE•L<sup>-1</sup> de solução, respectivamente). As variações podem ser decorrentes, principalmente, da presença de anéis aromáticos na estrutura dos dois últimos aminoácidos, conforme a Figura 1.

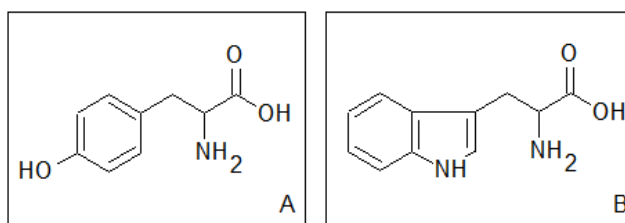


Figura 1 – Estrutura química dos aminoácidos tirosina (A) e triptofano (B).

Em relação às soluções de açúcares (frutose e glicose), os resultados foram menos expressivos, mesmo quando se avaliou uma solução de  $2.000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de glicose (Tabela 4). Isto indica que essas substâncias são os interferentes menos potentes da técnica de polifenóis totais.

AKTER et al. (2011), em uma revisão sobre o fruto, apontaram que os aminoácidos serina, valina e leucina são os mais abundantes no camu-camu, totalizando um teor de proteínas na faixa de  $400 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de fruto/peso fresco. O aminoácido serina apresenta uma hidroxila livre em sua estrutura (-OH), enquanto que a valina e a leucina apresentam cadeia lateral composta apenas por carbono e hidrogênio (Figura 2).

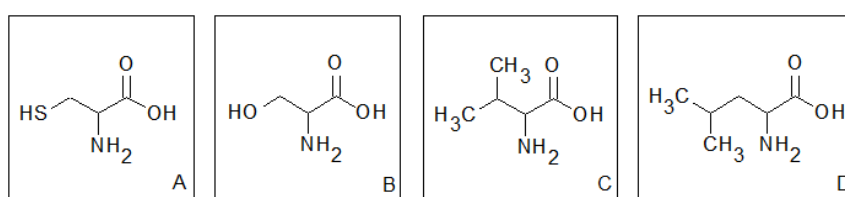


Figura 2 – Estrutura química dos aminoácidos cisteína (A), serina (B), valina (C) e leucina (D).

Com isso, é provável que a interferência causada pelos aminoácidos do camu-camu na quantificação de polifenóis totais seja em maior escala ocasionada pela serina. Esta por sua vez, possui estrutura química similar à da cisteína, a qual

apresenta em sua cadeia lateral o grupamento tiol (-SH) como contribuinte do poder redutor da substância (Figura 2). Entretanto, é possível que a serina contida no camu-camu exerça uma influência menor sobre a técnica de polifenóis totais que a determinada nesse trabalho para cisteína (21,56 mg AGE•L<sup>-1</sup> de solução). Esta última, segundo MENDONÇA et al. (2010), por conter um grupo tiol em sua estrutura, apresenta um poder redutor maior que a serina, que contém uma hidroxila. Com isso, a serina tem menor capacidade redutora dos ácidos presentes no reagente de Folin-Ciocalteu.

Quanto aos açúcares, os presentes em maior proporção no camu-camu são glicose e frutose, num teor de 820 e 950 mg•100g<sup>-1</sup>/peso fresco, respectivamente (AKTER et al., 2011). Entretanto, independente do conteúdo de glicose e frutose presente no camu-camu, os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que a interferência desses compostos na detecção de polifenóis totais é menos expressiva que aquela provocada pelos aminoácidos.

Nesse contexto, os testes realizados nos permitiram verificar que, em relação ao camu-camu, a interferência causada pelo ácido ascórbico é majoritária. Uma das hipóteses que sustentam essa afirmativa é o fato de que o composto está presente em maior proporção no fruto, quando comparado aos demais interferentes (aminoácidos e açúcares) relacionados à técnica de polifenóis totais. Outra hipótese é a de que a intensidade da resposta do ácido ascórbico pela técnica quantitativa de polifenóis totais, através do reagente de Folin-Ciocalteu, é maior que aquela gerada por igual quantidade de moléculas de aminoácidos e açúcares presentes no camu-camu (Tabela 4).

#### 4 CONCLUSÃO

Os frutos de camu-camu cultivados em ambiente seco apresentaram maior teor de ácido ascórbico e polifenóis totais em relação aos frutos de ambiente alagado. Quanto ao estágio de maturação, frutos maduros apresentaram maior teor de polifenóis totais, enquanto que o conteúdo de ácido ascórbico não variou estatisticamente ( $p > 0,05$ ).

Outra contribuição do estudo foi ter mostrado que substâncias de caráter redutor como, ácido ascórbico e certos aminoácidos, são interferentes na quantificação de polifenóis totais em camu-camu. O ácido ascórbico exerce interferência ainda mais pronunciada. A ordem de grandeza de interferência desses compostos foi de  $250 \text{ mg AGE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ . Os açúcares presentes no camu-camu (glicose e frutose) não interferem de forma significativa na quantificação de polifenóis totais.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKTER, M. S. et al. Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. **Food Research International**, v.44, p.1728-1732, 2011.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.66, p.232-240, 2007.

AOAC – Association Of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 18. ed. Gaithersburg, M.D, USA, 2005.

CAMPOS, F. M. et al. Optimization of methodology to analyze ascorbic and dehydroascorbic acid in vegetables. **Química Nova**, v.32, p.87–91, 2009.

CARDOSO, P. C. et al. Vitamin C and carotenoids in organic and conventional fruits grown in Brazil. **Food Chemistry**, v.126, p.411-416, 2011.

CHIRINOS, R. et al. Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturity stages. **Food Chemistry**, v.120, p.1019-1024, 2010.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de Frutos e Hortaliças: Fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

ELISIA, I. et al. Antioxidant assessment of an anthocyanin-enriched blackberry extract. **Food Chemistry**, v.101, p.1052-1058, 2007.

GENOVESE, M. I. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits and commercial frozen pulps from Brazil. **Food Science and Technology International**, v.14, p.207-214, 2008.

GONÇALVES, A. E. S. S.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Chemical composition and antioxidant/antidiabetic potential of brazilian native fruits and commercial frozen pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.4666-4674, 2010.

JAGOTA, S. K.; DANI, H. M. A new colorimetric technique for the estimation of vitamin C using folin phenol reagent. **Analytical Biochemistry**, v.127, p.178-182, 1982.

MAEDA, R. N. et al. Determinação da formulação e caracterização do néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, p.70-74, 2006.

MAEDA, R. N. et al. Estabilidade de ácido ascórbico e antocianinas em néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H. B. K.) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.313-316, 2007.

MEZADRI, T. et al. Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives. **Journal of Food Composition Analysis**, v.21, p.282-290, 2008.

MENDONÇA, G. L. F. et al. Serina, cisteína e metionina como inibidores de corrosão do aço carbono em meio ácido. In: Reunião Annual da Sociedade Brasileira de Química, 33., 2010, Águas de Lindóia. **Anas Eletrônicos...**, Águas de Lindóia: SBQ, 2010. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cdrom/33ra/>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

MOURE, A. et al. Natural antioxidants from residual sources. **Food Chemistry**, v.72, p.145-71, 2001.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, v.1054, p.95-111, 2004.

NORATTO, G. D. et al. Anticarcinogenic effects of polyphenolics from mango (*Mangifera indica*) varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.4104-4112, 2010.

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

SAS, Statistical Analysis System (SAS®), SAS software versão 9.2, Cary, 2008. 176p.

SILVA, M. A.; SOBRAL, P. J. A.; KIECKBUSCH, T. G. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. **Journal of Food Engineering**, v.77, p.426-432, 2006.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p.144–158, 1965.

VILLANUEVA-TIBURCIO, J. E.; CONDEZO-HOYOS, L. A.; ASQUIERI, E. R. Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, p.151-160, 2010.

YUYAMA, K., AGUIAR, J. P. L., YUYAMA, L. K. O. Camu-camu: um fruto fantástico como fonte de vitamina C. **Acta Amazônica**, v.32, p.169-174, 2002.

YUYAMA, K. A cultura de camu-camu no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, p.1-2, 2011.

ZANATTA, C. F. et al. Determination of anthocyanins from camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS, and NMR. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p.9531-9535, 2005.

### ARTIGO 3

## INFLUÊNCIA DO TIPO DE CULTIVO E DO ESTÁDIO DE MATURAÇÃO SOBRE OS COMPOSTOS ANTIOXIDANTES DE FRUTOS E CASCAS DE CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*)

### RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar os teores de polifenóis e antocianinas totais, ácido elágico (livre e total), bem como a capacidade antioxidante *in vitro* de cascas e frutos descaroçados de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (seco e alagado) e em diferentes estádios de maturação (verde e maduro). Os frutos de ambiente seco apresentaram maiores teores ( $p < 0,05$ ) de polifenóis, antocianinas e ácido elágico total, assim como de capacidade antioxidante. Os frutos de ambiente alagado apenas apresentaram maior teor de ácido elágico livre ( $p < 0,05$ ). As cascas, em relação aos frutos, independente do ambiente de cultivo, apresentaram menores concentrações de polifenóis totais e capacidade antioxidante ( $p < 0,05$ ). Entretanto, o teor de antocianinas totais foi maior. Quanto aos teores de ácido elágico livre e total não houve variação ( $p > 0,05$ ). Os frutos verdes apresentaram menor teor de polifenóis totais e capacidade antioxidante que os maduros. No entanto, os valores de ácido elágico livre e total foram maiores. Quanto à casca, a atividade antioxidante e o teor de polifenóis totais foram menores na mesma. Entretanto, o conteúdo de ácido elágico livre foi maior, quando comparado ao fruto inteiro.

**Palavras-chave:** polifenóis, ácido elágico, antocianinas, cultivo seco, cultivo alagado.

## 1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica se destaca pela grande biodiversidade de frutos com diferentes composições nutricionais e bioativas. O Brasil possui um grande número de espécies nativas de sabor exótico, com destaque para o açaí (*Euterpe oleracea*), o camu-camu (*Myrciaria dubia*), o tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), a graviola (*Annona muricata* L.) e outros (GENOVESE et al., 2008; YUYAMA et al., 2008; RUFINO et al., 2010; VIDIGAL et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012). O interesse no estudo de frutas exóticas tem ocorrido, principalmente, em virtude do crescente reconhecimento do valor terapêutico desses alimentos. Ao mesmo tempo, o potencial dos mesmos para a agroindústria chama a atenção da comunidade como uma possível fonte de renda para a população local (ALVES et al., 2008).

O camu-camu (*Myrciaria dubia*), pertencente à família *Myrtaceae*, é um arbusto originário da Amazônia Brasileira e Peruana. Seu habitat natural é à beira de rios e igarapés ou regiões permanentemente alagadas, onde a parte inferior de seu caule permanece submersa. O Brasil vem tentando domesticar a cultura, buscando adaptar a mesma ao cultivo em áreas secas (solo sem inundação), visto que são muitos os entraves da produção em ambientes alagados. Estudos vêm sendo conduzidos nesse sentido, buscando ampliar as áreas de cultivo e com isso, aumentar a produção e a qualidade dos frutos, visto que em regiões alagadas estes parâmetros tendem a diminuir (ZANATTA et al., 2005; ZANATTA e MERCADANTE, 2007).

Seu principal atrativo são os frutos com elevado teor de vitamina C (ZANATTA e MERCADANTE, 2007). Entretanto, estes também apresentam alto conteúdo de polifenóis, substâncias que chamam a atenção pela elevada capacidade antioxidante que conferem aos alimentos que os contém (GONÇALVES et al.,

2010). Os frutos são arredondados e possuem coloração roxo-escuro ao final da maturação. Esta coloração se deve à presença de antocianinas, que estão concentradas em maior proporção na casca do fruto (ZANATTA et al., 2005). Além disso, estudos mostram que a casca, em relação ao restante do fruto (polpa), também pode apresentar maior concentração de outras substâncias bioativas, como compostos fenólicos não antociânicos (VILLANUEVA-TIBURCIO et al., 2010). Em função disso e da dificuldade de separar a casca da polpa, o camu-camu geralmente é consumido e processado sem ser descascado.

Entretanto, a composição dos frutos pode variar conforme o tipo de cultivo, a região de produção, o solo, o clima e as técnicas de manejo (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Com isso, variações no teor de alguns nutrientes e compostos bioativos podem vir a ocorrer. Da mesma forma, modificações em função do estágio de maturação também podem alterar a composição dos frutos (CHIRINOS et al., 2010). Quando não está maduro, ou seja, quando está no seu estágio inicial de desenvolvimento, o camu-camu apresenta uma coloração verde. Esta, durante o processo de amadurecimento, evolui para o vermelho e roxo, devido à formação de antocianinas. Em função disso, mudanças no conteúdo e perfil dos compostos bioativos tem sido reportadas (CHIRINOS et al., 2010; VILLANUEVA-TIBURCIO et al., 2010).

Assim, a investigação das modificações que podem ocorrer na composição dos frutos devido a fatores como tipo de cultivo e maturação é importante para que se possam extrapolar os limites de produção, comercialização e consumo dos mesmos. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar, comparativamente, os teores de polifenóis totais, antocianinas totais e ácido elágico (livre e total) de cascas e frutos descascados de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (seco e alagado) e

com diferentes estádios de maturação, bem como a atividade antioxidante *in vitro* dos mesmos.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Coleta e preparo das amostras**

Foram investigados frutos provenientes de dois estados da Amazônia Brasileira: Amazonas e Roraima. O camu-camu oriundo do Amazonas, cultivado em ambiente seco, foi coletado na Fazenda Yuricam, localizada no km 100 da rodovia AM-010, uma propriedade particular pertencente ao município de Rio Preto da Eva (latitude 2°41'56'' sul, longitude 59°42'00'' oeste). Os frutos foram colhidos entre os meses de janeiro e fevereiro de 2011. O camu-camu de Roraima, cultivado em ambiente alagado, foi coletado as margens do médio Rio Branco, localizado 30 km a norte de Boa Vista (latitude 2°49'12'' norte, longitude 60°40'19'' oeste), em abril de 2011. Os frutos provenientes do Amazonas (ambiente seco) foram coletados verdes e maduros, ambos caracterizados conforme a coloração da casca: verde para o fruto em estágio inicial de desenvolvimento e vermelho para o fruto maduro. Os frutos de Roraima (ambiente alagado) foram coletados apenas maduros. O estudo para observar o efeito da maturação na composição do camu-camu foi realizado apenas com os frutos de cultivo em ambiente seco porque o acesso aos mesmos durante o seu ciclo vegetativo é mais fácil. Os frutos de cultivo alagado tem seu acesso restrito, em virtude das cheias dos rios Amazônicos, que cobrem parte dos arbustos de camu-camu durante quase todo o período de desenvolvimentos dos frutos.

Em ambos os casos, os frutos foram provenientes de diferentes arbustos e coletados em diferentes dias, sendo ao final da colheita, misturados formando-se uma única matriz de análise dentro de cada classe de camu-camu avaliada. Foram

selecionados, descartando-se aqueles com injúrias mecânicas, lavados em água corrente, congelados em freezer ( $-18 \pm 1$  °C), e assim mantidos até a realização das análises.

Cada unidade experimental foi composta por 10 frutos escolhidos de forma aleatória. Para análise dos frutos descaroçados, as sementes foram separadas manualmente e o restante (polpa + casca) foi triturado em processador do tipo “mixer” (Dellar, modelo GOURMET DMX433, China). Para a análise das cascas, as mesmas foram separadas manualmente dos frutos e trituradas, utilizando-se o mesmo equipamento.

## **2.2 Delineamento experimental e análise estatística**

O experimento foi conduzido segundo delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições. Os resultados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias de Tukey, ao nível de probabilidade de 5 %. O programa estatístico utilizado foi o SAS (Statistical Analysis System), versão 9.2, licenciado para a UFV em 2008.

## **2.3 Determinação das características físicas**

As características físicas dos frutos de camu-camu foram avaliadas conforme MAEDA et al. (2006). As partes tissulares de cada fruto (polpa, casca e semente) foram separadas manualmente e pesadas em balança analítica.

## **2.4 Determinação de umidade**

As análises de determinação de umidade foram realizadas via método gravimétrico de secagem em estufa a 105 °C até peso constante. Os resultados foram expressos em % de umidade (AOAC, 2005).

## **2.5 Extração e quantificação de polifenóis e antocianinas totais**

A extração dos polifenóis e das antocianinas das cascas e dos frutos descaroçados de camu-camu foi realizada a partir de 10 g de amostra maceradas com 100 mL de solução aquosa de etanol 70 %. A suspensão foi deixada em repouso na ausência de luz (frasco coberto com papel alumínio) por 24 horas e sob refrigeração ( $7 \pm 1$  °C). O extrato final ficou com pH próximo de 2,0.

### **2.5.1 Polifenóis totais**

O teor de polifenóis totais foi estimado utilizando-se o reagente de Folin-Ciocalteu, de acordo com a metodologia espectrofotométrica proposta por SINGLETON e ROSSI (1965). Para a determinação exata da quantidade de polifenóis as amostras foram primeiramente eluídas em cartucho de separação C18 (Sep-Pak Vac 35cc – Waters) visando à remoção de interferentes da análise, como ácido ascórbico, açúcares e aminoácidos. Inicialmente o cartucho foi acondicionado com 50 mL de metanol acidificado (0,01 % de HCl) e 50 mL de água destilada. Após, uma alíquota de 20 mL do extrato de camu-camu foi eluída no cartucho de separação. Os interferentes foram removidos por meio da passagem de 100 mL de água destilada pelo cartucho, enquanto que os polifenóis ficaram adsorvidos no mesmo. O extrato polifenólico de camu-camu, livre de interferentes, foi eluído com 50 mL de metanol (NORATTO et al., 2010).

A determinação de polifenóis totais foi realizada com base em curva padrão de ácido gálico (Carlo Erba, Itália). As leituras foram realizadas a 760 nm (espectrofotômetro UV-1601 PC Shimadzu) e o resultado expresso em mg AGE (ácido gálico equivalente) por 100 g de fruto descaroçado ou casca.

### **2.5.2 Antocianinas totais**

O teor de antocianinas totais foi determinado pelo método espectrofotométrico de pH único, de acordo com LEES e FRANCIS (1972). As leituras foram realizadas a 535 nm e o resultado expresso em mg de cianidina-3-glicosídeo por 100 g de fruto descaroçado ou casca.

### **2.6 Extração e quantificação de ácido elágico livre**

A extração e quantificação de ácido elágico livre nas cascas e frutos descaroçados de camu-camu foram realizadas conforme PINTO et al. (2008) com modificações. As amostras (5 g) foram extraídas com uma mistura de metanol/água/ácido acético (70:30:5 v/v) na proporção de 1:25 (m/v), utilizando-se Ultra-Turrax por um minuto em velocidade 5, sendo a mistura filtrada em papel de filtro Whatman nº 6. Os extratos foram concentrados em rotaevaporador a 40 °C até um volume de aproximadamente 20 mL. O volume foi ajustado com água, em balão volumétrico, até 25 mL e depois, passado em cartucho de separação C18 (Sep-Pak Vac 35cc – Waters). O cartucho foi pré-acondicionado com 50 mL de metanol e 100 mL de água. Após a passagem dos extratos, o cartucho foi lavado com 200 mL de água, seguido de 200 mL de metanol para a eluição do ácido elágico livre. Por último, a amostra foi seca através de rotaevaporação (40 °C), ressuspensa em 1 mL

de metanol e filtrada em filtro de polietileno com membrana PTFE (Millipore) de 0,45  $\mu\text{m}$ .

A quantificação do ácido elágico livre foi por Cromatográfica Líquida de Alta Eficiência (CLAE), utilizando-se coluna C18 de 5  $\mu\text{m}$  (250 x 4,6 mm) em fase reversa e detector UV-Visível (Shimadzu SPD – 10 AV). A fase móvel foi em gradiente de solventes constituído por: A – água:tetrahidrofurano:ácido trifluoroacético (98:2:0,1 v/v) e B – acetonitrila, na proporção de 17 % de B por 2 minutos aumentando para 25 % de B após 5 minutos, 35 % de B após mais 8 minutos e 50 % de B após mais 5 minutos. O fluxo foi de 1 mL•min a 25 °C. Os cromatogramas foram lidos no comprimento de onda de 254 nm e o teor de ácido elágico livre foi determinado por meio de curva padrão de ácido elágico (Sigma Aldrich – St. Louis, MO, EUA).

## **2.7 Extração e quantificação de ácido elágico total**

A extração e quantificação de ácido elágico total foi realizada de acordo com PINTO et al. (2008), com modificações. As amostras (3 g) de casca e fruto descaroçado de camu-camu foram homogeneizadas com 50 mL de acetona 80 % (v/v), utilizando-se Ultra-Turrax por um minuto em velocidade 5. Os extratos foram filtrados em papel de filtro Whatman nº 6. Uma alíquota de 4 mL do extrato foi transferida para balão de fundo redondo, evaporada até secagem completa em evaporador analítico e hidrolisada com 4 mL de TFA (ácido trifluoroacético) 2 N a 120 °C por 60 minutos. Após a hidrólise, foram adicionados 4 mL de álcool butílico e o extrato foi novamente evaporado. Após a secagem, foi ressuscendido com 1 mL de metanol e filtrado em filtros de polietileno com membrana PTFE (Millipore) de 0,45  $\mu\text{m}$ . A quantificação do teor de ácido elágico total foi realizada por

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), conforme protocolo descrito no item 2.6.

## **2.8 Capacidade antioxidante *in vitro***

Foram utilizados os extratos elaborados a partir das cascas e frutos descaroçados de camu-camu, conforme o item 2.5. A avaliação foi realizada através do ensaio TEAC (Capacidade antioxidante equivalente ao Trolox) utilizando os radicais ABTS (2,2'-azinobis-3-etil-benzotiazolína-6-sulfonado) e DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), segundo metodologias descritas por RE et al. (1999), com modificações. Para ambos os métodos, foi construída uma curva analítica com o antioxidante padrão Trolox (ácido 2-carboxílico-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano) (Sigma Aldrich – St. Louis, MO, EUA) e diluições das amostras foram realizadas para a elaboração de uma curva de amostra. A mesma foi contrastada com a curva do padrão, e os resultados foram expressos em  $\mu\text{M}$  equivalente de Trolox por grama de amostra (casca ou fruto descaroçado).

A reação das amostras com o cátion ABTS ocorreu na proporção 0,5:3,5 mL, respectivamente, sendo as leituras espectrofotométricas realizadas após 6 minutos (RE et al., 1999), no comprimento de onda de 734 nm.

Para a reação com o DPPH, amostra e radical reagiram nas mesmas proporções citadas para o ABTS, entretanto, o tempo de reação estabelecido foi de 25 minutos, valor obtido após um estudo de cinética realizado entre as amostras e o radical (Figura 1). O comprimento de onda utilizado foi de 517 nm.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Influência do tipo de cultivo

Na Tabela 1 encontram-se os resultados da caracterização física realizada em frutos de camu-camu (*Myrciaria dubia*) cultivados em diferentes ambientes. Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os dados de compostos antioxidantes e capacidade antioxidante *in vitro* de frutos descaroçados e cascas de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (seco e alagado).

Tabela 1 – Características físicas de frutos de camu-camu cultivados em diferentes ambientes

	Umidade (%)	Ambiente seco*	Umidade (%)	Ambiente alagado**
Fruto (g)	92,21 ± 0,06 <sup>a</sup>	8,43 ± 1,03 <sup>A</sup>	91,79 ± 0,15 <sup>a</sup>	8,98 ± 0,21 <sup>A</sup>
Polpa (g)	93,4 ± 0,13 <sup>a</sup>	4,41 ± 1,02 <sup>A</sup>	93,12 ± 0,21 <sup>a</sup>	4,46 ± 0,13 <sup>A</sup>
Casca (g)	86,20 ± 0,50 <sup>a</sup>	1,75 ± 0,23 <sup>A</sup>	86,70 ± 0,08 <sup>a</sup>	1,86 ± 0,09 <sup>A</sup>
Semente (g)	ND	2,17 ± 0,14 <sup>A</sup>	ND	2,41 ± 0,02 <sup>A</sup>

\*Fruto produzido no Amazonas; \*\*Fruto produzido em Roraima; Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão; Comparações entre os percentuais de umidade de cada parte do fruto são representadas por letras minúsculas e comparações entre os tipos de cultivos, para cada parte do fruto, são representadas por letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância ( $p > 0,05$ ); ND: não determinado.

Tabela 2 – Teor de compostos antioxidantes em frutos descaroçados e cascas de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (valores expressos em 100 g de amostra seca)

Determinações	Cultivo em ambiente seco*		Cultivo em ambiente alagado**	
	Fruto descaroçado	Casca	Fruto descaroçado	Casca
Umidade (%)	92,21 ± 0,06 <sup>aA</sup>	86,20 ± 0,50 <sup>B</sup>	91,79 ± 0,15 <sup>aA</sup>	86,70 ± 0,08 <sup>B</sup>
Polifenóis totais (mg AGE•100 g <sup>-1</sup> )	14.749,93 ± 5,51 <sup>aA</sup>	13.348,97 ± 99,94 <sup>B</sup>	12.216,84 ± 85,02 <sup>bA</sup>	10.611,08 ± 130,36 <sup>B</sup>
Ácido elágico livre (mg•100 g <sup>-1</sup> )	17,75 ± 1,57 <sup>bA</sup>	18,13 ± 1,06 <sup>A</sup>	27,50 ± 3,54 <sup>aA</sup>	28,71 ± 1,21 <sup>A</sup>
Ácido elágico total (mg•100 g <sup>-1</sup> )	425,44 ± 23,47 <sup>aA</sup>	472,80 ± 30,96 <sup>A</sup>	348,31 ± 40,22 <sup>bA</sup>	357,29 ± 118,29 <sup>A</sup>
Antocianinas totais (mg de cianidina-3-glicosídeo•100 g <sup>-1</sup> )	209 ± 5,02 <sup>aB</sup>	223,14 ± 6,89 <sup>A</sup>	158,86 ± 1,20 <sup>bB</sup>	171,87 ± 5,37 <sup>A</sup>

\*Fruto produzido no Amazonas (maduro); \*\*Fruto produzido em Roraima (maduro); AGE: ácido gálico equivalente; Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão; Comparações entre os frutos de diferente cultivo são representadas por letras minúsculas e comparações fruto vs casca, do mesmo cultivo, são representadas por letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (p>0,05).

Tabela 3 – Capacidade antioxidante *in vitro* de frutos descaroçados e cascas de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (valores expressos em um grama de amostra seca)

Amostra	ABTS	DPPH
Fruto de ambiente seco ( $\mu\text{M}$ equivalente de Trolox $\cdot\text{g}^{-1}$ )*	1.418,25 $\pm$ 17,65 <sup>aA</sup>	1.520,45 $\pm$ 112,79 <sup>aA</sup>
Casca ( $\mu\text{M}$ equivalente de Trolox $\cdot\text{g}^{-1}$ )	1.370,64 $\pm$ 30,36 <sup>A</sup>	1.328,50 $\pm$ 14,40 <sup>B</sup>
Fruto de ambiente alagado ( $\mu\text{M}$ equivalente de Trolox $\cdot\text{g}^{-1}$ )**	1.209,08 $\pm$ 65,66 <sup>bA</sup>	1.124,37 $\pm$ 29,12 <sup>bA</sup>
Casca ( $\mu\text{M}$ equivalente de Trolox $\cdot\text{g}^{-1}$ )	997,07 $\pm$ 16,44 <sup>B</sup>	978,64 $\pm$ 10,93 <sup>B</sup>

\*Fruto produzido no Amazonas; \*\*Fruto produzido em Roraima; Os valores representam a média de 3 repetições  $\pm$  desvio padrão; Comparações entre os frutos de diferentes cultivos são representadas por letras minúsculas e comparações fruto vs casca, do mesmo cultivo, são representadas por letras maiúsculas; Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância ( $p > 0,05$ ).

Na Figura 1 estão apresentados os gráficos das cinéticas das reações entre o radical DPPH e as amostras de fruto descaroçado e casca de camu-camu cultivado em diferentes ambientes (seco e alagado) e em diferentes estádios de maturação (verde e maduro). O tempo de reação para todas as amostras, independente do tipo de cultivo e do estágio de maturação foi de 25 minutos.

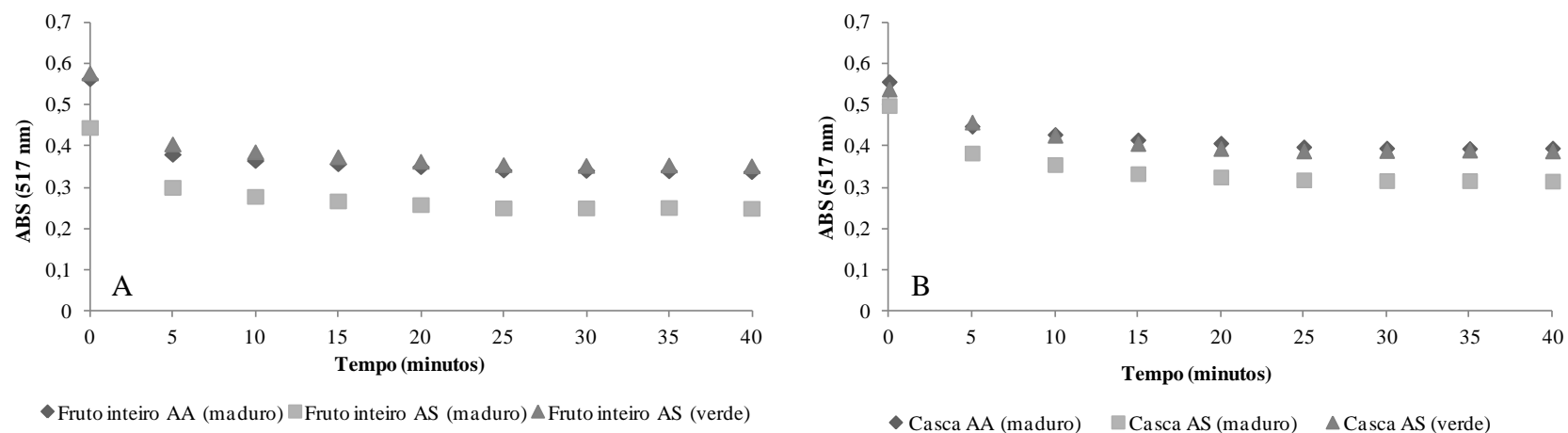


Figura 1 – Cinética da reação de DPPH: A – fruto descaroçado de camu-camu cultivado em ambiente alagado (AA) e seco (AS); B – casca de camu-camu cultivado em ambiente alagado (AA) e seco (AS).

### **3.1.1 Ambiente seco (solo sem inundação)**

#### **3.1.1.1 Fruto descarado**

Os frutos cultivados em ambiente seco apresentaram, estatisticamente ( $p > 0,05$ ), o mesmo cont eudo de polpa, casca e semente que os cultivados em ambiente alagado (Tabela 1). Em rela o   avalia o individual, em média, os frutos cultivados em ambiente seco cont m 52 % de polpa, 21 % de casca e 26 % de semente.

Quanto aos compostos antioxidantes, apresentaram maior ( $p < 0,05$ ) cont eudo de polifenóis totais (14.749,93 mg AGE $\cdot$ 100 g<sup>-1</sup>/peso seco), antocianinas (209 mg de cianidina-3-glicosídeo $\cdot$ 100 g<sup>-1</sup>/peso seco) e ácido elágico total (425,44 mg $\cdot$ 100 g<sup>-1</sup>/peso seco), conforme dados apresentados na Tabela 2. Entretanto, o teor de ácido elágico livre foi menor (17,75 mg $\cdot$ 100 g<sup>-1</sup>/peso seco). Da mesma maneira que a maioria dos compostos bioativos, a atividade antioxidante também foi maior ( $p < 0,05$ ) nos frutos de cultivo seco (Tabela 3).

O teor de polifenóis totais (14.749,93mg AGE $\cdot$ 100 g<sup>-1</sup> fruto/peso seco) ficou abaixo do publicado por GENOVESE et al. (2008) (17.970 mg AGE $\cdot$ 100 g<sup>-1</sup>/peso seco), para frutos de camu-camu também cultivados em solo sem inunda o (Estado de São Paulo). Entretanto, os autores não levaram em considera o o teor de ácido ascórbico do camu-camu ao quantificar polifenóis totais no mesmo e por isso, o resultado pode estar superestimado. Porém, as diferenças visualizadas também podem ser em fun o das características próprias de cada região onde os frutos foram produzidos (regiões Norte e Sudeste do Brasil). Entretanto, os teores de polifenóis totais do camu-camu, independente da região de cultivo, são bem maiores que o cont eudo relatado para algumas frutas consideradas fontes clássicas desses

compostos, como açaí e jabuticaba (3.268 e 3.584 mg AGE•100 g<sup>-1</sup>/peso seco, respectivamente) (RUFINO et al., 2010), sendo a última também uma *Myrtaceae*.

O maior conteúdo de antocianinas pode ser explicado em função de uma maior incidência de raios solares na planta durante a maturação, fator que influencia diretamente no teor desses pigmentos (VENDRAMINI E TRUGO, 2004; ZADERNOWSKI et al., 2005). Os frutos cultivados em ambiente seco são produzidos com maior controle, através de técnicas de manejo que visam uma produção mais uniforme. Nesse contexto, o espaçamento entre as plantas é calculado procurando evitar que, quando formados, os arbustos não provoquem sombreamento um sobre o outro. Assim, a radiação solar incidente é maior e com isso os pigmentos antociânicos são sintetizados em maior proporção. De acordo com ROSS et al. (2002), as condições ambientais e climáticas (temperatura, luz e água) durante o desenvolvimento dos frutos são fundamentais para a formação dos compostos fenólicos.

Em relação aos teores de ácido elágico, a menor concentração na forma livre indica que, nos frutos cultivados em ambiente seco, a proporção do mesmo na forma ligada, seja como elagitaninos ou glicosilado, é maior. PINTO et al. (2008) reportou que o teor de ácido elágico livre nos vegetais é geralmente baixo, estando presente principalmente na forma de elagitaninos. Segundo GONÇALVES et al. (2010) e GENOVESE et al. (2008), o camu-camu apresenta um teor de ácido elágico total de 480 mg•100 g<sup>-1</sup> (peso seco), sendo que o composto livre corresponde apenas à 16 mg•100 g<sup>-1</sup> (peso seco). O conteúdo de ácido elágico livre no alimento é importante porque está diretamente relacionado com a absorção do composto pelo organismo, uma vez que quando na forma ligada o metabolismo do mesmo é mais lento (LANDETE, 2011). Os teores de ácido elágico livre (2,5 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso fresco) e

total ( $34 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso fresco) do camu-camu cultivado em ambiente seco ficaram abaixo do reportado por BOBINAITÉ et al. (2012) para algumas cultivares de framboesa (*Rubus* spp.) ( $2,0 - 5,0$  e  $200 - 300 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso fresco, respectivamente) e acima do relatado por PINTO et al. (2008) para algumas cultivares de morango (*Fragaria ananassa*) ( $0,6 - 2,6$  e  $17 - 47 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso fresco, respectivamente), ambas consideradas fontes clássicas desse composto.

Quanto à capacidade antioxidante, o maior potencial encontrado nos frutos de ambiente seco ( $1.418,25$  e  $1.520,45 \text{ } \mu\text{M Trolox} \cdot \text{g}^{-1}$ /peso seco para os radicais ABTS e DPPH, respectivamente) (Tabela 3) é uma consequência de um maior teor de polifenóis totais (17 %), antocianinas (24 %) e ácido elágico total (18 %) nesses frutos (Tabela 2). Na Figura 2 estão apresentados os gráficos que representam a cinética das reações de ABTS e DPPH com os frutos cultivados em ambiente seco.

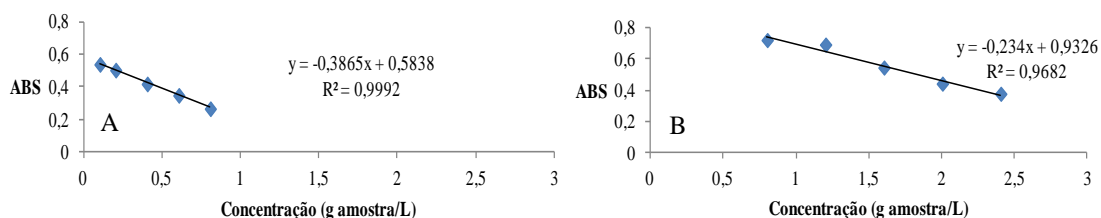


Figura 2 – Cinética das reações dos radicais ABTS e DPPH: A – reação entre ABTS e fruto descaroçado de camu-camu cultivado em ambiente seco; B – reação entre DPPH e fruto descaroçado de camu-camu cultivado em ambiente seco.

Esses resultados intensificam a relação existente entre alguns dos compostos bioativos citados e a capacidade antioxidante dos alimentos que os contém. CHIRINOS et al. (2010) encontrou uma correlação de 0,93 entre o teor de polifenóis totais e a capacidade antioxidante de frutos de camu-camu, sugerindo que o potencial antioxidante dos mesmos é derivado principalmente dos compostos fenólicos

presentes. SILVA et al. (2011) também encontrou correlação significativa ( $p < 0,05$ ) entre o conteúdo de compostos fenólicos totais e o potencial antioxidante de amora-preta (*Rubus spp.*) e morango (*Fragaria ananassa*) (0,84 e 0,89, respectivamente).

RUFINO et al. (2010) reportou para frutos de camu-camu uma capacidade antioxidante de  $1.530 \mu\text{M Trolox} \cdot \text{g}^{-1}$ /peso seco em relação ao cátion ABTS, valor um pouco acima do encontrado nos frutos avaliados nesse estudo. Essa diferença pode ser explicada em função de que o camu-camu avaliado pelos autores citados apresentou também maiores valores de antocianinas totais (422 mg cianidina 3-glicosídeo  $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso seco). Em relação ao radical DPPH, GENOVESE et al. (2008) relatou para o camu-camu uma atividade antioxidante de  $1.410 \mu\text{M Trolox} \cdot \text{g}^{-1}$ /peso seco, também um pouco acima dos valores encontrados para o camu-camu aqui estudado.

### **3.1.1.2 Casca**

Quando avaliada isoladamente, a casca dos frutos cultivados em ambiente seco apresentou menores ( $p < 0,05$ ) teores de polifenóis totais (13.348,97 mg AGE  $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso seco) em relação ao fruto descaroçado e por consequência, a capacidade antioxidante também o foi (Figura 3).

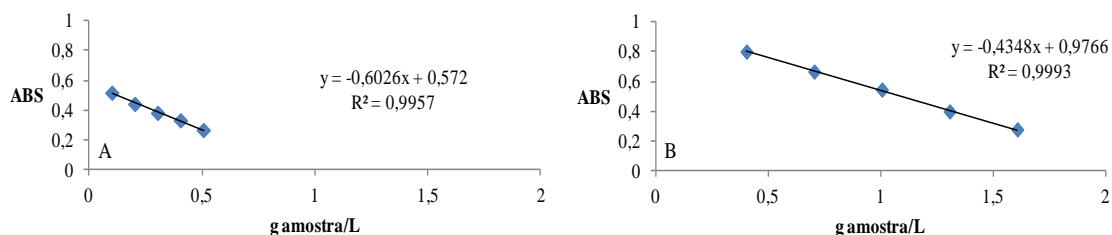


Figura 3 – Cinética das reações dos radicais ABTS e DPPH: A – reação entre ABTS e casca de camu-camu cultivado em ambiente seco; B – reação entre DPPH e casca de camu-camu cultivado em ambiente seco.

O conteúdo de ácido elágico livre e total da casca não variou, estatisticamente ( $p > 0,05$ ), frente ao fruto inteiro. Entretanto, os teores de antocianinas totais foram maiores (223,14 mg de cianidina-3-glicosídeo  $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso seco), reforçando a idéia de que o consumo do camu-camu sem a mesma pode ser prejudicado.

Segundo ZANATTA et al. (2005), as antocianinas estão concentradas principalmente na casca do camu-camu, estando em baixa concentração na polpa. A casca é a parte do fruto que fica mais exposta ao ataque de microrganismos, radiações e outras condições de estresse (injúrias mecânicas, por exemplo). Com isso, um maior conteúdo de alguns polifenóis na mesma é possível de ocorrer, pois os compostos fenólicos são originados do metabolismo secundário das plantas, desencadeado mediante condições de estresse (NACZK e SHAHIDI, 2004).

### 3.1.2 Ambiente alagado (solo inundado)

#### 3.1.2.1 Fruto descaroçado

Os frutos cultivados em ambiente alagado apresentaram, estatisticamente ( $p > 0,05$ ), o mesmo conteúdo de polpa, casca e semente que aqueles cultivados em

ambiente seco (Tabela 1). Em relação à avaliação individual do fruto, o mesmo contém cerca de 50 % de polpa, 21 % de casca e 27 % de semente.

Em relação aos compostos antioxidantes, apresentaram menor ( $p < 0,05$ ) teor de polifenóis totais ( $12.216,84 \text{ mg AGE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ), antocianinas ( $158,86 \text{ mg de cianidina-3-glicosídeo} \cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ) e ácido elágico total ( $348,31 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ). Por consequência, também apresentaram menor capacidade antioxidante ( $1.209,08$  e  $1.124,37 \text{ } \mu\text{M Trolox} \cdot \text{g}^{-1}/\text{peso seco}$ , respectivamente para os radicais ABTS e DPPH). Na Figura 4 estão os gráficos que representam a cinética das reações de ABTS e DPPH, respectivamente.

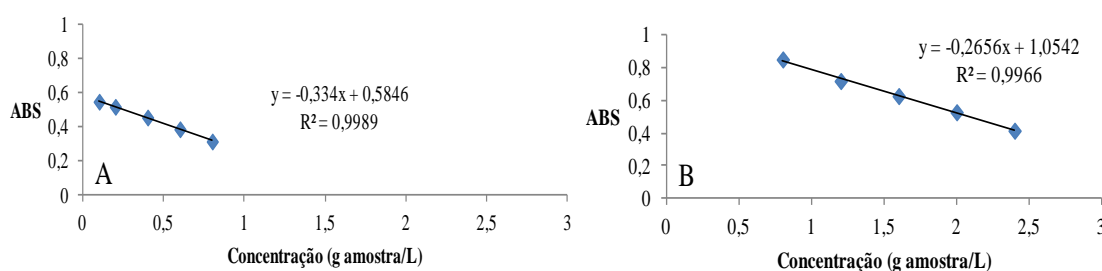


Figura 4 – Cinética das reações dos radicais ABTS e DPPH: A – reação entre ABTS e fruto descaroçado de camu-camu cultivado em ambiente alagado; B – reação entre DPPH e fruto descaroçado de camu-camu cultivado em ambiente alagado.

Entretanto, o teor de ácido elágico livre foi maior nos frutos cultivados em ambiente alagado ( $27,50 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ). A diferença pode ser decorrente de um maior amadurecimento dos mesmos. O processo acelera a atividade enzimática dos frutos (CHITARRA e CHITARRA, 2005), fato que pode culminar para uma maior hidrólise dos elagitaninos a ácido elágico.

A menor produção de polifenóis totais nos frutos de cultivo alagado pode ser em parte, pela exposição à água que os mesmos são submetidos quando o nível dos

rios Amazônicos sobe. De fato, o acúmulo de água ao redor da planta diminui a temperatura da mesma e, conseqüentemente, a produção de polifenóis. Segundo NACZK e SHAHIDI (2004) o estresse térmico é um dos fatores responsáveis pela incidência destes compostos nos frutos.

Em relação aos teores de antocianinas, uma menor incidência de luz sobre os arbustos pode ter sido responsável pelo menor teor desses pigmentos nos frutos cultivados em ambiente alagado. Os mesmos são produzidos sem controle, visto que crescem naturalmente nas margens dos rios. Com isso, o efeito de sombreamento de um arbusto sobre o outro é maior e assim, a incidência de raios solares sobre os frutos é menor.

### **3.1.2.2 Casca**

Na casca foram evidenciados menores teores ( $p < 0,05$ ) de polifenóis totais, em relação ao fruto descaroçado. Entretanto, foram detectados maiores conteúdos de antocianinas totais (171,87 e 158,86 mg de cianidina-3-glicosídeo•100 g<sup>-1</sup>/peso seco, casca e fruto descaroçado, respectivamente). Quanto aos teores de ácido elágico livre e total, estatisticamente ( $p > 0,05$ ), não houve diferença entre os valores encontrados na casca e no fruto descaroçado. Quanto à capacidade antioxidante, a casca apresentou menor potencial (Tabela 3). Na Figura 5 estão os gráficos que representam a cinética das reações dos radicais ABTS e DPPH, respectivamente.

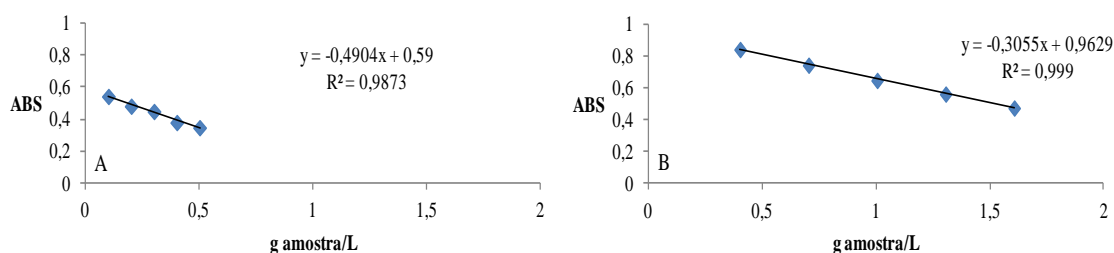


Figura 5 – Cinética das reações dos radicais ABTS e DPPH: A – reação entre ABTS e casca de camu-camu cultivado em ambiente alagado; B – reação entre DPPH e casca de camu-camu cultivado em ambiente alagado.

### 3.2 Influência do estágio de maturação

Na Tabela 4 estão descritos os resultados da caracterização física realizada em frutos de camu-camu em diferentes estádios de maturação. Na Tabela 5 estão apresentados os teores de compostos antioxidantes, bem como a capacidade antioxidante *in vitro*, de frutos descaroçados de camu-camu cultivados no mesmo ambiente (ambiente seco) e em diferentes estádios de maturação.

Tabela 4 – Características físicas de frutos de camu-camu em diferentes estádios de maturação

	Umidade (%)	Fruto verde*	Umidade (%)	Fruto maduro*
Fruto (g)	92,3 ± 0,2 <sup>a</sup>	8,73 ± 0,95 <sup>A</sup>	92,21 ± 0,06 <sup>a</sup>	8,43 <sup>A</sup> ± 1,03
Polpa (g)	93,67 ± 0,15 <sup>a</sup>	4,35 ± 1,05 <sup>A</sup>	93,4 ± 0,13 <sup>a</sup>	4,41 ± 1,02 <sup>A</sup>
Casca (g)	86,2 ± 0,50 <sup>a</sup>	1,7 ± 0,23 <sup>A</sup>	86,20 ± 0,50 <sup>a</sup>	1,75 ± 0,65 <sup>A</sup>
Semente (g)	ND	2,18 ± 0,42 <sup>A</sup>	ND	2,17 ± 0,57 <sup>A</sup>

\*Frutos produzidos no Amazonas (ambiente seco); Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão; Comparações entre os percentuais de umidade de cada parte do fruto são representadas por letras minúsculas e comparações entre os tipos de cultivos, para cada parte do fruto, são representadas por letras maiúsculas; Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância ( $p > 0,05$ ); ND: não determinado.

Tabela 5 – Teor de compostos antioxidantes em frutos descaroçados de camu-camu em diferentes graus de maturação (valores expressos em amostra seca)

Determinações	Fruto verde*	Fruto maduro*
Umidade (%)	92,3 ± 0,24 <sup>a</sup>	92,21 ± 0,06 <sup>a</sup>
Polifenóis totais (mg AGE•100 g <sup>-1</sup> )	11.252,75 ± 180 <sup>b</sup>	14.749,93 ± 5,51 <sup>a</sup>
Ácido elágico livre (mg•100 g <sup>-1</sup> )	25,75 ± 50,82 <sup>a</sup>	17,57 ± 1,57 <sup>b</sup>
Ácido elágico total (mg•100 g <sup>-1</sup> )	764,69 ± 11,13 <sup>a</sup>	425,44 ± 23,47 <sup>b</sup>
Antocianinas totais (mg de cianidina-3-glicosídeo•100 g <sup>-1</sup> )	ND	209 ± 5,02
AAT ABTS (µM equivalente de Trolox•g <sup>-1</sup> )	1.058,54 ± 21,53 <sup>b</sup>	1.418,25 ± 17,65 <sup>a</sup>
AAT DPPH (µM equivalente de Trolox•g <sup>-1</sup> )	1.066,50 ± 38,20 <sup>b</sup>	1.520,45 ± 112,79 <sup>a</sup>

\*Fruto cultivado em ambiente seco (solo sem inundação – Amazonas); AGE: ácido gálico equivalente; AAT: atividade antioxidante total; Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão; Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância (p>0,05); ND: não determinado.

### 3.2.1 Frutos verdes

Os frutos verdes apresentaram, estatisticamente (p>0,05), o mesmo conteúdo de polpa, casca e semente que os maduros (Tabela 4). Em relação à avaliação individual do fruto, o mesmo contém 50 % de polpa, 19 % de casca e 25 % de semente.

Quanto aos teores de compostos antioxidantes, apresentaram menor conteúdo de polifenóis totais (11.252,75 mg AGE•100 g<sup>-1</sup>/peso seco), quando comparados aos frutos maduros (14.749,93 mg AGE•100 g<sup>-1</sup>/peso seco). Entretanto, apresentaram maior teor de ácido elágico livre (25,75 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso seco) e total (764,69 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso seco).

Apesar de conter maiores teores de ácido elágico livre e total (32 e 44 %, respectivamente), o conteúdo de polifenóis totais foi menor, fato que pode ter sido decorrente da ausência de antocianinas nos frutos verdes. Não foram detectadas

antocianinas porque, quando no estágio inicial de desenvolvimento, não se tem a presença desses pigmentos no camu-camu. Os pigmentos antociânicos aparecem no camu-camu em virtude de mudanças fisiológicas que ocorrem decorrentes do processo de maturação (ZANATTA et al., 2005). A clorofila presente nos frutos verdes é degradada dando lugar à formação das antocianinas, que tornam o fruto vermelho no estágio intermediário e violeta no final da maturação (CHITARRA e CHITARRA, 2005). CHIRINOS et al. (2010) em um estudo sobre os compostos antioxidantes de frutos de camu-camu em diferentes estágios de maturação também observou que os frutos verdes apresentam menor teor de compostos fenólicos, sendo a diferença em relação aos frutos maduros de 15 %. Em nosso estudo a diferença entre o teor de compostos fenólicos de frutos verdes e maduros foi de 24 % menos nos frutos verdes.

Em relação aos teores de ácido elágico livre e total, CHIRINOS et al. (2010) também reportaram maiores teores desses compostos em frutos verdes de camu-camu. Os autores verificaram que conforme avança o processo de maturação do fruto, o teor de ácido elágico tende a diminuir, dando lugar à síntese de antocianinas e outros flavonóides. Além disso, os taninos estão diretamente relacionados com a adstringência dos frutos (DREWNOWSKI e GOMEZ-CARNEROS, 2000). Assim, é normal que estejam em maior concentração nos frutos verdes.

Os frutos verdes apresentaram menor ( $p < 0,05$ ) capacidade antioxidante, proporcionada pelo menor conteúdo total de polifenóis (Tabela 5). Na Figura 6 estão os gráficos que representam as cinéticas das reações dos radicais ABTS e DPPH com amostras de frutos de camu-camu verdes.

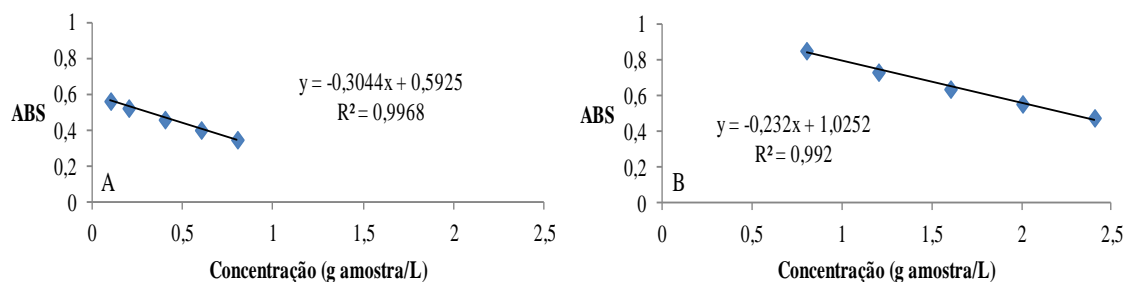


Figura 6 - Cinética das reações dos radicais ABTS e DPPH: A – reação entre ABTS e fruto descaroçado verde de camu-camu cultivado em ambiente seco; B – reação entre DPPH e fruto descaroçado verde de camu-camu cultivado em ambiente seco.

### 3.2.1.1 Casca

Na Tabela 6 estão destacados os teores de compostos antioxidantes, bem como da capacidade antioxidante *in vitro*, de fruto descaroçado e casca de camu-camu verde, cultivado em ambiente seco.

Tabela 6 - Teor de compostos antioxidantes em fruto descaroçado e casca de camu-camu verde cultivado em ambiente seco (valores expressos em amostra seca)

Determinações	Fruto descaroçado	Casca
Umidade (%)	92,30 ± 0,24 <sup>a</sup>	86,20 ± 0,51 <sup>b</sup>
Polifenóis totais (mg AGE•100 g <sup>-1</sup> )	11.252,75 ± 180 <sup>a</sup>	9.889,79 ± 101,19 <sup>b</sup>
Ácido elágico livre (mg•100 g <sup>-1</sup> )	25,75 ± 2,12 <sup>b</sup>	50,82 ± 28,84 <sup>a</sup>
Ácido elágico total (mg•100 g <sup>-1</sup> )	764,69 ± 11,23 <sup>a</sup>	768,25 ± 41,26 <sup>a</sup>
AAT ABTS (µM equivalente de Trolox•g <sup>-1</sup> )	1.058,54 ± 21,53 <sup>a</sup>	857,97 ± 36,77 <sup>b</sup>
AAT DPPH (µM equivalente de Trolox•g <sup>-1</sup> )	1.066,50 ± 38,20 <sup>a</sup>	961,21 ± 50,73 <sup>b</sup>

\*Fruto produzido no Amazonas; AGE: ácido gálico equivalente; AAT: atividade antioxidante total; Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão; Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância (p>0,05).

Na casca verificou-se menor (p<0,05) conteúdo de polifenóis totais (12 % a menos que no fruto descaroçado). Entretanto, o teor de ácido elágico livre foi maior,

enquanto que o de ácido elágico total não variou ( $p>0,05$ ) em relação ao fruto descaroçado. Na mesma proporção que o total de compostos fenólicos, a capacidade antioxidante também foi menor na casca dos frutos verdes. Na Figura 7 encontram-se os gráficos que mostram a cinética das reações dos radicais ABTS e DPPH com amostra de casca de camu-camu verde cultivado em ambiente seco.

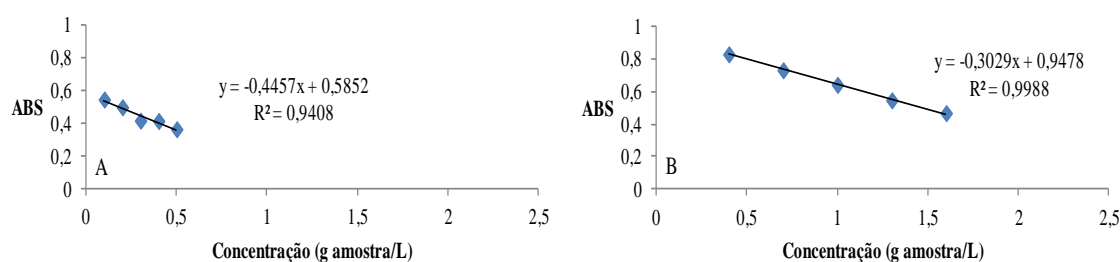


Figura 7 - Cinética das reações dos radicais ABTS e DPPH: A – reação entre ABTS e casca de camu-camu verde cultivado em ambiente seco; D – reação entre DPPH e casca de camu-camu verde cultivado em ambiente seco.

A Figura 8 mostra o perfil de compostos antioxidantes da casca dos frutos verdes de camu-camu em relação à dos frutos maduros, ambos cultivados no mesmo ambiente (solo seco, sem inundação). Os frutos verdes apresentam maiores teor de ácido elágico livre e total na casca, porém o conteúdo total de polifenóis foi menor. Da mesma maneira, a capacidade antioxidante também o foi. Apesar de o conteúdo de ácido elágico ser maior na casca dos frutos verdes, a proporção condensada é mais alta. Com isso, a presença do composto em maior proporção não é suficiente para elevar o potencial antioxidante dessa parte do fruto verde.

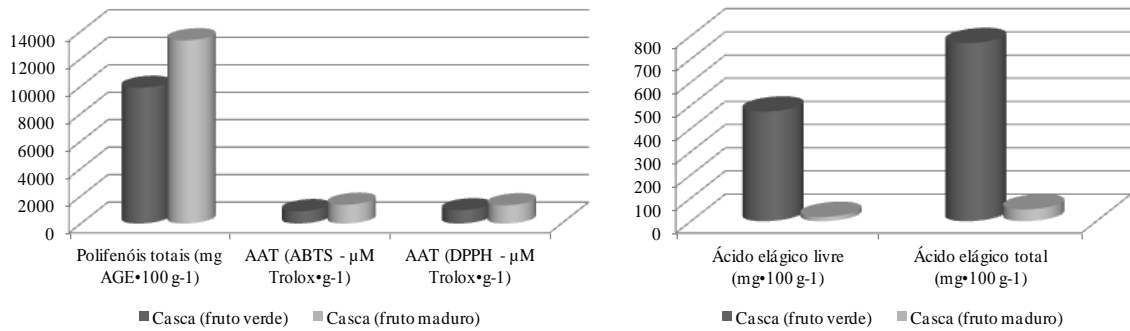


Figura 8 – Relação entre o teor de compostos antioxidantes na casca de frutos de camu-camu verde e maduro, ambos cultivados em ambiente seco: \*\*ATT – Atividade Antioxidante Total.

### 3.2.2 Frutos maduros

Os frutos maduros (caracterizados pela coloração vermelha da casca) apresentaram maior teor de polifenóis totais ( $p < 0,05$ ). Entretanto, os teores de ácido elágico livre e total foram menores (17,57 e 425,44  $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso seco, respectivamente). Entre os compostos fenólicos presentes nos frutos maduros encontram-se as antocianinas, pigmentos que não estão presentes nos frutos verdes (Tabela 5). Assim, a presença desses compostos, além de modificar a coloração do fruto, também proporciona um aumento no teor total de compostos fenólicos.

Os frutos maduros também apresentaram maior atividade antioxidante, promovida pelo maior conteúdo de polifenóis (Tabela 5).

## 4 CONCLUSÃO

Os frutos de camu-camu cultivados em ambiente de seco (solo sem inundação) apresentaram maior teor de compostos antioxidantes (polifenóis totais, ácido elágico total e antocianinas totais) em relação aos frutos de ambiente alagado. Verificou-se que nos dois tipos de camu-camu os compostos fenólicos são os

principais responsáveis pela atividade antioxidante do fruto e que o teor de antocianinas é o diferencial em relação a essa propriedade. Independente do tipo de cultivo, a casca dos frutos apresentou menor concentração de polifenóis totais e maior de antocianinas, quando comparada ao fruto descaroçado. Entretanto, a capacidade antioxidante foi menor.

Por esses motivos, o plantio do camu-camu em solo seco, como alternativa ao desenvolvimento da cultura e crescimento da produção, é viável em relação ao plantio em áreas inundadas, visto que as alterações identificadas apenas fizeram melhorar suas características.

Quanto ao estágio de maturação, as alterações metabólicas inerentes a esse processo promoveram maior síntese de polifenóis totais. Com isso, os frutos maduros apresentaram maior teor desses compostos e conseqüentemente maior potencial antioxidante. Entretanto, os níveis de ácido elágico (livre e total) foram maiores nos frutos verdes, sendo que a casca dos mesmos apresentou maior teor de ácido elágico livre.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R. E. et al. Antioxidant activity measurement in tropical fruits: a case study with acerola. **Acta Horticulturae**, v.773, p.299–305, 2008.

AOAC – Association Of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 18. ed. Gaithersburg, M.D, USA, 2005.

BOBINAITE, R.; VISKELIS, P.; VENSKUTONIS, P. R. Variation of total phenolics, anthocyanins, ellagic acid and radical scavenging capacity in various raspberry (*Rubus* spp.) cultivars. **Food Chemistry**, v.132, p.1495-1501, 2012.

CHIRINOS, R. et al. Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturity stages. **Food Chemistry**, v.120, p.1019-1024, 2010.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de Frutos e Hortaliças: Fisiologia e manuseio**. 2 ed. Rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

DREWNOWSKI, A.; GOMEZ-CARNEROS, C. Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.72, p.1421-1435, 2000.

GENOVESE, M. I. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits and commercial frozen pulps from Brazil. **Food Science and Technology International**, v.14, p.207-214, 2008.

GONÇALVES, A. E. de S. S., LAJOLO, F. M., GENOVESE, M. I. Chemical composition and antioxidant/antidiabetic potential of brazilian native fruits and commercial frozen pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.4666-4674, 2010.

LANDETE, J. M. Ellagitannins, ellagic acid and their derived metabolites: A review about source, metabolism, functions and health. **Food Research International**, v.44, p.1150-1160, 2011.

LEES, D. H.; FRANCIS, F. G. Standardization of pigment analysis in cranberries. **Hortscience**, v.7, p.83-84, 1972.

MAEDA, R. N. et al. Determinação da formulação e caracterização do néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, p.70-74, 2006.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, v.1054, p.95-111, 2004.

NORATTO, G. D. et al. Anticarcinogenic effects of polyphenolics from mango (*Mangifera indica*) varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.4104-4112, 2010.

OLIVEIRA, V. B. et al. Native foods from Brazilian biodiversity as a source of bioactive compounds. **Food Research International**, v.48, p.170-179, 2012.

PINTO, M. S.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch). **Food Chemistry**, v.107, p.1629-1635, 2008.

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

ROSS, J. A.; KASUM, C. M. Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects and safety. **Annual Review of Nutrition**, v.22, p.19-34, 2002.

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

SAS, Statistical Analysis System (SAS®), SAS software versão 9.2, Cary, 2008. 176p.

SILVA, R. S.; VENDRUSCOLO, J. L.; TORALLES, R. P. Avaliação da capacidade antioxidante em frutas produzidas na região sul do RS. **Revista Brasileira de Agrosciência**, v.17, p.392-400, 2011.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p.144–158, 1965.

VENDRAMINI, A. L.; TRUGO, L. C. Phenolic compounds in acerola fruit (*Malpighia puniceifolia*, L.). **Journal of Brazilian Chemical Society**, v.15, p.664-668, 2004.

VIDIGAL, M. C. T. R. et al. Effect of a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices: açai (*Euterpe oleracea* Mart.), camu-camu (*Myrciaria dubia*), cajá (*Spondias lutea* L.) and umbu (*Spondias tuberosa* Arruda). **Food Research International**, v.44, p.1988-1996, 2011.

VILLANUEVA-TIBURCIO, J. E.; CONDEZO-HOYOS, L. A.; ASQUIERI, E. R. Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, p.151-160, 2010.

YUYAMA, L. K. O. et al. Processamento e avaliação da vida-de-prateleira do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) desidratado e pulverizado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, p.408-412, 2008.

ZADERNOWSKI, R.; NACZK, M.; NESTEROWICZ, J. Phenolic acid in some small berries. **Journal of Agricultural of Food Chemistry**, v.53, p.2118-2124, 2005.

ZANATTA, C. F. et al. Determination of anthocyanins from camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS, and NMR. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p.9531-9535, 2005.

ZANATTA, C. F.; MERCADANTE, A. Z. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Food Chemistry**, v.101, p.1526-1532, 2007.

## ARTIGO 4

### TEOR DE VITAMINAS E MINERAIS EM CASCAS E FRUTOS DE CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*) CULTIVADOS EM DIFERENTES AMBIENTES E EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

#### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do tipo de cultivo (ambiente seco e alagado) e do estágio de maturação no teor de vitaminas (vitamina C e  $\beta$ -caroteno) e minerais (cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês, cobre, boro, nitrogênio, fósforo e potássio) de frutos descaroçados e cascas de camu-camu (*Myrciaria dubia*). O camu-camu cultivado em ambiente seco apresentou maior ( $p < 0,05$ ) teor de vitamina C ( $13.756,79 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso seco) e da maioria dos minerais investigados (cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, nitrogênio, fósforo e potássio). Os teores de  $\beta$ -caroteno não variam ( $p > 0,05$ ) entre os frutos cultivados em diferentes ambientes. Quanto à avaliação da casca em relação ao fruto descaroçado, independente do tipo de cultivo, os teores de vitamina C e minerais foram menores na mesma, enquanto que o de  $\beta$ -caroteno foi maior. No que concerne ao estágio de maturação, não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre o teor de vitamina C e  $\beta$ -caroteno de frutos verdes e maduros. Entretanto, foram evidenciadas algumas diferenças em função dos minerais determinados. Alguns compostos apresentaram-se em maior concentração nos frutos verdes (ferro, manganês e potássio) e outros nos frutos maduros (magnésio, zinco e cobre).

**Palavras-chave:** ambiente seco, ambiente alagado, vitamina C,  $\beta$ -caroteno, verde, maduro.

## 1 INTRODUÇÃO

O camu-camu (*Myrciaria dubia*) é um arbusto da família *Mirtaceae* que ocorre naturalmente na floresta Amazônica, sendo encontrado, entre outros países, no Brasil e no Peru. É uma fruta exótica que desperta a atenção das pessoas pelo seu elevado conteúdo de vitamina C, o qual pode chegar até  $6.000 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de fruta (peso fresco) (YUYAMA et al., 2002; RUFINO et al., 2010; VILLANUEVA-TIBURCIO et al., 2010). Entretanto, esse não é o principal nutriente presente no camu-camu, pois segundo alguns estudos a fruta também apresenta uma boa quantidade de  $\beta$ -caroteno (ZANATTA e MERCADANTE, 2007) e de alguns minerais como cálcio e potássio (JUSTI et al., 2000; YUYAMA et al., 2003).

Seu habitat natural é à beira de rios e igarapés ou regiões permanentemente alagadas, onde parte de seu caule permanece submersa (ZANATTA e MERCADANTE 2007). Produtores particulares e alguns órgãos governamentais do Brasil vêm tentando adaptar a cultura ao cultivo em áreas secas, visto que são muitos os entraves logísticos e econômicos da produção em regiões alagadas. Assim, estudos vêm sendo conduzidos nesse sentido de ampliar as áreas de cultivo e, com isso, a adaptação do camu-camu nas diversas regiões do Brasil (ZANATTA et al., 2005; ZANATTA e MERCADANTE, 2007). Isto possibilitaria a colheita do fruto em diversas épocas do ano e o controle da qualidade dos mesmos.

No entanto, a composição dos frutos pode variar conforme o tipo de plantio e a região de produção. Modificações podem ser observadas em função das características de cada solo, condições climáticas durante o desenvolvimento das plantas, técnicas de manejo (uso de fertilizantes, por exemplo) e estágio de maturação (EKHOLM et al., 2007; CHIRINOS et al., 2010). Segundo MIRDEHGHAN e RAHEMI (2007), no que concerne ao conteúdo mineral dos

vegetais, o tipo de solo e as práticas agrícolas são fatores primordiais para possíveis diferenças entre frutos cultivados em diferentes ambientes. De acordo com YUYAMA (2011) em solos de terra firme (ambiente seco) a adição de nutrientes e água pode ser controlada, fato que não ocorre em ambientes alagados. Com isso, o acúmulo de substâncias na planta é maior e conseqüentemente o desenvolvimento e a produção de frutos também. O solo é o meio por onde a planta absorve os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento e, em virtude disso, a composição mineral do mesmo é um fator decisivo no teor de minerais da frutífera (FAQUIN, 2005).

Em relação aos estádios de desenvolvimento do fruto, durante a formação do mesmo pode haver variação na concentração de compostos acumulados (LAVIOLA et al., 2007). Quando o fruto está em fase inicial de seu ciclo vegetativo a absorção de nutrientes é baixa e vai aumentando conforme o desenvolvimento do mesmo, pois a necessidade de nutrientes aumenta proporcionalmente (FAQUIN, 2005). Até chegar a maturação plena, onde a tendência é a absorção de alguns compostos não ser mais necessário e dessa forma, o acúmulo dos mesmos diminuir. Além disso, durante a formação do fruto, alguns elementos são absorvidos com o intuito de serem convertidos em outros, chegando ao final do ciclo em menor proporção (MARSCHNER, 2012).

Estudos relacionados a variações na composição do camu-camu frente aos tipos de cultivos a que pode ser submetido e às modificações inerentes ao processo de maturação são escassos, principalmente no que concerne ao aporte de vitaminas e minerais. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a interferência do tipo de cultivo (ambiente seco e alagado) e do estágio de maturação no teor de vitaminas (vitamina C e  $\beta$ -caroteno) e minerais em frutos descaroçados e cascas de camu-camu.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Coleta e preparo das amostras**

Foram investigados frutos provenientes de dois estados pertencentes à Amazônia Brasileira: Amazonas e Roraima. O camu-camu oriundo do Amazonas, cultivado em ambiente seco (solo sem inundação), foi coletado na Fazenda Yuricam, localizada no km 100 da rodovia AM-010, em uma propriedade particular localizada no município de Rio Preto da Eva (latitude 2°41'56'' sul, longitude 59°42'00'' oeste), entre os meses de janeiro e fevereiro. O camu-camu de Roraima, cultivado em ambiente alagado (solo inundado), foi coletado as margens do médio Rio Branco, localizado 30 km a norte de Boa Vista (latitude 2°49'12'' norte, longitude 60°40'19'' oeste), no mês de abril.

Os frutos provenientes do Amazonas (ambiente seco) foram coletados verdes e maduros, ambos caracterizados pela coloração da casca: verde para o fruto em estágio inicial de desenvolvimento e vermelho para o fruto maduro. Os frutos de Roraima (ambiente alagado) foram coletados apenas no estágio final da maturação. O estudo para observar o efeito da maturação na composição mineral do camu-camu foi realizado apenas com os frutos cultivados em ambiente seco (solo sem inundação) porque o acesso aos mesmos durante o seu ciclo vegetativo é mais fácil. Os frutos de cultivo alagado (solo inundado) tem seu acesso restrito, em virtude das cheias dos rios Amazônicos, onde parte de seus arbustos ficam submersos em água durante quase todo o período de desenvolvimentos dos frutos.

Em ambos os casos, os frutos foram provenientes de diferentes arbustos e coletados durante vários dias. No final da colheita, foram misturados com o objetivo de se formar uma única matriz de análise dentro de cada classe de camu-camu avaliada. Foram selecionados, descartando-se aqueles com injúrias mecânicas,

lavados em água corrente, congelados em freezer ( $-18 \pm 1$  °C), e assim mantidos até a realização das análises.

Cada unidade experimental foi composta por 20 frutos escolhidos de forma aleatória. Para a análise dos frutos descaroçados, as sementes foram separadas manualmente e o restante (polpa e casca) foi triturado em processador do tipo “mixer” (Dellar, modelo GOURMET DMX433, China). Para a análise das cascas, as mesmas foram separadas manualmente dos frutos e trituradas, utilizando-se o mesmo equipamento.

## **2.2 Delineamento experimental e avaliação estatística**

O experimento foi conduzido segundo delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições.

Os resultados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias de Tukey, ao nível de probabilidade de 5 %. Foi avaliado o comportamento do fruto frente aos ambientes de cultivo estudados e a composição da casca em relação ao fruto inteiro (sem caroço) dentro de cada ambiente. O programa estatístico utilizado foi o SAS (Statistical Analysis System), versão 9.2, licenciado para a UFV em 2008.

## **2.3 Determinação das características físicas**

As características físicas dos frutos de camu-camu foram avaliadas conforme MAEDA et al. (2006). As partes tissulares de cada fruto (polpa, casca e semente) foram separadas manualmente e pesadas em balança analítica.

## **2.4 Determinação de umidade**

As análises de determinação de umidade foram realizadas via método gravimétrico de secagem em estufa a 105 °C até peso constante. Os resultados foram expressos em % de umidade (AOAC, 2005).

## **2.5 Extração e quantificação de vitamina C (ácido ascórbico)**

A extração da vitamina C, na forma de ácido ascórbico, das cascas e frutos descaroçados de camu-camu foi baseada em CAMPOS et al. (2009). O procedimento foi realizado com solução extratora composta de ácido metafosfórico 3 %, ácido acético 8 %, ácido sulfúrico 0,3 N e EDTA 1 mM. O material foi filtrado a vácuo, diluído para volume conhecido com água ultrapura (Milli-Q) e centrifugado por 15 minutos a 1789 g.

Uma alíquota de 2 mL do extrato foi filtrada em membrana filtrante HV Millex de polietileno, com 0,45 µm de porosidade. A vitamina C, na forma de ácido ascórbico, foi analisada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). As condições da análise foram: sistema CLAE, modelo Shimadzu; coluna C18 Lichrospher de 5 µm e 250 mm x 4 mm; detector de arranjos de diodos UV-Visível (Shimadzu SOD-M10 AVP); fase móvel isocrática – água ultrapura contendo 1 mM de fosfato monobásico de sódio, 1 mM de EDTA e pH ajustado para 3,0 com ácido fosfórico; fluxo de 1 mL•min<sup>-1</sup>; volume de injeção de 20 µL; tempo de corrida de cinco minutos. A detecção do composto foi feita por absorbância no comprimento de onda de 250 nm. O teor de vitamina C foi determinado através de curva padrão de ácido ascórbico (Vetec – Brasil), conforme a área dos picos das amostras.

## **2.6 Extração e quantificação de $\beta$ -caroteno**

Os carotenóides foram extraídos por meio de trituração das amostras com acetona resfriada, sendo o material filtrado a vácuo, transferido para éter de petróleo e concentrado em evaporador rotativo, conforme RODRIGUEZ et al. (1976).

A análise de carotenóides seguiu as condições cromatográficas desenvolvidas por PINHEIRO-SANT'ANA et al. (1998): sistema CLAE, modelo Shimadzu; coluna cromatográfica C18 Phenomenex 250 x 4,6 mm, 5  $\mu$ m; detector de arranjo de diodos (Shimadzu SOD-M10 AVP) e fase móvel isocrática – metanol:acetato de etila:acetonitrila (70:20:10), com fluxo de 2 mL $\cdot$ min<sup>-1</sup>; volume de injeção de 50  $\mu$ L; tempo de corrida de 8 minutos e detecção por absorvância no comprimento de onda de 450 nm.

A identificação do  $\beta$ -caroteno foi feita comparando-se os tempos de retenção do padrão ( $\beta$ -caroteno isolado de extrato concentrado de cenoura produzido por cromatografia de coluna aberta) e das amostras, analisados sob as mesmas condições. A quantificação foi realizada utilizando-se uma curva padrão de  $\beta$ -caroteno, conforme RODRIGUEZ-AMAYA (1999).

## **2.7 Identificação e quantificação de minerais**

As análises foram realizadas de acordo com o método descrito por DEFILIPO e RIBEIRO (1997). Os minerais determinados foram: cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), boro (B), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

Primeiramente, as amostras foram secas em estufa com circulação mecânica de ar (FANEM modelo 320-SE, Brasil) durante 72 horas a uma temperatura de 70 °C. Em seguida, foram moídas manualmente com a ajuda de graal e pistilo.

As determinações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, cobre, manganês e ferro foram através de digestão nítrico-perclórica. As amostras reagiram com solução de ácido nítrico e ácido perclórico (4:1 v/v) a uma temperatura de 250 °C (chapa aquecedora Nova Ética modelo 208/D, Brasil) por aproximadamente 2 horas. A determinação de boro foi realizada a partir de digestão via seca em mufla (Electro Therm) a 550 °C, sendo as cinzas dissolvidas em 10 mL de HCl 0,1 N. O nitrogênio foi determinado através de digestão sulfúrica das amostras a uma temperatura de 350 °C (bloco digestor Tecnal modelo TE040/25, Brasil), seguido por destilação com NaOH.

Os minerais cálcio, magnésio, zinco, cobre, manganês e ferro foram analisados por espectrometria de absorção atômica (Varian modelo SpectrAA 220FS, Austrália). O potássio por fotometria de chama (Corning modelo 400, EUA) e o fósforo, boro e enxofre por espectrofotometria (Tecnal modelo SF325NM, Brasil). O comprimento de onda utilizado na determinação do fósforo foi 725 nm e do boro e enxofre 420 nm.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Influência do tipo de cultivo**

Na Tabela 1 estão descritos os resultados das análises físicas de frutos de camu-camu cultivados em diferentes ambientes. Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os resultados das análises de vitaminas e minerais realizadas em frutos descaroçados e cascas de camu-camu cultivados em diferentes ambientes.

Tabela 1 – Características físicas de frutos de camu-camu cultivados em diferentes ambientes

	Umidade (%)	Ambiente seco*	Umidade (%)	Ambiente alagado**
Fruto (g)	92,21 ± 0,06 <sup>a</sup>	8,43 ± 1,03 <sup>A</sup>	91,79 ± 0,15 <sup>a</sup>	8,98 ± 0,21 <sup>A</sup>
Polpa (g)	93,4 ± 0,13 <sup>a</sup>	4,41 ± 1,02 <sup>A</sup>	93,12 ± 0,21 <sup>a</sup>	4,46 ± 0,13 <sup>A</sup>
Casca (g)	86,20 ± 0,50 <sup>a</sup>	1,75 ± 0,23 <sup>A</sup>	86,70 ± 0,08 <sup>a</sup>	1,86 ± 0,09 <sup>A</sup>
Semente (g)	ND	2,17 ± 0,14 <sup>A</sup>	ND	2,41 ± 0,02 <sup>A</sup>

\*Fruto produzido no Amazonas; \*\*Fruto produzido em Roraima; Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão; Comparações entre os percentuais de umidade de cada parte do fruto são representadas por letras minúsculas e comparações entre os tipos de cultivos, para cada parte do fruto, são representadas por letras maiúsculas; Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (p>0,05); ND: não determinado.

Tabela 2 – Teor de vitaminas em frutos descaroçados e cascas de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (valores expressos em 100 g de amostra seca)

	Cultivo em ambiente seco*		Cultivo em ambiente alagado**	
	Fruto descaroçado	Casca	Fruto descaroçado	Casca
Umidade (%)	92,21 ± 0,06 <sup>aA</sup>	86,20 ± 0,50 <sup>B</sup>	91,79 ± 0,15 <sup>aA</sup>	86,70 ± 0,08 <sup>B</sup>
Vitamina C (mg•100 g <sup>-1</sup> )	13.756,79 ± 233,34 <sup>aA</sup>	7.925,88 ± 403,33 <sup>B</sup>	11.821,29 ± 291,14 <sup>bA</sup>	7.170,55 ± 567,08 <sup>B</sup>
β-caroteno (μg•100 g <sup>-1</sup> )	2.423,63 ± 428,54 <sup>aB</sup>	4.285,57 ± 245,01 <sup>A</sup>	2.589,88 ± 213,07 <sup>aB</sup>	4.018,33 ± 300,38 <sup>A</sup>

\*Fruto produzido no Amazonas; \*\*Fruto produzido em Roraima; Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão; Comparações entre os frutos de diferente cultivo, são representadas por letras minúsculas e comparações fruto vs casca, do mesmo cultivo, são representadas por letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (p>0,05).

Tabela 3 - Teor de minerais em frutos descaroçados e cascas de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (valores expressos em mg•100 g<sup>-1</sup> de amostra seca)

	Cultivo em ambiente seco*		Cultivo em ambiente alagado**	
	Fruto descaroçado	Casca	Fruto descaroçado	Casca
Umidade (%)	92,2 ± 0,1 <sup>aA</sup>	86,2 ± 0,5 <sup>B</sup>	91,8 ± 0,1 <sup>aA</sup>	86,7 ± 0,1 <sup>B</sup>
Cálcio	348 ± 2,6 <sup>aA</sup>	306 ± 7,0 <sup>B</sup>	220 ± 1,7 <sup>bA</sup>	211 ± 5,2 <sup>B</sup>
Magnésio	95 ± 3,0 <sup>aA</sup>	59,3 ± 0,6 <sup>B</sup>	58,3 ± 0,6 <sup>bA</sup>	44,7 ± 1,1 <sup>B</sup>
Enxofre	212,7 ± 2,9 <sup>aA</sup>	208,3 ± 15,3 <sup>A</sup>	174 ± 22,3 <sup>bA</sup>	77 ± 4,4 <sup>B</sup>
Zinco	3,5 ± 1,3 <sup>aA</sup>	2,4 ± 0,4 <sup>B</sup>	3,2 ± 2,8 <sup>aA</sup>	0,9 ± 0,2 <sup>B</sup>
Ferro	17,7 ± 18,4 <sup>aA</sup>	14,2 ± 11,5 <sup>B</sup>	14 ± 23,5 <sup>bA</sup>	10 ± 12,7 <sup>B</sup>
Manganês	1,4 ± 0,7 <sup>bA</sup>	0,7 ± 0,7 <sup>B</sup>	11 ± 5,2 <sup>aA</sup>	7,2 ± 5,0 <sup>B</sup>
Cobre	0,5 ± 0,3 <sup>aA</sup>	0,4 ± 0,3 <sup>A</sup>	0,3 ± 0,1 <sup>bA</sup>	0,3 ± 0,1 <sup>A</sup>
Boro	1,7 ± 1,9 <sup>aA</sup>	1,5 ± 0,1 <sup>A</sup>	1,8 ± 2,0 <sup>aA</sup>	1,4 ± 0,8 <sup>B</sup>
Nitrogênio	1.468,3 ± 40,8 <sup>aA</sup>	1.380,7 ± 23,4 <sup>B</sup>	896,7 ± 40,8 <sup>bA</sup>	824,3 ± 9,2 <sup>B</sup>
Fósforo	192 ± 0,1 <sup>aA</sup>	141 ± 0,1 <sup>B</sup>	98 ± 0,04 <sup>bA</sup>	90 ± 0,04 <sup>A</sup>
Potássio	1.930 ± 0,5 <sup>aA</sup>	1.280 ± 0,5 <sup>B</sup>	1.170 ± 0,2 <sup>bA</sup>	950 ± 0,3 <sup>B</sup>

\*Fruto produzido no Amazonas; \*\*Fruto produzido em Roraima; Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão; Comparações entre frutos com diferente sistema de cultivo são representadas por letras minúsculas e comparações fruto vs casca, do mesmo cultivo, são representadas por letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (p>0,05).

### 3.1.1 Cultivo em ambiente seco (solo sem inundação)

#### 3.1.1.1 Fruto descaroçado

Os frutos cultivados em ambiente seco apresentaram, estatisticamente ( $p > 0,05$ ), o mesmo conteúdo de polpa, casca e semente que os cultivados em ambiente alagado (Tabela 1). Em relação à avaliação individual do fruto, o mesmo contém cerca de 50 % de polpa, 21 % de casca e 26 % de semente.

Quanto aos teores de vitaminas, apresentaram maior ( $p < 0,05$ ) conteúdo de vitamina C ( $13.756,79 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso seco), conforme dados apresentados na Tabela 2. Em contrapartida, o teor de  $\beta$ -caroteno não diferiu estatisticamente ( $p > 0,05$ ) do conteúdo determinado nos frutos de cultivo alagado.

O teor de vitamina C foi maior que o relatado por GENOVESE et al. (2008) para camu-camu cultivado em ambiente seco no estado de São Paulo ( $3.970 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de fruto/peso seco); e menor que o descrito por MAEDA et al. (2007) para frutos de solo seco cultivados no estado do Amazonas ( $35.714,28 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de fruto/peso seco). As variações visualizadas são, em grande maioria, ocasionadas pelas diferenças inerentes a cada região de cultivo dos frutos analisados (regiões Sudeste e Norte do Brasil, respectivamente). Essa observação reforça o fato de que, assim como o tipo de cultivo, a região onde o fruto é produzido também influencia diretamente na composição do mesmo.

As principais fontes de vitamina C da dieta humana são as frutas e hortaliças, entre elas frutas cítricas, goiaba (*Psidium guajava*), brócolis (*Brassica oleracea*) e couve (*Brassica oleracea*), onde o teor de vitamina C fica em torno de  $100 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de vegetal/peso fresco (TACO, 2011). Os frutos de camu-camu, independente do tipo de cultivo, apresentaram teor de vitamina C cerca de 10 vezes maior que este valor (em torno de  $1.000 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de fruto/peso fresco). Desta forma, representam

uma excelente fonte dessa vitamina na dieta. Além disso, o camu-camu, na maioria das vezes, apresenta valores de vitamina C acima do teor encontrado na acerola (*Malpighia ermaginata*), fruta até o momento considerada a maior fonte de vitamina C da dieta (MEZADRI et al., 2008).

Em relação ao  $\beta$ -caroteno, os valores encontrados nos frutos de ambiente seco ( $197,22 \mu\text{g}\cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso fresco}$ ), foram maiores que o publicado por ZANATTA e MERCADANTE (2007). Os autores mencionaram um conteúdo de 73 e  $142 \mu\text{g}\cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso fresco}$  para camu-camu produzido em duas localidades do estado de São Paulo (Iguape e Mirandópolis, respectivamente), ambas caracterizadas por cultivo em solo seco (sem inundação). De acordo com AZEVEDO-MELEIRO e RODRIGUEZ-AMAYA (2004) e ZANATTA e MERCADANTE (2007), o  $\beta$ -caroteno representa em torno de 30 % da fração total de carotenóides do camu-camu.

Quanto às determinações de minerais (Tabela 3), os frutos cultivados em ambiente seco apresentaram maior ( $p<0,05$ ) teor da maioria dos compostos avaliados (cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, nitrogênio, fósforo e potássio).

O potássio foi o mineral mais abundante no camu-camu (40 % a mais no fruto cultivado em ambiente seco;  $1.930 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ). As frutas e hortaliças, em geral, são boas fontes de potássio com destaque para a banana (*Musa spp.*) ( $1.250 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ), couve (*Brassica oleracea*) ( $4.478 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ) e espinafre (*Spinacia oleracea*) ( $5.600 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ) (TACO, 2011). O potássio é um importante regulador da atividade neuromuscular, principalmente no que concerne à fadiga, fraqueza e câibras. Também é considerado um promotor do crescimento celular, tendo como sinergistas o cálcio e o magnésio (MARQUES et al., 2010).

O cálcio foi o segundo mineral presente em maior concentração no camu-camu (40 % a mais no fruto de ambiente seco; 348 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso seco). Esse mineral é fundamental para o fortalecimento dos ossos e dentes, sendo também, necessário para o funcionamento adequado do sistema nervoso e imunológico; importante para a contração muscular, coagulação sanguínea e pressão arterial (FELIPE et al., 2006).

O enxofre é o terceiro mineral mais abundante no camu-camu (18 % a mais nos frutos de ambiente seco; 212,70 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso seco). É um componente presente em todos os tecidos do corpo, especialmente no cabelo, músculos e pele. Participa da formação dos ácidos biliares e ativa inúmeros sistemas enzimáticos, sendo um importante componente do colágeno (MOURA, 1997). Em relação à formação deste último, além da presença de enxofre em boas quantidades, o camu-camu também apresenta elevado conteúdo de vitamina C, outra substância que contribui bastante para a formação do colágeno. Assim, o consumo do fruto pode ser favorável à formação dessa proteína tão importante para a síntese do tecido conjuntivo.

O ferro, mineral de grande importância no combate à anemia, também está presente em maior quantidade no camu-camu cultivado em ambiente seco (21 % a mais, 17,7 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso seco). Entretanto, é importante salientar que o ferro presente nos vegetais é do tipo não heme (ou não hemínico). Este apresenta baixa biodisponibilidade, a qual é bastante influenciada por diversos componentes da dieta. O ácido ascórbico é um deles, e auxilia na absorção do ferro não heme principalmente pela redução do Fe<sup>+3</sup> (pouco solúvel no intestino) a Fe<sup>+2</sup>, para que seja absorvido (DUARTE e JONES, 2007). Nesse contexto, pode-se inferir que o ferro presente no camu-camu apresenta boa biodisponibilidade, uma vez que a fruta é

rica em ácido ascórbico. Com isso, a combinação ferro e ácido ascórbico que os frutos de camu-camu proporcionam favorece o consumo dos mesmos, seja na forma *in natura* ou de produtos processados. Comparando o camu-camu com o açaí (*Euterpe oleracea*), um dos frutos mais importantes do bioma Amazônico, o primeiro apresenta maior teor de ferro ( $17,7 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ), enquanto que o segundo uma concentração de  $7,8 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ , segundo GORDON et al. (2012). Além de conter menor teor de ferro que o camu-camu, o açaí também apresenta menor conteúdo de ácido ascórbico ( $840 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ , RUFINO et al., 2010). Essa relação torna o ferro presente no açaí menos biodisponível e favorece o consumo do camu-camu em relação a esse mineral.

Um maior conteúdo de minerais nos frutos cultivados em ambiente seco pode ser em parte, justificado pelas características próprias do sistema de produção. O cultivo em ambiente seco (solo sem inundação) facilita a adubação (adição de fertilizantes) da área de plantio. Com isso, a disponibilidade de nutrientes para a planta é maior e conseqüentemente para o fruto também. A afirmativa pode ser consolidada pelos maiores teores de nitrogênio, fósforo e potássio presentes nos frutos de ambiente seco ( $1.468$ ,  $192$  e  $1.939 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ , respectivamente). Segundo OLOYEDE et al. (2012), esses nutrientes são adicionados ao solo na forma de fertilizantes, com o objetivo de enriquecê-lo. De acordo com FAQUIM (2005), as reservas desses minerais no solo tendem a se esgotar com o tempo e por isso precisam ser repostas periodicamente, favorecendo a produção de vegetais de melhor qualidade.

### 3.1.1.2 Casca

Em relação ao fruto descaroçado, os teores de vitamina C foram menores ( $p < 0,05$ ) na casca ( $7.925,88 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ), enquanto que os de  $\beta$ -caroteno foram maiores ( $4.285,57 \text{ } \mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ). Assim o consumo do camu-camu sem a casca pode ser prejudicado. Nos frutos cultivados em ambiente seco a mesma apresentou cerca de 40 % a mais de  $\beta$ -caroteno que o fruto descaroçado.

Em relação aos teores de minerais, praticamente todos os compostos determinados foram menores ( $p < 0,05$ ) na casca (cálcio, magnésio, zinco, ferro, manganês, nitrogênio, fósforo e potássio), exceto enxofre, cobre e boro, onde estatisticamente onde houve variação ( $p > 0,05$ ). Entretanto, mesmo sendo menor que do fruto descaroçado, o aporte de minerais na casca é grande e com isso, o emprego da mesma durante o consumo e a formulação de produtos a base de camu-camu torna-se vantajoso.

Porém, para que o consumo da casca seja seguro, é necessário que o teor de metais pesados, como o cobre, seja inferior a  $1 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , segundo a Legislação Brasileira (BRASIL, 1998). O teor de cobre na casca do camu-camu cultivado em ambiente seco ficou dentro do limite estabelecido pela Legislação vigente ( $0,4 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}/\text{peso seco}$ ). Entretanto, é importante salientar que a correta higienização, antes do consumo, também contribui para evitar o contato com contaminantes inorgânicos que possam estar expostos na superfície dos frutos, assim como de microrganismos e sujidades (NAJAFI e KHODAPARAST, 2009; VERHOEFF-BAKKENES et al., 2011).

### 3.1.2 Cultivo em ambiente alagado (solo inundado)

#### 3.1.2.1 Fruto descaroçado

Os frutos cultivados em ambiente alagado apresentaram, estatisticamente ( $p > 0,05$ ), o mesmo conteúdo de polpa, casca e semente que aqueles cultivados em ambiente seco (Tabela 1). Em relação à avaliação individual do fruto, o mesmo contém cerca de 50 % de polpa, 21 % de casca e 27 % de semente.

No que concerne aos teores de vitaminas, apresentaram menor ( $p < 0,05$ ) teor de vitamina C (11.821,29 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso seco). Quanto ao teor de  $\beta$ -caroteno, não houve diferença ( $p > 0,05$ ) em relação ao determinado nos frutos cultivados em ambiente seco.

O menor teor de vitamina C nos frutos de cultivo alagado pode ter ocorrido em função de uma menor radiação solar incidente na planta durante a sua frutificação. Segundo CHITARRA e CHITARRA (2005) a síntese de ácido ascórbico ocorre a partir dos carboidratos produzidos pela planta durante a fotossíntese. Os frutos de cultivo alagado (Roraima) foram colhidos no início de abril e os produzidos em ambiente seco (Amazonas) em meados de janeiro. Com isso, a frutificação (geralmente 45 dias antes da colheita para as *Mirtaceae*) (DONADIO, 2000) dos frutos de ambiente alagado foi posterior aos de ambiente seco. Assim, provavelmente os mesmos foram submetidos, durante um período maior, a dias com menor incidência de raios solares e por isso, sintetizaram menos ácido ascórbico. Outro fator que pode ter favorecido uma menor síntese de ácido ascórbico nos frutos de ambiente alagado é o crescimento de forma aleatória dos arbustos nas margens dos rios, sem controle de espaçamento entre os mesmos. Dessa forma, o efeito de sombreamento de uma planta sobre a outra pode ocorrer e com isso, a incidência de radiação solar sobre os frutos diminui.

Em relação ao teor de minerais, os frutos cultivados em ambiente alagado apresentaram menor teor ( $p < 0,05$ ) da maioria dos elementos determinados (cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, nitrogênio, fósforo e potássio), exceto de manganês.

Os arbustos cultivados em ambiente alagado podem permanecer de 4 a 5 meses submersos em água (PENN, 2006), devido à cheia dos rios Amazônicos. Em função disso, a probabilidade de o solo sofrer lixiviação de seus macro e micronutrientes é grande. Além disso, por ser uma planta que cresce naturalmente nas margens dos rios (sem controle), o cultivo do camu-camu, além de ser em solo pobre de nutrientes, também ocorre sem a adição de fertilizantes. Geralmente são solos arenosos, ricos principalmente em sílica e calcário (MAFRA et al., 2002; YUYAMA, 2011). Com isso, diferenças no conteúdo de minerais dos frutos cultivados nesse sistema podem ocorrer, quando comparados a frutos cultivados em ambiente seco (fora das margens dos rios), onde os solos são mais ricos e a adição de nutrientes é favorecida. A afirmativa é realizada com base nos menores teores de nitrogênio, fósforo e potássio (897, 98 e 1.170  $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso seco, respectivamente) evidenciados nos frutos cultivados em ambiente alagado.

### **3.1.2.2 Casca**

A casca dos frutos cultivados em ambiente alagado, quando comparada ao fruto descaroçado, apresentou menor ( $p < 0,05$ ) teor de vitamina C e maior teor de  $\beta$ -caroteno (36 %).

Em relação aos teores de minerais, a maioria dos compostos determinados apresentou-se em menor concentração na casca (cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês, boro, nitrogênio e potássio), à exceção do cobre e do fósforo, onde estatisticamente não houve variação ( $p > 0,05$ ). No entanto, em comparação com o

fruto descaroçado, apenas os teores de enxofre e zinco são irrelevantes na casca (abaixo de 40 e 30 %, respectivamente), ao passo que os demais minerais são bastante pronunciados (entre 60 e 90 %). Assim, descartar a casca durante o consumo e processamento do camu-camu pode não ser viável do ponto de vista mineral.

Quanto à presença de metais pesados que possam causar alguma toxicidade devido à ingestão da casca, o teor de cobre ( $0,3 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ /peso seco) ficou abaixo do limite estabelecido pela Legislação Brasileira ( $1 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) (BRASIL, 1998).

### 3.2 Influência do estágio de maturação

Na Tabela 4 são descritos os resultados das análises físicas em frutos de camu-camu provenientes do mesmo sistema de cultivo (ambiente seco) e em diferentes estádios de maturação, caracterizados pela coloração da casca (verde – casca verde; maduro – casca vermelha).

Na Tabela 5 são apresentados os resultados das avaliações de vitaminas e minerais realizadas em frutos descaroçados de camu-camu nas mesmas condições citadas acima.

Tabela 4 – Características físicas de frutos de camu-camu em diferentes estádios de maturação

	Umidade (%)	Fruto verde*	Umidade (%)	Fruto maduro*
Fruto (g)	$92,3 \pm 0,2^a$	$8,73 \pm 0,95^A$	$92,21 \pm 0,06^a$	$8,43^A \pm 1,03$
Polpa (g)	$93,67 \pm 0,15^a$	$4,35 \pm 1,05^A$	$93,4 \pm 0,13^a$	$4,41 \pm 1,02^A$
Casca (g)	$86,2 \pm 0,50^a$	$1,7 \pm 0,23^A$	$86,20 \pm 0,50^a$	$1,75 \pm 0,65^A$
Semente (g)	ND	$2,18 \pm 0,42^A$	ND	$2,17 \pm 0,57^A$

\*Fruto produzido no Amazonas; Os valores representam a média de 3 repetições  $\pm$  desvio padrão; Comparações entre os percentuais de umidade de cada parte do fruto são representadas por letras minúsculas e comparações entre os tipos de cultivos, para cada parte do fruto, são representadas por letras maiúsculas; Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância ( $p > 0,05$ ); ND: não determinado.

Tabela 5 - Teor de vitaminas e minerais em frutos descaroçados de camu-camu em diferentes estádios de maturação (valores expressos em 100 g de amostra seca)

	Fruto Maduro	Fruto Verde	Fruto Verde (casca)
Umidade (%)	92,2 ± 0,1 <sup>a</sup>	92,3 ± 0,2 <sup>aA</sup>	86,2 ± 0,5 <sup>B</sup>
Vitamina C (mg•100 g <sup>-1</sup> )	13.756,79 ± 233,34 <sup>a</sup>	12.783,13 ± 599,87 <sup>aA</sup>	7.496,36 ± 698,11 <sup>B</sup>
β-caroteno (µg•100 g <sup>-1</sup> )	2.423,63 ± 428,54 <sup>a</sup>	3.531,04 ± 792,84 <sup>aB</sup>	7.008,21 ± 967,39 <sup>A</sup>
Cálcio (mg•100 g <sup>-1</sup> )	348 ± 2,6 <sup>a</sup>	349,7 ± 3,2 <sup>aA</sup>	312,3 ± 4,0 <sup>B</sup>
Magnésio (mg•100 g <sup>-1</sup> )	95 ± 3,0 <sup>b</sup>	106,3 ± 1,5 <sup>aA</sup>	79,3 ± 0,6 <sup>B</sup>
Enxofre (mg•100 g <sup>-1</sup> )	212,7 ± 2,9 <sup>a</sup>	210,3 ± 45,5 <sup>aA</sup>	180,7 ± 10,9 <sup>A</sup>
Zinco (mg•100 g <sup>-1</sup> )	3,5 ± 1,3 <sup>b</sup>	6,3 ± 1,1 <sup>aA</sup>	3,4 ± 1,1 <sup>B</sup>
Ferro (mg•100 g <sup>-1</sup> )	17,7 ± 18,4 <sup>a</sup>	13,7 ± 6,4 <sup>bA</sup>	10,7 ± 24,7 <sup>A</sup>
Manganês (mg•100 g <sup>-1</sup> )	1,4 ± 0,7 <sup>a</sup>	1,03 ± 0,3 <sup>bA</sup>	0,8 ± 0,7 <sup>B</sup>
Cobre (mg•100 g <sup>-1</sup> )	0,5 ± 0,3 <sup>b</sup>	3,5 ± 1,2 <sup>aA</sup>	0,5 ± 0,4 <sup>B</sup>
Boro (mg•100 g <sup>-1</sup> )	1,7 ± 1,9 <sup>a</sup>	1,8 ± 0,8 <sup>aA</sup>	1,6 ± 1,6 <sup>A</sup>
Nitrogênio (mg•100 g <sup>-1</sup> )	1.380,67 ± 40,8 <sup>b</sup>	1.494 ± 8,7 <sup>aA</sup>	1.442, 7 ± 35,8 <sup>A</sup>
Fósforo (mg•100 g <sup>-1</sup> )	192 ± 0,1 <sup>a</sup>	205 ± 0,1 <sup>aA</sup>	172 ± 0,03 <sup>B</sup>
Potássio (mg•100 g <sup>-1</sup> )	1930 ± 0,5 <sup>a</sup>	1770 ± 0,5 <sup>bA</sup>	1500 ± 0,2 <sup>B</sup>

\*Fruto produzido no Amazonas; Os valores representam a média de 3 repetições ± desvio padrão; Comparações entre frutos com diferente estágio de maturação são representadas por letras minúsculas e comparações fruto vs casca, do mesmo estágio de maturação, são representadas por letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (p>0,05).

### **3.2.1 Frutos verdes**

#### **3.2.1.1 Fruto descaroçado**

Os frutos verdes apresentaram, estatisticamente ( $p>0,05$ ), o mesmo conteúdo de polpa, casca e semente que os maduros (Tabela 4). Em relação à avaliação individual do fruto, o mesmo contém em torno de 50 % de polpa, 19 % de casca e 25 % de semente.

Os teores de vitamina C e  $\beta$ -caroteno dos frutos verdes foram estatisticamente ( $p>0,05$ ) iguais aos dos frutos maduros. Esse resultado é contrário ao reportado por CHIRINOS et al. (2010) o qual verificou que frutos verdes de camu-camu apresentam maior teor de vitamina C que os maduros.

Em relação aos teores de minerais, os frutos verdes apresentaram maiores teores de magnésio, zinco, cobre e nitrogênio ( $p<0,05$ ). O elevado conteúdo de magnésio ocorre em função da inserção desse mineral na estrutura da porfirina durante a síntese de clorofila. O cobre tem relação direta com a síntese de enzimas responsáveis pela modulação e fixação de nitrogênio e dessa forma, com o crescimento da planta e desenvolvimento dos frutos. O zinco tem papel importante na síntese proteica, estando relacionado principalmente, com a replicação do DNA e a regulação da expressão gênica, fatores regulados principalmente no início do desenvolvimento dos frutos (MARSCHNER, 2012).

TOSUN et al. (2008) avaliaram o teor de minerais em frutos de amora-preta (*Rubus* L.) durante a maturação e também verificaram que os teores de magnésio, cobre e zinco foram maiores nos frutos verdes.

### **3.2.1.2 Casca**

Em relação ao fruto descaroçado, a casca apresentou menor teor de vitamina C (7.496,36 mg•100 g<sup>-1</sup>/peso seco), enquanto que o conteúdo de  $\beta$ -caroteno foi maior (50 %).

Quanto aos teores de minerais, a casca conteve menor concentração de sete dos dez minerais determinados (cálcio, magnésio, zinco, manganês, cobre, fósforo e potássio), à exceção do enxofre, ferro, boro e nitrogênio que não variaram estatisticamente ( $p>0,05$ ). Apesar de ser menor que a do fruto descaroçado, a contribuição da casca nos frutos verdes fica na ordem de 40 % na maioria dos minerais determinados. Assim, quando empregados na elaboração de algum tipo de produto, a utilização de frutos verdes de camu-camu em conjunto com a casca é de grande viabilidade, visto que a mesma é detentora da maior parte do  $\beta$ -caroteno presente no fruto, bem como de um bom aporte mineral.

## **3.2.2 Frutos maduros**

### **3.2.2.1 Fruto descaroçado**

Os teores de vitamina C e  $\beta$ -caroteno, estatisticamente ( $p>0,05$ ), não variaram com o avanço dos processos fisiológicos de maturação dos frutos. Entretanto, os teores de alguns minerais aumentaram. Os frutos maduros, caracterizados pela coloração vermelha da casca, apresentaram maiores teores de ferro (23 %), manganês (26 %) e potássio (8 %), enquanto que menores teores de cobre e zinco.

O menor teor de cobre nos frutos maduros está relacionado a uma menor síntese de polifenoloxidasas, enzimas responsáveis pela degradação de compostos fenólicos (MARSCHNER, 2012). Esse é um dos fatores, pelo qual, nos frutos

maduros de camu-camu a presença de compostos fenólicos é maior (CHIRINOS et al., 2010).

GORDON et al. (2012), ao avaliarem frutos de açaí (*Euterpe oleracea*) em três estádios de maturação (inicial, intermediário e final), verificaram que, à exceção do zinco, os teores dos demais minerais avaliados (magnésio, fósforo, potássio, cálcio, ferro e manganês) decresceram com o avanço da maturação.

REOLON et al. (2009) avaliaram a composição mineral da casca do maracujá (*Passiflora* sp.) em três estádios de maturação (casca 100 % verde, 50 % verde e 50 % amarela, 100 % amarela) e verificaram que o avanço da maturação fisiológica do fruto não promoveu efeito sobre os minerais determinados.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos permitiram verificar a diferença entre os teores de vitaminas e minerais de frutos de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (seco e alagado), bem como daqueles em diferentes estádios de maturação.

O teor vitamina C foi maior ( $p < 0,05$ ) nos frutos cultivados em ambiente seco, assim como da maioria dos minerais investigados (cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, nitrogênio, fósforo e potássio). Entretanto, os teores de  $\beta$ -caroteno não variaram ( $p > 0,05$ ) em função do tipo de cultivo.

Variações inerentes ao estágio de maturação dos frutos foram possíveis de serem visualizadas, pois alguns minerais foram identificados em maior proporção nos frutos verdes, como magnésio, zinco e cobre; e outros foram maiores nos frutos maduros (cálcio, ferro e potássio). Em relação aos teores de vitamina C e  $\beta$ -caroteno, não foi verificada diferença ( $p > 0,05$ ) em função do amadurecimento.

Independente do tipo de cultivo e do estágio de maturação, os frutos de camu-camu apresentaram menor concentração de vitamina C e minerais na casca, enquanto que os teores de  $\beta$ -caroteno foram maiores.

Assim, este trabalho confirma a idéia de que o tipo de cultivo, bem como o estágio de maturação, influencia diretamente na composição nutricional (vitaminas e minerais) de frutos de camu-camu.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC – Association Of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 18. ed. Gaithersburg, M.D, USA, 2005.

AZEVEDO-MELEIRO, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.17, p.385-396, 2004.

BRASIL – **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Portaria nº 685 de 27 de agosto de 1998. Dispõe sobre os princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de contaminantes químicos em alimentos e os limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos. Publicada no Diário Oficial da União em 24 de setembro de 1998.

CAMPOS, F. M. et al. Optimization of methodology to analyze ascorbic and dehydroascorbic acid in vegetables. **Química Nova**, v.32, p.87–91, 2009.

CHIRINOS, R. et al. Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturity stages. **Food Chemistry**, v.120, p.1019-1024, 2010.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de Frutos e Hortaliças: Fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

DEFILIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo (metodologia)**. 2 ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1997, 26p.

DONADIO, L. C. **Jaboticaba** (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg). Jaboticabal: Funep, 2000, 55p.

DUARTE, T.; JONES, G. Vitamin C modulation of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced damage and iron homeostasis in human cells. **Free Radical Biology & Medicine**, v.43, p.1165–1175, 2007.

EKHOLM, P. H. et al. Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.20, p.487-495, 2007.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização à distância). Lavras: UFLA/FAEPE, 2005, 186p.

FELIPE, E. M. F. et al. Avaliação da qualidade de parâmetros minerais de pós-alimentícios obtidos de casca de manga e maracujá. **Alimentos e Nutrição**, v.17, p.79-83, 2006.

GENOVESE, M. I. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits and commercial frozen pulps from Brazil. **Food Science and Technology International**, v.14, p.207-214, 2008.

GORDON, A. et al. Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açaí fruits (*Euterpe oleraceae* Mart.) during ripening. **Food Chemistry**, v.133, p.256-263, 2012.

JUSTI, K. C. et al. Nutritional composition and Vitamin C stability in stored camu-camu (*Myrciaria dubia*) pulp. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.50, p.405-408, 2000.

LAVIOLA, B. G. et al. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de *Coffea Arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.319-329, 2007.

MAEDA, R. N. et al. Determinação da formulação e caracterização do néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, p.70-74, 2006.

MAEDA, R. N. et al. Estabilidade de ácido ascórbico e antocianinas em néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.313-316, 2007.

MAFRA, A. L. et al. Pedogênese numa sequência latossolo-espodossolo na região do alto Rio Negro, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.381-394, 2002.

MARQUES, A. et al. Composição centesimal e de minerais de casca e polpa de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, p.1206-1210, 2010.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. New York: Academic Pres, 2012, 649p.

MEZADRI, T. et al. Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives. **Journal of Food Composition Analysis**, v.21, p.282-290, 2008.

MIRDEHGHAN, S. H.; RAHEMI, M. Seasonal changes of mineral and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. **Scientia Horticulturae**, v.111, p.120-127, 2007.

MOURA, J. G. P. **A revolução dos nutrientes: um estudo sobre radicais livres e sua avaliação no exame do cabelo**. 1. ed. Pelotas: Editora Livraria Mundial, 1997, 265p.

NAJAFI, M. B. H.; KHODAPARAST, M. H. H. Efficacy of ozone to reduce microbial populations in date fruits. **Food Control**, v.20, p.27-30, 2009.

OLOYEDE, F. M. et al. Effect of NPK fertilizer on chemical composition of pumpkin (*Cucurbita pepo* Linn.) seeds. **The Scientific World Journal**, v.2012, p.1-6, 2012.

PENN, J. W. The cultivation of camu-camu (*Myrciaria dubia*): a tree planting programme in the Peruvian Amazon. **Forests, Trees and Livelihoods**, v.16, p.85-101, 2006.

PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. et al. Carotenoid retention and vitamin a value in carrot (*Daucus carota* L.) prepared by food service. **Food Chemistry**, v.61, p.145-151, 1998.

REOLON, C. A.; BRAGA, G. C.; SALIBE, A. B. Características físico-químicas da casca do maracujá amarelo em diferentes estádios de maturação. **Boletim do CEPPA**, v.27, p.305-312, 2009.

RODRIGUEZ, D. B. et al. Carotenoid pigment changes in ripening *Momordica charantia* fruits. **Annals of Botany**, v.40, p.615-624, 1976.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide for carotenoids analysis in foods**. Washington: International Life Sciences Institute, ILSI Press, 1999.

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

SAS – **Statistical Analysis System** (SAS<sup>®</sup>), SAS software versão 9.2, Cary, 2008. 176p.

TACO – **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Universidade Federal de Campinas. 4th. ed. Editora: UNICAMP, Gráfica: Book Editora, 2011, 161p. Disponível em: <www.unicamp.br> Acesso em: 18/05/2012.

TOSUN, I.; USTUN, N. S.; TEKGULER, B. physical and chemical changes during ripening of blackberry fruits. **Scientia Agricola**, v.65, p.87-90, 2008.

VERHOEFF-BAKKENES, L. et al. Consumption of raw vegetables and fruits: A risk factor for *Campylobacter* infections. **International Journal of Food Microbiology**, v.147, p.406-412, 2011.

VILLANUEVA-TIBURCIO, J. E.; CONDEZO-HOYOS, L. A.; ASQUIERI, E. R. Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, S.151-169, 2010.

YUYAMA, K., AGUIAR, J. P. L., YUYAMA, L. K. O. Camu-camu: um fruto fantástico como fonte de vitamina C. **Acta Amazônica**, v.32, p.169-174, 2002.

YUYAMA, L. K. O. et al. Teores de elementos minerais em algumas populações de Camu-Camu. **Acta Amazônica**, v.33, p.549-554, 2003.

YUYAMA, K. A cultura de camu-camu no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, p.1-2, 2011.

ZANATTA, C. F. et al. Determination of anthocyanins from camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS, and NMR. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p.9531-9535, 2005.

ZANATTA, C. F.; MERCADANTE, A. Z. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Food Chemistry**, v.101, p.1526-1532, 2007.

#### 4 CONCLUSÃO GERAL

A hipótese geral do trabalho de que frutos de camu-camu cultivados em diferentes ambientes (seco e alagado) e em diferentes estádios de maturação (verde e maduro) apresentam teor de compostos fenólicos, vitaminas e minerais, bem como capacidade antioxidante *in vitro*, diferentes foi parcialmente confirmada.

Os frutos cultivados em ambiente seco apresentaram maior ( $p < 0,05$ ) teor de polifenóis totais, ácido elágico total e antocianinas totais, bem como maior capacidade antioxidante *in vitro*. Em relação aos teores de vitaminas e minerais, apresentaram maior ( $p < 0,05$ ) conteúdo de vitamina C e da maioria dos minerais determinados (cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, nitrogênio, fósforo e potássio). No entanto, o teor de  $\beta$ -caroteno não variou, estatisticamente ( $p > 0,05$ ), entre os frutos cultivados em diferentes ambientes. Os frutos cultivados em ambiente alagado apenas apresentaram maior ( $p < 0,05$ ) conteúdo de ácido elágico livre.

Por esses motivos, o plantio do camu-camu em solo seco, como alternativa ao desenvolvimento da cultura e crescimento da produção, é viável em relação ao plantio em áreas inundadas, visto que as alterações identificadas apenas fizeram melhorar suas características.

Em relação ao processo de maturação, frutos maduros de camu-camu apresentaram maior teor de polifenóis totais e, conseqüentemente, maior capacidade antioxidante *in vitro*. Entretanto, os níveis de ácido elágico livre e total foram maiores nos frutos verdes. Quanto aos teores de vitaminas, não foi evidenciada diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre os conteúdos de vitamina C e  $\beta$ -caroteno de frutos verdes e maduros de camu-camu. Em relação ao aporte mineral, alguns elementos foram identificados em maior proporção nos frutos verdes, como magnésio, zinco e cobre; e outros foram maiores nos frutos maduros (cálcio, ferro e potássio).

Quanto às avaliações realizadas nas cascas dos frutos, independente do tipo de cultivo e do estágio de maturação, verificou-se menor concentração de polifenóis totais, vitamina C e da maioria dos minerais investigados, quando comparadas aos frutos inteiros (polpa + casca). No entanto, maiores teores de antocianinas e  $\beta$ -caroteno foram determinados. Os valores de ácido elágico total e livre não variaram estatisticamente ( $p>0,05$ ) no que concerne aos frutos cultivados em diferentes ambientes. Entretanto, em relação ao estágio de maturação, verificou-se maior conteúdo de ácido elágico livre na casca dos frutos verdes e não no fruto inteiro. Assim como a maioria dos compostos bioativos, a capacidade antioxidante *in vitro* também foi menor na casca, quando comparada ao fruto inteiro.

Por último, foi possível verificar que o ácido ascórbico é um importante interferente na determinação de polifenóis totais em camu-camu, podendo superestimar o resultado em quase 20 %.

Assim, este trabalho confirma a idéia de que o tipo de cultivo, bem como o estágio de maturação, pode influenciar a composição bioativa de frutos de camu-camu.