

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E**  
**TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**DISSERTAÇÃO**

**Estabilização de moléculas bioativas presentes em suco de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) *Mc Vaugh*) pela integração dos processos de Osmose Inversa, Evaporação Osmótica e Atomização**

**André Luis Rodrigues de Souza**

**2012**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE ALIMENTOS**

**ESTABILIZAÇÃO DE MOLÉCULAS BIOATIVAS PRESENTES EM  
SUCO DE CAMU-CAMU (*MYRCIARIA DUBIA* (H.B.K) MC VAUGH)  
PELA INTEGRAÇÃO DOS PROCESSOS DE MICROFILTRAÇÃO,  
OSMOSE INVERSA E EVAPORAÇÃO OSMÓTICA.**

**ANDRÉ LUIS RODRIGUES DE SOUZA**

Sob a orientação da Dra  
**Lourdes Maria Corrêa Cabral**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ  
Março de 2012.

663.63 Souza, André Luis Rodrigues de, 1978-  
S729ET Estabilização de moléculas bioativas presentes em suco de camu-  
camu (*Myrciaria dúbia* (H.B.K) Mc Vaugh) pela integração dos  
processos de osmose inversa, evaporação osmótica e atomização /  
André Luis Rodrigues de Souza. – 2012.  
59 f.: il.

Orientador: Lourdes Maria Corrêa Cabral.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de  
Alimentos.

Bibliografia: f. 50-59.

1. Suco de camu-camu - Teses. 2. Camu-camu - Teses. 3. Osmose –  
Teses. I. Cabral, Lourdes Maria Corrêa, 1957-. II. Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência  
e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS**

## **ANDRÉ LUIS RODRIGUES DE SOUZA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

---

Dra. Lourdes Maria Corrêa Cabral  
Embrapa Agroindústria de Alimentos  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Armando Ubirajara Oliveira Sabaa Srur  
Instituto de Nutrição - UFRJ

---

Profa. Dra. Suely Pereira de Freitas  
Escola de Química – UFRJ

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Luiz Felipe Rodrigues de Souza, Jorge Luiz de Souza, Mário Rodrigues Filho e Joventino Barcelos de Souza.

## AGRADECIMENTOS

A deus, por tudo.

Aos meus pais, José Carlos e Maria Lídia, por todo amor, carinho, dedicação e incentivo na minha vida.

A minha avó, Dona Efigênia, por toda força que a senhora tem me dado. Muitíssimo obrigado vó.

A minha orientadora, Dra. Lourdes Cabral, por todo o apoio e confiança em mim. Pra mim foi muito especial ter uma orientadora como você por todo aprendizado que eu obtive. Muito obrigado.

As Dras. Renata Tonon e Regina Nogueira pela ajuda na parte de atomização do trabalho.

A Dra. Flavia Gomes pela ajuda tanto na dissertação, como na correção dos trabalhos.

Aos meus grandes incentivadores e companheiros de jornada desde os tempos de graduação: Dra. Mônica Pagani, Dra. Maria Ivone Barbosa e professores Flávio Morgado e José Lucena Barbosa Júnior

Ao CNPq pela bolsa e pelo financiamento da pesquisa.

Aos membros do colegiado da UFRRJ por todo aprendizado ao longo do período em que eu estive com vocês.

Aos funcionários Filé, Luiz Fernando e William pela ajuda na parte experimental do trabalho.

Aos grandes amigos Rubens, Tarso, Thalles, Caju, Paula, Norberto, Tia Zeny, Tio Paulo, Bozó, Thiago, Fabrício, Raul e Thelma pelos momentos de alegria e descontração. Valeu!

Aos estagiários e amigos que eu conheci ao longo dessa trajetória de 4 anos de empresa: Aline Cascaes, Isabelle, Daniel e Aline Couto, Aline Araújo, Alessandra, Alcilucia, Maria Beatriz, Pedro, Pietro, Leandro, Alan, Lucas, Juliana Vilar, Gabriela Costa, Gabriela Moysés, Cássia, Tatiana Candéa, Izabella Bouhid, Isabella Candéa, Pingo, Gabrielle, Marlon, Rafhaela, Priscila (Perê), Ana Paula, Graziele, Nathalia Etiel, Natália, Jéssica Rivas, Renata Cabral, Bebel Luciana Martinez, Bianca e todos os estagiários das plantas 4 e 5.

## RESUMO

SOUZA, André Luis Rodrigues. **Estabilização de moléculas bioativas presentes em suco de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) *Mc Vaugh*) pela integração dos processos de Osmose Inversa, Evaporação Osmótica e Atomização.** 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

O camu-camu é um fruto nativo da região amazônica, cultivado as margens de rios, lagos e igarapés. É reconhecido como um dos frutos com um dos maiores teores de vitamina C. Osmose inversa é o processo de concentração por membranas onde a pressão aplicada é maior que a pressão osmótica do suco, favorecendo a permeação do solvente da região de maior concentração para região de menor concentração. Evaporação osmótica é um outro processo de concentração, onde uma membrana hidrofóbica porosa separa a solução que será concentrada e uma salmoura concentrada. A microencapsulação é o processo onde um agente ativo é protegido por meio de uma cobertura de polímeros, ocorrendo a liberação desses agentes ativos em condições específicas. O objetivo desta dissertação foi avaliar o uso dos processos de separação com membranas e microencapsulamento para o processamento de suco de camu-camu. Os frutos de camu-camu foram despulpados, sendo o suco submetido a centrifugação, com o objetivo de reduzir os sólidos em suspensão, e posteriormente clarificado por microfiltração em um sistema de membranas de polissulfona. Foram realizados seis processos de clarificação a 2,5 bar e 45°C. O suco clarificado foi pré-concentrado por osmose inversa a 60 bar e 20 °C. O fluxo permeado médio foi de 11,3 L/hm<sup>2</sup>. O suco pré-concentrado apresentou teor de sólidos solúveis de 28,8°Brix e grau de concentração de 3,8. O suco pré-concentrado foi processado por evaporação osmótica em um sistema laboratorial constituído por membranas de politetrafluoretileno. O processo apresentou fluxo médio permeado de 2,4 kg/hm<sup>2</sup>. O teor de sólidos solúveis do suco concentrado foi de 56,6 °Brix, apresentando um grau de concentração de 1,98. O processo de microencapsulação da fração retida do suco de camu-camu foi realizado em um spray dryer Buchi Modelo B-190. Foram realizados três ensaios com três formulações diferentes: mistura entre amido e maltodextrina, somente amido e somente maltodextrina. Os valores apresentados para a caracterização físico-química do suco de camu-camu pré-concentrado e concentrado indicam que houve um aumento nos sólidos solúveis e totais e da acidez, bem como no teor das substâncias bioativas do camu-camu. O suco de camu-camu desidratado apresentou alto teor de substâncias bioativas, onde a estabilidade desses compostos durante o período de armazenamento não foi alcançada. Observa-se que a integração dos processos com membranas se mostrou eficaz na concentração do suco de camu-camu, obtendo um produto com alta qualidade nutricional.

Palavras-chave: Camu-camu, vitamina C, osmose inversa, evaporação osmótica.

## ABSTRACT

SOUZA, André Luis Rodrigues. **Stabilization of bioactive molecules present in camu-camu juice by means of interaction among the processes of reverse osmosis, osmotic evaporation and atomization. 2012.** Dissertation (Master's degree in Food Science and Technology). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

Camu-camu is a native fruit from the Amazonian region, cultivated in the margins of rivers, lakes and Amazonian creeks called *igarapés*. It is known as one of the fruit with the highest content of vitamin C. Reverse osmosis is a membrane concentration process in which the applied pressure is higher than the juice osmotic pressure. Such process favors the solvent permeation from the region with the highest concentration to the one with the lowest. Osmotic evaporation is another membrane concentration process in which a porous hydrophobic membrane separates the solution that is going to be concentrated from a concentrate brine solution. Microencapsulation is the process in which an active agent is entrapped by means of a polymer cover. Such process promotes the release of these active agents under specific conditions. The aim of this work is to evaluate the use of membrane separation processes and microencapsulation for the processing of camu-camu fruits. The camu-camu pulp, which has been obtained through the depulping of camu-camu fruits, was first centrifuged, in order to decrease its suspended solids content, and clarified by microfiltration with polysulfone membranes. Six clarification processes have carried out at 2.5 bar transmembrane pressure and 45°C. The clarified juice was concentrated by reverse osmosis at 60 bar and 20 °C. The average permeate flux has been of 11.3 L/hm<sup>2</sup>. The pre-concentrated juice had 28.8°Brix and the concentration degree of the process was 3.8. The pre-concentrated juice has been concentrated by osmotic evaporation in a laboratorial system with polytetrafluoroethylene membrane. The process presented an average permeate flux of 2.4 Kg/hm<sup>2</sup>. The soluble solids content of the concentrated juice was of 56.6 °Brix, presenting a concentration degree of 1.98. The retentate fraction of the microfiltration process was microencapsulated in a spray dryer. Three encapsulation agents were evaluated: starch, maltodextrin and the mixture of both. The values presented for the physicochemical characterization of the pre-concentrated and concentrated camu-camu juices indicate that there has been an increase both in the physical characteristics of the juice, such as soluble solids, total solids and acidity, and in the concentration of camu-camu bioactive compounds. The dehydrated camu-camu juice presented a high concentration of bioactive substances. Nevertheless, there has been no stability of such compounds during storage. Through the results obtained in the present work, it is possible to observe that the integration of membrane processes proved efficient in the concentration of camu-camu juice, with a final product of high nutritional value.

Key-words: Camu-camu, vitamin C, reverse osmosis, osmotic evaporation.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	01
2.	REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1.	Camu-camu	03
2.2.	Antioxidantes	07
2.2.1.	Radicais livres	08
2.3.	Compostos fenólicos	09
2.4.	Vitamina C	10
2.5.	Processamento de Separação por Membranas	12
2.5.1	Osmose inversa	17
2.5.1.1.	Aplicação em alimentos	19
2.5.2.	Evaporação osmótica	20
2.5.2.1.	Aplicação em alimentos	23
2.6.	Secagem por atomização	24
2.6.1.	Microencapsulação	25
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1.	Matéria-prima	28
3.2.	Métodos	28
3.2.1.	Obtenção da polpa de camu-camu	28
3.2.2.	Clarificação do suco de camu-camu	28
3.2.3.	Osmose inversa	30
3.2.4.	Evaporação osmótica	31
3.2.5.	Microencapsulação	32
3.3.	Métodos analíticos	34
3.3.1.	PH	34
3.3.2.	Teor de sólidos solúveis	34
3.3.3.	Acidez total titulável	34
3.3.4.	Sólidos totais	34
3.3.5.	Ácido ascórbico	34
3.3.6.	Compostos fenólicos totais	34
3.3.7.	Capacidade antioxidante	35
3.3.8.	Estatística	35
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1.	Caracterização da matéria-prima	36
4.2.	Microfiltração	38
4.3.	Osmose inversa	40
4.4.	Evaporação osmótica	43
4.5.	Microencapsulação	46
5.	CONCLUSÃO	49
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

## 1 INTRODUÇÃO

O consumo regular de frutas vem sendo relacionado com a redução da ocorrência de doenças cardiovasculares, derrames, diabetes, e mesmo alguns tipos de câncer (HU, 2003; LIU, 2003; BLOOMHOFF, 2005).

As frutas tropicais apresentam características interessantes de cor, sabor e aroma. Além dessas características, as frutas tropicais têm na sua composição compostos como vitamina C, fenólicos, carotenóides, antocianinas e os tocoferóis (GONZALEZ-AGUILAR *et al.*, 2010; AYALA-ZAVALA *et al.*; 2011).

O camu-camu é um fruto nativo da região amazônica, cultivado as margens de rios, lagos e igarapés. É reconhecido como o fruto com um dos maiores teores de vitamina C, superando frutas como a acerola, laranja, manga, limão, caju, entre outras.

O teor de vitamina C do camu-camu que pode variar de 1000 a 6000 mg/100g, dependendo do local onde é cultivado. É considerado fonte de substâncias bioativas, como compostos fenólicos, carotenóides e antocianinas, apresentando na sua composição minerais como o ferro, potássio, cálcio e fósforo e também aminoácidos, como a serina, a valina e a leucina (RODRIGUES *et al.*, 2004; ZANATTA *et al.*, 2005.; ZANATTA e MERCADANTE, 2007; INOUE *et al.*, 2008; DELGADO E YUYAMA, 2010; RUFINO *et al.*, 2010; ARKTER *et al.*, 2011, VIDIGAL *et al.*, 2011).

Por apresentar um alto valor de acidez, não é consumido *in natura*, mas em função do seu potencial como fonte de vitamina C, estudos têm sido realizados com o objetivo de agregar valor a essa fruta, na forma de sucos, néctares, geléias, sorvetes (INPA, 2011; VIDIGAL *et al.*, 2011).

A concentração de sucos de frutas é realizada classicamente por processamento térmico, porém, a utilização do calor apresenta uma série de desvantagens, como a perda de compostos voláteis que formam o aroma, alterações no sabor, perda de vitaminas e de outros compostos bioativos (JIAO, CASSANO e DRIOLI, 2004).

Dentre os processos de clarificação e concentração de sucos de frutas utilizando membranas estão a microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose inversa e evaporação osmótica.

Osmose inversa é o processo de concentração por membranas onde a pressão aplicada é maior que a pressão osmótica do suco, favorecendo a permeação do solvente da região de maior concentração para região de menor concentração. O processo é realizado a baixas temperaturas, não havendo mudança de fase na remoção do solvente, mantendo as características naturais do suco (MULDER, 1991; JIAO, CASSANO e DRIOLI, 2004). Esse processo vem sendo utilizado na pré-concentração de sucos de frutas, não sendo possível a concentração a valores superiores a 30°Brix devido ao aumento da pressão osmótica do suco (GURAK *et al.*, 2010; PAP *et al.*, 2010; ECHAVARRÍA *et al.*, 2012).

Evaporação osmótica é um processo de concentração onde uma membrana hidrofóbica porosa separa a solução que será concentrada de uma solução hipertônica (em geral uma salmoura). Nesse caso, a força motriz para o transporte é a diferença de

concentração entre os dois lados da membrana (KUNZ, BENHABLES E BEN-AIM, 1996; JIAO, CASSANO E DRIOLI, 2004). Esse processo vem sendo avaliado para a concentração de sucos de frutas a temperatura ambiente (HONGVALEERAT *et al.*, 2008; PAGANI, 2010; CISSÉ *et al.*, 2011).

A microencapsulação é o processo onde o agente ativo é aprisionado por meio de uma cobertura de polímeros com a liberação desses agentes ativos ocorrendo em condições específicas, protegendo o material das condições adversas do meio, promovendo a estabilidade do produto e o aumento da sua vida útil. A principal forma de obtenção das microcápsulas é pelo processo de atomização (GOULA, 2005; GHARSALLAOUI *et al.*, 2007). O processo de microencapsulação vem sendo usado para proteger e melhorar a estabilidade de compostos bioativos presentes em alguns sucos de frutas, como açai e camu-camu (TONON, BARBET e HUBINGER, 2009; DIB TÁXI, 2001).

O objetivo deste projeto foi avaliar o uso dos processos de separação com membranas e o microencapsulamento para o processamento do suco de camu-camu. Especificamente,

- Obter suco clarificado de camu-camu por microfiltração;
- Avaliar o acoplamento dos processos de osmose inversa e evaporação osmótica para a concentração de suco de camu-camu clarificado;
- Obter por microencapsulação, um produto desidratado e estável, a partir do suco de camu-camu retido no processo de microfiltração;
- Realizar a caracterização físico-química e química dos sucos de camu-camu clarificado, pré-concentrado, concentrado e desidratado.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Camu-camu

O camu-camu (*Myrciaria dúbia* H. B. K. (McVaugh) é o fruto de um arbusto de pequeno porte pertencente à família *Myrtaceae* e se encontra disperso em quase toda região amazônica, desde o estado do Pará até o Peru (ZANATTA, 2004; SMIDERLE E SOUZA, 2008; VILLANUEVA-TIBURCIO, CONDEZO-HOYOS E ASQUIERI, 2010). Dependendo da região onde é cultivado, pode receber diversos nomes, por exemplo, do estado do Pará até a Amazônia peruana é chamado de camu-camu, enquanto que em algumas partes da região da Amazônia central e estado de Roraima, de açari. Os frutos de camu-camu tem como característica formato redondo de 2,5 centímetros de diâmetro (ZANATTA *et al.*, 2005; INPA, 2008).

O aspecto do fruto de camu-camu é apresentado na figura 1.



Figura 1: Aspecto dos frutos de camu-camu (Fonte: Frutas e flores exóticas, 2011, Guarei, 2011)

O camucamuzeiro mede entre 3 e 8 metros de altura, sendo o período da colheita compreendido entre dezembro e março. A localização geográfica do camu-camu restringe-se, normalmente, a beira de rios, lagos e igarapés tanto de águas claras como de águas escuras e também em regiões alagadas, apresentando tolerância a inundação por quatro ou cinco meses, com a parte inferior do seu caule permanecendo submersa (DIB TAXI, 2001; YUYAMA, AGUIAR E YUYAMA, 2002; ZANATTA, 2004; ZAMUDIO, 2007). Ilustrações de árvores de camu-camu são apresentadas na figura 2.



(A)



(B)

Figura 2: A) *Árvore do camu-camu ou camucamuzeiro* (Fonte: [bidnetwork.org](http://bidnetwork.org)) e B) *Camucamuzeiro em uma região alagada* (Fonte: [amazonprosperity.com](http://amazonprosperity.com))

Os principais mercados importadores dos produtos derivados de camu-camu, como a polpa, o extrato e o suco são o Japão e a União Européia. A polpa tem sido utilizada na obtenção de sucos, sorvetes e geléias. Os frutos de camu-camu, tanto fatiados como na sua forma integral também são utilizados para a obtenção de produtos desidratados. Devido ao alto teor de vitamina C e outras substâncias bioativas, o camu-camu apresenta-se como uma fonte promissora desses compostos, podendo ser usado como alimento funcional (INPA, 2011; CHIRINOS *et al.*, 2010; ARKTER *et al.*, 2011). Os frutos de camu-camu têm como principal característica alto teor de vitamina C, apresentando valores que podem variar entre 1000 e 6000 mg de ácido ascórbico/100g (JUSTI *et al.*, 2000; RODRIGUES *et al.*, 2004; SMIDERLE, 2008; CHIRINOS *et al.*, 2010, YUYAMA *et al.*, 2002). Um exemplo da composição centesimal, físico-química e química do camu-camu está apresentada na quadro 1.

O camu-camu é considerado também uma excelente fonte de polifenóis, apresentando valores superiores a 1000 mg de ácido gálico/100g. Dependendo da região de cultivo, a polpa de camu-camu apresenta teor de antocianinas que pode variar entre 40 e 80 mg/100g e teor de carotenóides entre 0,4 e 1,0 mg/100g. (MAEDA *et al.*, 2006; ZANATA e MERCADANTE, 2007; BARRETO, 2008; CARVALHO, 2009; RUFINO *et al.*, 2010; VILLANUEVA-TIBURCIO, CONDEZO-HOYOS e ASQUIERI, 2010).

*Quadro 1: Composição centesimal, físico-química e química de frutos de camu-camu.*

<b>Umidade (g/100g)</b>	94,1
<b>Proteína (g/100g)</b>	0,4
<b>Cinzas (g/100g)</b>	0,3
<b>Fibra bruta (g/100g)</b>	0,1
<b>Lipídeos (g/100g)</b>	0,2
<b>Sódio (mg/kg)</b>	111,3
<b>Potássio (mg/kg)</b>	838,8
<b>Cálcio (mg/kg)</b>	157,3
<b>Magnésio (mg/kg)</b>	123,8
<b>Ferro (mg/kg)</b>	5,3
<b>Manganês (mg/kg)</b>	21,1
<b>Zinco (mg/kg)</b>	3,6
<b>Cobre (mg/kg)</b>	2,0
<b>Sólidos solúveis (°Brix)</b>	6,4
<b>Acidez total titulável (%)</b>	2,86
<b>pH</b>	2,44
<b>Amido (%)</b>	0,44
<b>Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g)</b>	2061,0

Fonte: Justi *et al.*, 2000; Alves *et al.*, 2002.

Esses fatores, em especial a vitamina C e os compostos fenólicos contribuem para a elevada capacidade antioxidante da polpa de camu-camu.

Na Tabela 1 estão apresentadas os dados de composição em compostos fenólicos totais, carotenóides e atividade antioxidante da polpa de camu-camu e de outras frutas, reportados por Rufino *et al.* (2010).

*Tabela 1: Substâncias bioativas, compostos fenólicos e atividade antioxidante de algumas frutas tropicais.*

<b>Frutas</b>	<b>Vitamina C (mg/100g)</b>	<b>Antocianinas totais (mg/100g)</b>	<b>Carotenóides (mg/100g)</b>	<b>Compostos fenólicos (mg ácido gálico/100g)</b>	<b>TEAC (<math>\mu</math>mol Trolox/g)</b>
<b>Açaí</b>	84,0	111,0	2,8	454,0	15,1
<b>Acerola</b>	1357,0	18,9	1,4	1063,0	96,6
<b>Bacuri</b>	2,4	0,3	-	23,8	n.d.
<b>Cajá</b>	26,5	-	0,7	72,0	7,8
<b>Caju</b>	190,0	9,5	0,4	118,0	11,2
<b>Camu- camu</b>	1882,0	42,2	0,4	1176,0	153,0
<b>Carnaúba</b>	78,1	4,1	0,6	338,0	10,7
<b>Gurguri</b>	27,5	3,3	4,7	549,0	35,5
<b>Jaboticaba</b>	238,0	58,1	0,32	440,0	37,5
<b>Jambolão</b>	112,0	93,3	0,51	185,0	29,7
<b>Jussara</b>	186,0	192,0	1,9	755,0	78,3
<b>Mangaba</b>	190,0	0,4	0,3	169,0	14,6
<b>Murici</b>	148,0	0,5	1,1	n.d.	n.d.
<b>Murta</b>	181,0	143,0	0,5	610,0	49,1
<b>Puçá- coroa-de- frade</b>	41,1	3,7	3,4	268,0	38,5
<b>Puçá- preto</b>	28,9	103,0	4,2	868,0	125,0
<b>Umbu</b>	18,4	0,3	1,0	90,4	6,3
<b>Uvaia</b>	39,3	1,13	1,7	127,0	18,0

Fonte: Rufino *et al.*, 2010

## 2.2 Antioxidantes

Atualmente, os compostos fitoquímicos encontrados em frutas e vegetais vêm atraindo grande atenção de diversos pesquisadores na prevenção de doenças causadas pelo estresse oxidativo. O estresse oxidativo, que consiste na liberação de radicais livres do oxigênio pelo corpo, tem ocasionado uma série de doenças, como disfunção cardiovascular, catarata, câncer, reumatismo e diversas outras doenças, além de causar envelhecimento precoce. Esses compostos fitoquímicos, como os antioxidantes, protegem as células dos radicais livres (KAUR & KAPOOR, 2001).

Os antioxidantes são substâncias que inibem a propagação e formação de radicais livres através de um ou mais mecanismos como: a eliminação de espécies que iniciam a peroxidação; quelar íons metálicos, com o objetivo de impedir a geração de espécies reativas; impedir a formação de peróxidos; impedir a reação em cadeia autooxidativa; diminuir as concentrações localizadas de  $O_2$ . A eficácia dos antioxidantes difere de acordo com as características antioxidantes de cada uma dessas substâncias e da localização do antioxidante em um determinado alimento. O acesso dos antioxidantes aos radicais livres deve-se ao potencial químico do antioxidante e solubilidade em óleo, principalmente em emulsões e sistemas micelares de membranas (BREWER, 2011).

Com o objetivo de prevenção contra os radicais livres, ou espécies reativas de oxigênio (ROS), o corpo necessita de uma defesa eficaz, como os antioxidantes. Os antioxidantes atuam neutralizando os radicais livres através da doação de seus próprios elétrons. Essas substâncias não se tornam radicais livres devido a sua estabilidade. Sendo assim, os antioxidantes podem muito bem ser definidos como as substâncias que são capazes de extinguir ou estabilizar os radicais livres (KAUR & KAPOOR, 2001).

Os estudos realizados a respeito dos antioxidantes naturais apontam que os mesmos auxiliam na prevenção de doenças cardiovasculares, impedindo a oxidação do colesterol LDL, prevenindo também contra a oxidação de outros lipídeos presentes no sangue, podendo ocasionar aumento na velocidade dos processos escleróticos (CIESLIK, GREDA e ADAMUS, 2004).

Segundo a agência americana *Food and Drug Administration* (FDA), os antioxidantes são substâncias utilizadas para conservar alimentos, retardando a rancidez, deterioração ou mudança de cor ocasionada pela oxidação. Um dos exemplos de deterioração de alimentos é a chamada deterioração lipídica, ocorrida no processamento e durante o armazenamento de alimentos. Dentre os problemas causados pelas substâncias formadas pela peroxidação lipídica destacam-se a mutagênese celular, a carcinogênese e o envelhecimento celular (KAUR & KAPOOR, 2001).

Frutas e vegetais apresentam substâncias bioativas, conferindo benefícios à saúde humana, além da nutrição básica. Apresentam-se como fonte de substâncias antioxidantes, podendo atuar na redução de problemas cardiovasculares. O consumo de frutas e vegetais também tem sido relacionado à redução de doenças como o câncer (KAUR & KAPOOR, 2001).

Dentre os principais antioxidantes encontrados em frutas e vegetais, destacam-se os polifenóis, flavonóides, isômeros conjugados do ácido linoleico, D-limoneno, epigallocatequina, galato de propila, isoflavanonas, vitaminas A, B, C, E, tocoferóis, clorofilina, sulfuretos, catequina, tetrahidrocurecumina, seasaminol, glutatona, ácido úrico, indóis, tiocianatos, carotenóides e inibidores da protease (KARAKAYA & KAVAS, 1999; SCHREINER & HUSKENS-KIEL, 2006; BREWER, 2011).

Dentre os exemplos de ação de antioxidantes contra os radicais livres, um deles é o mecanismo de sequestro de radicais livres pelos flavonóides, apresentado na figura 3.

Algumas das principais fontes de antioxidantes presentes em frutas e vegetais são apresentados na tabela 2.

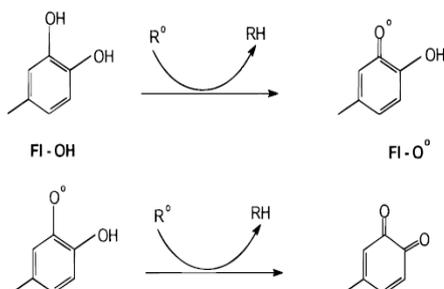


Figura 3: Mecanismo de seqüestro de radicais livres pelos flavonóides. (Fonte: PIETTA, 2000).

Tabela 2: Fontes de antioxidantes presentes em frutas e vegetais.

Frutas e Vegetais	Antioxidantes
Berries	Flavonóides, ácidos hidroxicinâmicos, ácidos hidroxibenzóicos, antocianinas
Cerejas	Ácidos hidroxicinâmicos, antocianinas
Uvas negras	Antocianinas, flavonóis
Frutas cítricas	Flavanonas, flavonóides, ácidos fenólicos
Ameixas, maçãs, pêras, kiwi	Ácidos hidroxicinâmicos, catequinas
Beringela	Antocianinas, ácidos hidroxicinâmicos
Chicória, alcachofra	Ácidos hidroxicinâmicos
Salsa	Flavonas
Ruibarbo	Antocianinas
Folhas de batata doce	Flavonois, flavonas
Cebola amarela, Alho-poró, couve	Flavonóis
Feijão	Flavonoides
Espinafre	Flavonóides, ácido cumárico
Farinhas de aveia, trigo, arroz	Ácidos caféico e ferúlico

Fonte: Dimitrios (2006)

### 2.2.1 Radicais livres

Radicais livres são moléculas muito reativas e instáveis, energizadas com elétrons desemparelhados. Alguns exemplos de radicais livres são o radical superóxido ( $O_2^-$ ), hidroxila ( $HO^\cdot$ ), hidroperóxido ( $HOO^\cdot$ ), peróxido ( $ROO^\cdot$ ) e alcóxila ( $RO^\cdot$ ). Outros compostos reativos ao oxigênio podem ser produzidos no corpo, como o óxido nítrico (NO) e o peroxinitrílo ( $ONOO^\cdot$ ) (PRIOR & CAO, 2000; PIETTA, 2000; BREWER, 2011).

O mecanismo de ação dos radicais livres consiste em reagir com outros compostos, a fim de capturar o número máximo de elétrons possíveis com o intuito de se estabilizarem. A molécula que sofre a perda do elétron também se torna um outro radical livre, gerando uma reação em cadeia. Quando esse processo é gerado, ocorre a peroxidação lipídica, onde

as membranas celulares sofrem desestabilização e desintegração, ocorrendo também a oxidação de outros componentes como as proteínas e o DNA, que resulta na ruptura das células (HALLIWELL *et al.*, 1995).

O mecanismo de formação dos radicais livres é apresentado na figura 4.

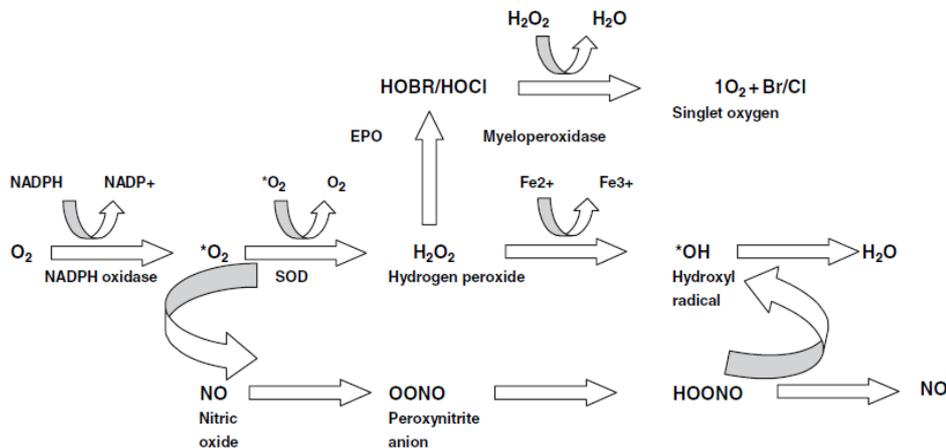


Figura 4: Mecanismo biológico para a formação de radicais livres. (Fonte: VATTEN & SHETTY, 2005).

### 2.3 Compostos Fenólicos

São compostos encontrados em vegetais com grande potencial antioxidante. Atualmente, estudos indicam que esses compostos são de grande importância na prevenção de doenças, também auxiliando na promoção da saúde em humanos. Os compostos fenólicos, além de serem relacionados à proteção da saúde humana, ainda apresentam função de defesa nos vegetais contra ataques de pragas. Já nos seres humanos, a reação ocorre contra os radicais livres (GIADA; MANCINI-FILHO, 2006).

Os compostos fenólicos são constituídos de um anel aromático com mais de um, ou apenas um, substituintes hidroxílicos, dentre as quais se incluem os seus grupos funcionais (SHAHIDI; NACZK, 1995).

Além das propriedades associadas como antioxidante de alimentos, os compostos fenólicos também têm sido relacionados com qualidades importantes nos alimentos, como a cor e características sensoriais (MAGA, 1978; NERGIZ, 1991). O papel dos fenólicos em alimentos tem sido avaliado através da prevenção do escurecimento enzimático e do seu papel como conservante (SHAHIDI & NACZK, 1995).

Dentre os grupos de polifenóis existentes, um dos mais abundantes são os flavonóides, muito comum em alimentos de origem vegetal, como frutas e vegetais. Como exemplo de alimentos ricos em flavonóides destacam-se os vegetais amarelos e vermelhos, couve, cebola, brócolis, tomates, pimentões, entre outros. Além de frutas como toranjas, laranjas, “berries”, groselhas vermelhas e pretas, uvas escuras e maçãs (CIESLIK, GREDA & ADAMUS, 2004).

A determinação da capacidade antioxidante dos compostos fenólicos varia de acordo com a sua estrutura, principalmente com o fato da facilidade de doação de um átomo de hidrogênio a partir de um grupo hidroxila aromático para um radical livre, além

da capacidade dos compostos aromáticos presentes nos compostos fenólicos de se apoiarem em um elétron não emparelhado como o resultado de deslocalização do sistema M-elétron (ROSS & KASUM, 2002).

Os polifenóis, para que sejam considerados substâncias antioxidantes, devem atender as seguintes condições: a primeira condição seria, quando os polifenóis estiverem presentes em baixas concentrações em relação ao substrato a ser oxidado, possa atrasar, retardar ou inibir a ação de radicais livres; a outra condição seria, que os radicais livres, após a reação com os polifenóis, permaneçam estáveis. A estabilidade dos polifenóis está relacionada as ligações de hidrogênio intramolecular ou a oxidação adicional (KAUR & KAPOOR, 2001).

Segundo DIMITRIOS (2006), diversos trabalhos sobre os compostos fenólicos vêm sendo apresentados pela comunidade científica, destacando-se alguns temas como:

- Níveis e estrutura química dos fenóis antioxidantes em alimentos vegetais, plantas aromáticas e materiais vegetais diversos;
- O papel dos fenólicos presentes nas plantas na prevenção de várias doenças associadas ao estresse oxidativo, como doenças cardiovasculares, doenças neurodegenerativas e câncer;
- A capacidade dos fenólicos das plantas para modular a atividade de enzimas;
- Estabilização de óleos comestíveis, proteção contra a formação de *off-flavour* e estabilização de sabores;
- Preparação de suplementos alimentares.

## 2.4 Vitamina C

As vitaminas são grupos de substâncias compreendidos em diversos compostos orgânicos, encontrados em diversos alimentos e essenciais na promoção da saúde humana mesmo sendo ingeridos em quantidades mínimas (BOBBIO & BOBBIO, 1995; ARANHA *et al.*, 2000; ROSA *et al.* 2007; FENNEMA, 2010).

Os estudos sobre vitaminas vêm sendo realizados desde o século XVIII, com os experimentos de Lavoisier, até o início do século XX, quando Funk levantou a teoria de haver uma vitamina fundamental na saúde do organismo humano (ARANHA *et al.*, 2000; ROSA *et al.* 2007).

A vitamina C é um micronutriente essencial que apresenta muitas funções biológicas e bioquímicas e pode apresentar-se em duas conformações: L-ácido ascórbico, que é a sua forma biologicamente ativa e a sua forma oxidada, L-ácido deidroascórbico. As duas formas são biologicamente ativas e são encontradas em tecidos orgânicos. O ácido deidroascórbico pode ser facilmente convertido em ácido ascórbico, e, ao ser oxidado novamente, transforma-se no ácido dicetogulônico, causando uma inativação irreversível da vitamina C (ARANHA *et al.*, 2000; ZAMUDIO, 2007). A estrutura da vitamina C e a reação onde ocorre a transformação do ácido ascórbico em ácido deidroascórbico e a transformação deste em ácido dicetogulônico são apresentadas na figura 5.

Os seres humanos não são capazes de sintetizar a vitamina C. Isso ocorre devido à ausência da enzima L-glucolactona oxidase no corpo humano, sendo assim, os seres humanos não podem transformar a glicose do sangue em ácido ascórbico (Levine *et al.*, 1999; Aranha *et al.*, 2000; Rosa *et al.*, 2007). A vitamina C é encontrada em concentrações razoáveis em todas as plantas superiores. Fontes extremamente ricas nessa vitamina são vegetais verdes frescos e frutas cítricas (BOBBIO & BOBBIO, 1995).

A vitamina C atua no organismo como antioxidante. A ingestão da vitamina C pode auxiliar na prevenção da oxidação do colesterol LDL, atuando como agente de redução química extracelular. A oxidação do colesterol LDL ocorre através de uma modificação oxidativa devido a peroxidação lipídica. A vitamina C também pode atuar: na redução de oxidantes e nitrosaminas do suco gástrico; redução de oxidantes extracelulares; aumento da dilatação dos vasos sanguíneos; diminuição da oxidação do DNA e/ou danificação das proteínas. A vitamina C atua na prevenção de resfriados, especialmente durante a temporada de temperaturas mais baixas, pois nessa época ocorre a diminuição da imunoglobulina no organismo humano e a vitamina C auxilia no restabelecimento da quantidade de imunoglobulina (LEVINE *et al.*, 1999; ZAMUDIO, 2007).

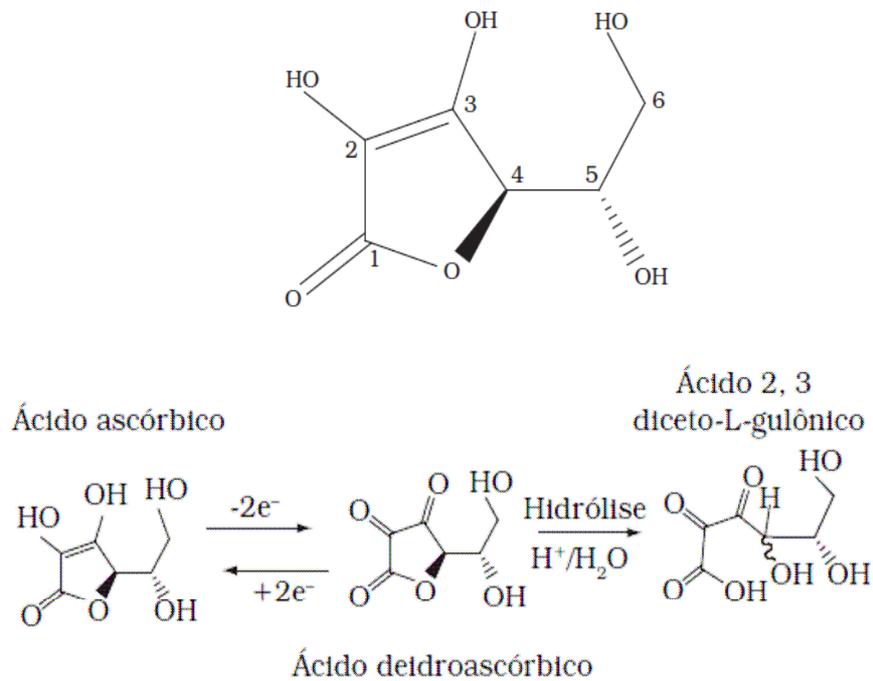


Figura 5 - Estrutura da vitamina C e transformação do ácido ascórbico nos ácidos deidroascórbico e dicetogulônico. (Fonte: Bobbio & Bobbio, 1995).

O consumo regular de frutas e hortaliças também ajuda na prevenção de doenças como o escorbuto. A tabela 3 indica a ingestão diária recomendável (IDR) para o consumo de vitamina C.

Tabela 3: Ingestão diária recomendável de vitamina C<sup>1</sup>.

	IDR homens (mg/dia)	IDR mulheres (mg/dia)
Bebês de 0 a 6 meses	40	40
Bebês de 7 a 12 meses	50	50
Crianças de 1 a 3 anos	15	15
Crianças de 4 a 8 anos	25	25
9 a 13 anos	45	45
14 a 18 anos	75	65
19 a 70 anos	90	75
Grávidas menores de 18 anos	-	80
Grávidas entre 19 e 50 anos	-	85
Lactantes menores de 18 anos	-	115
Lactantes entre 19 e 70 anos	-	120

Fonte: National Academy of Science (2000)

<sup>1</sup> Indivíduos fumantes necessitam de um acréscimo de 35 mg/dia a mais.

Os critérios para a determinação da ingestão da vitamina C são: prevenção ao escorbuto; excreção urinária, absorção de vitamina C pelo organismo e perdas associadas ao processamento de alimentos (LEVINE *et al.*, 1999).

Além dos benefícios da vitamina C como antioxidante, essa vitamina também exerce importante ação com respeito a disponibilidade de minerais como o ferro, indicando que o consumo de alimentos com alto teor de vitamina C, aliado a substâncias como a cisteína, aumentam a disponibilidade de ferro em alimentos ricos neste mineral (FANTINI *et al.*, 2008).

Para maior estabilidade da vitamina C, é necessário que os alimentos ricos nessa vitamina sejam armazenados a baixas temperaturas, porém, podem ocorrer perdas durante o congelamento ou refrigeração e degradação pela luz (BOBBIO & BOBBIO, 1995; FERNANDES *et al.*, 2007; ROSA *et al.*, 2007).

## 2.5 Processamento de Separação por Membranas

Membranas são barreiras que separam duas fases e que restringem, total ou parcialmente, o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases (HABERT *et al.*, 2006). Nestes processos, a corrente de entrada no sistema (alimentação) é fracionada em duas, uma de concentrado ou retido e outra de permeado, conforme ilustrado na Figura 6.

Esses processos apresentam muitas vantagens em relação aos processos clássicos de separação. Em geral, a separação ocorre à temperatura ambiente, sem mudanças de fase e sem necessidade de usar uma fonte térmica, o que resulta em uma considerável economia de energia. Como a separação é realizada em condições brandas, a qualidade do produto final é superior (HABERT *et al.*, 2006).

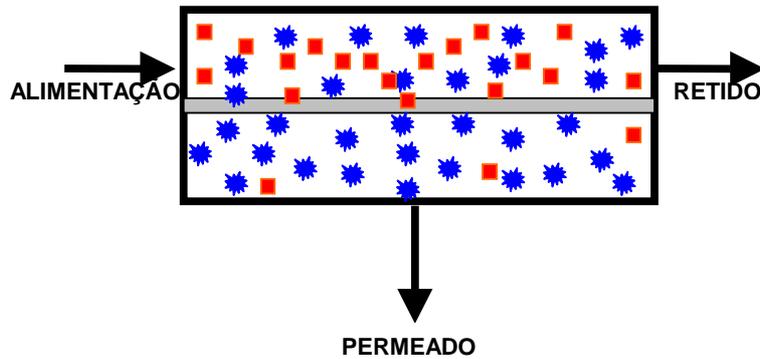


Figura 6: Representação esquemática de um processo de separação com membrana.

Membranas podem ser classificadas em relação a diferentes fatores (HABERT *et al.*, 2006, CHERYAN, 1998):

- Estrutura morfológica: membranas densas e porosas, sendo que, em cada um desses tipos, as membranas podem ser isotrópicas (simétricas) ou anisotrópicas (assimétricas);
- Natureza do material: naturais ou sintéticas;
- Composição química do material: orgânicas (poliméricas) ou inorgânicas (cerâmica, vidro e metais).

O esquema representando a forma das membranas densas e porosas, podendo ser isotrópicas e anisotrópicas, está representado na figura 7.

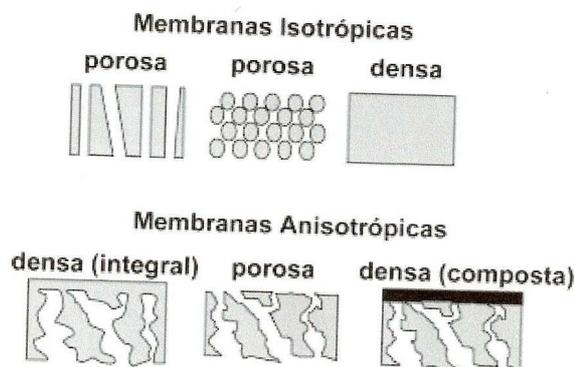
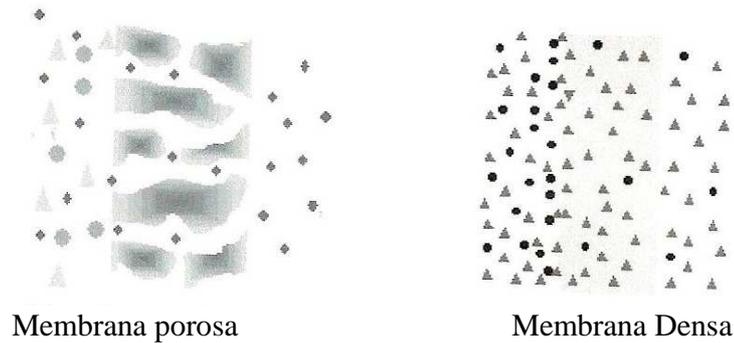


Figura 7: Esquema de representação da forma das membranas (Fonte: HABERT *et al.*, 2006).

Com relação às características das membranas densas e porosas, no caso das membranas porosas o que irá determinar a permeação ou não das moléculas é a diferença de tamanho entre as mesmas e os poros da membrana. O material da membrana não influencia significativamente na sua seletividade. Enquanto que nas membranas densas, o que vai determinar a eficiência da membrana é a característica físico-química do material que é feita a membrana e da sua espessura. (HABERT *et al.*, 2006). O esquema que representa o transporte nas membranas porosas e densas é apresentado na figura 8.



*Figura 8: Transporte através das membranas porosa e densa (Fonte: HABERT et al., 2006).*

Para esses processos poderem separar constituintes de um fluido, precisa-se aplicar uma força motriz que, dependendo do tipo de processo, pode ser: diferença de pressão, diferença de concentração ou até mesmo diferença de potencial elétrico (HABERT *et al.*, 2006). Os principais processos de separação por membranas, assim como as suas aplicações, são apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Principais processos de separação por membranas e suas aplicações.

<b>Processo</b>	<b>Força Motriz</b>	<b>Material Retido</b>	<b>Material Permeado</b>	<b>Aplicações</b>
Microfiltração (MF)	$\Delta P$ (0,5-2 atm)	Material em suspensão com PM superior a 500 kDa (0,01 $\mu m$ )	Água e sólidos dissolvidos	Esterilização bacteriana; clarificação de vinhos e cervejas; concentrações de células; oxigenação de sangue; clarificação de sucos de frutas
Ultrafiltração (UF)	$\Delta P$ (1-7 atm)	Colóides; Macromoléculas. PM superior a 5kDa	Água e sais solúveis de baixa massa molecular	Fracionamento/concentração de proteínas; recuperação de pigmentos/óleos
Nanofiltração (NF)	$\Delta P$ (5-25 atm)	Moléculas de massa molar entre 500 e 2000 Da	Água, sais e moléculas de baixa massa molar	Purificação de enzimas; bioreatores a membrana
Osmose Inversa (OI)	$\Delta P$ (15-80 atm)	Todo material solúvel ou em suspensão	Água	Dessalinização de águas; concentração de sucos de frutas; desmineralização de águas.
Diálise (D)	$\Delta C$	Moléculas de massa molar superior a 5 kDa	Íons e orgânicos de baixa massa molar	Hemodiálise; rim artificial; recuperação de NaOH.
Permeação de Gases (PG)	$\Delta P$ e $\Delta C$	Gás menos permeável	Gás mais permeável	Recuperação de hidrogênio; separação CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> ; Fracionamento do ar.
Pervaporação (PV)	Pressão de Vapor	Líquido menos permeável	Líquido mais permeável	Desidratação de álcoois; eliminação de VOC da água.

Fonte: Habert *et al.* (2006).

Apesar da série de vantagens apresentadas na utilização dos processos de separação utilizando membranas, esse tipo de processo apresenta algumas limitações, como a polarização de concentração, a incrustação, também conhecido com *fouling* e a redução do fluxo permeado ao longo do processo (HABERT *et al.*, 2006).

Durante o processamento de soluções utilizando os processos de separação por membranas, por causa da seletividade da membrana, sempre haverá a concentração da fração retido na superfície da membrana, independente do tipo de filtração, seja ele frontal ou tangencial. Nos processos de filtração do tipo frontal ocorre o processo conhecido como difusão, que é a dispersão das partículas sólidas na solução. Porém, mesmo com o processo de difusão atuando na filtração do tipo frontal, ocorre aumento da concentração de soluto na superfície da membrana. Já nos processos em que o tipo de filtração empregado é o tangencial, ocorre um equilíbrio entre o soluto arrastado em direção a membrana, através do solvente e a quantidade de soluto difundido na superfície da membrana, ocasionando a concentração do soluto na superfície da membrana durante o processamento, tendo como consequência a queda no fluxo permeado. Esse fenômeno é conhecido como polarização de concentração (HABERT *et al.*, 2006).

Além da polarização da concentração, outro processo é responsável pela queda do fluxo permeado durante o processamento com membranas. Enquanto a polarização da concentração ocorre no início do processo, observa-se, no decorrer do processamento, a estabilização do fluxo permeado, seguido da queda do fluxo a valores muito baixos, indicando que o processo não pode continuar a ser realizado (HABERT *et al.*, 2006). Esse fenômeno, conhecido como incrustação, ou *fouling*, consiste no acúmulo de soluto na membrana após um determinado período de processamento.

Os principais fatores que contribuem para o fouling são:

- Adsorção das moléculas de soluto na superfície da membrana → Ocorre devido a interações físico-químicas do soluto com a membrana;
- Entupimento dos poros por moléculas ou partículas em suspensão → Consiste no bloqueio dos poros, podendo ocorrer tanto na superfície da membrana, quanto no interior da mesma, dependendo do tipo de membrana. Nas membranas anisotrópicas o entupimento ocorre na superfície da membrana. Já nas membranas isotrópicas o entupimento ocorre no interior da membrana;
- Depósito de material em suspensão sobre a superfície da membrana → Ocorre a formação da torta de filtração. Em solutos com massa molar elevada, em maiores concentrações, ocorre a gelificação da solução. Enquanto que, em solutos de baixa massa molar ocorre a precipitação na superfície da membrana.

O esquema de representação da resistência de massa em membranas é demonstrado na figura 9.

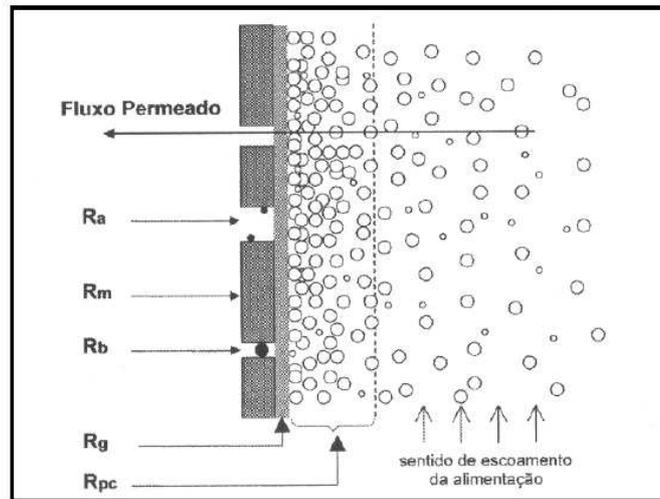


Figura 9: Resistência da massa em processos com membranas -  $R_a$  → Resistência do fenômeno de adsorção; -  $R_m$  → Resistência do transporte através da membrana; -  $R_b$  → Resistência devido ao bloqueio físico dos poros;  $R_g$  → Resistência devido a camada de gel na membrana; -  $R_{pc}$  → Resistência devido a polarização da concentração. (Fonte: HABERT *et al.*, 2006).

A indústria de sucos de frutas tem se caracterizado pela diversificação de produtos e pelo alto nível tecnológico demandado para elaboração dos mesmos. Nesse segmento, destacam-se os sucos integrais, os clarificados, os sucos concentrados, os néctares, bebidas formuladas, as bebidas gaseificadas entre muitos outros produtos (CIANCI *et al.*, 2005; KUSKOSKI *et al.*, 2006; MAEDA *et al.*, 2006).

A concentração de sucos é realizada, tradicionalmente, pelo uso de calor. O processamento térmico pode promover alterações significativas em prejuízo da qualidade sensorial e nutricional do produto, visto que estas características são conferidas por compostos voláteis e por vitaminas, na maioria das vezes termosensíveis (JIAO, CASSANO E DRIOLI, 2004).

Os processos de concentração por membranas, osmose inversa e evaporação osmótica, surgem como alternativas aos processos tradicionais de concentração. Por não envolverem mudança de fase, nem a necessidade de utilizar temperaturas elevadas, apresentam como vantagens o menor consumo de energia, além do menor impacto nas características sensoriais e nutricionais dos produtos. (CASSANO E DRIOLI, 2007).

### 2.5.1. Osmose Inversa

O fenômeno conhecido como osmose consiste na passagem do solvente com solução menos concentrada para a solução de maior concentração, ocorrendo o equilíbrio osmótico (HABERT *et al.*, 2006).

O processo conhecido como osmose inversa é um processo de separação por membrana cuja força motriz é a pressão aplicada à membrana, em que ocorre a passagem do solvente da região mais concentrada para a região de menor concentração (MULDER,

1991). A osmose inversa tem como objetivo a retenção de partículas com baixa massa molecular, sendo necessária a utilização de membranas com menor porosidade, e, por conseqüência, a utilização de maiores pressões devido a resistência de permeação (HABERT *et al.*, 2006).

Este processo tem sido avaliado como uma alternativa para a concentração de sucos de frutas e extratos vegetais, pois não envolve mudança de fase ou o uso de altas temperaturas (JESUS *et al.*, 2007; COUTO *et al.*, 2011). Uma ilustração gráfica do fluxo osmótico, equilíbrio osmótico e osmose inversa está representada na figura 10.

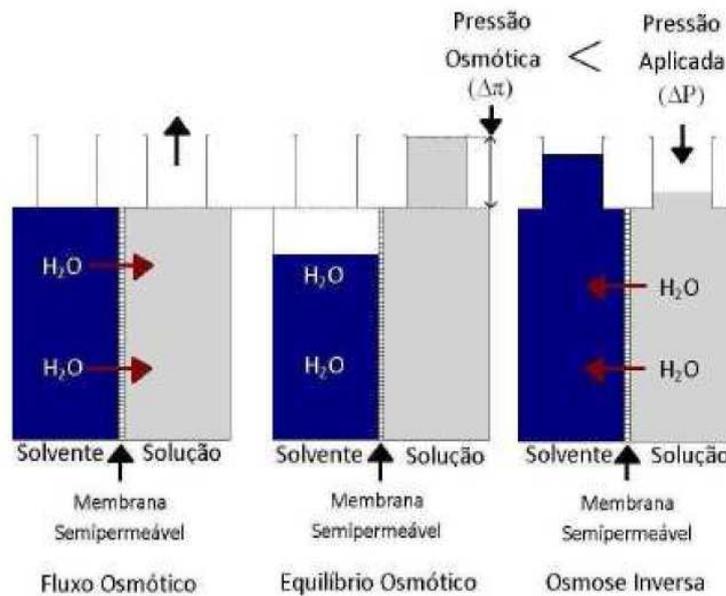


Figura 10: Esquema de representação do fluxo osmótico, equilíbrio osmótico e osmose inversa (Fonte: Santana, 2009).

O fluxo permeado do solvente é calculado a partir da equação 2.1:

$$J = A/\eta (\Delta P - \Delta \pi) \quad [\text{eq. 2.1}]$$

Onde: J é o fluxo permeado; A é o coeficiente de permeabilidade da membrana;  $\Delta P$  é a pressão aplicada a membrana;  $\Delta \pi$  é a diferença de pressão osmótica entre a alimentação e o permeado;  $\eta$  é a viscosidade da alimentação.

Para o cálculo da permeabilidade é utilizada a equação 2.2:

$$P = 1 / (R_m + R_f) \quad [\text{eq. 2.2}]$$

onde:  $R_m$  é a resistência ao transporte devido a membrana, quando o solvente for água pura;  $R_f$  é a resistência devido a polarização da concentração e ao fouling.

Os processos utilizando osmose inversa retém partículas numa faixa entre 1 e 10 Å de diâmetro, permitindo apenas a passagem de água como permeado, servindo de barreira para as moléculas inorgânicas e os sais dissolvidos, permitindo a passagem de moléculas orgânicas com massa molecular superior a 50 Daltons (BASSETTI, 2002).

Vale ressaltar a importância de etapas anteriores à concentração de sucos de frutas por osmose inversa. Estas etapas são a centrifugação, o tratamento enzimático, além da microfiltração ou ultrafiltração (PAP *et al.*, 2010, COUTO *et al.*, 2011).

As vantagens apresentadas no processamento utilizando osmose inversa são a obtenção de produtos de excelente qualidade devido a operação utilizando temperaturas brandas, preservando as características nutricionais e reduzindo a perda de aroma dos produtos obtidos, baixo consumo de energia, além do uso de instalações compactas e de fácil operação (GIRARD & FUKUMOTO, 2000).

A concentração de sucos de frutas é uma das principais formas de agregar valor as frutas. Os sucos concentrados apresentam características como redução de peso; baixa atividade de água, retardando o crescimento de microrganismos. Além de se apresentar como uma das etapas para a obtenção de produtos secos (CASSANO & DRIOLI, 2007).

Os sucos de frutas concentrados utilizando o calor apresentam boa estabilidade microbiana, porém, os mesmos podem apresentar uma avaliação sensorial insatisfatória, devido a alteração da cor e do sabor pelo calor (CASSANO *et al.*, 2007).

As desvantagens apresentadas na concentração de sucos de frutas por osmose inversa são: o total de sólidos solúveis ao final do processo (cerca de 35 °Brix); alta pressão osmótica do suco durante o processo, entrando em equilíbrio com a pressão da bomba, impossibilitando a concentração do suco a valores de sólidos solúveis maiores (MULDER, 1991; HABERT *et al.*, 2006; CASSANO & DRIOLI, 2007).

### **2.5.1.1 Aplicação em alimentos**

Lopes *et al.* (2005), estudaram os processos integrados de clarificação por microfiltração e posterior concentração do suco de acerola por osmose inversa, onde ficou comprovado que o suco concentrado obtido por esses processos apresentou uma grande concentração de minerais e de vitamina C.

Jesus *et al.* (2007) estudaram a concentração do suco de laranja pêra por osmose inversa. Foi utilizado um módulo do tipo quadro e placas utilizando membranas compostas de polisulfona/polietileno. Foram realizados três testes com pressões de 20, 40 e 60 bar e temperatura de 25°C nos três testes. O teor de sólidos solúveis passou de 8,2°Brix no suco integral, para 16, 28,5 e 35,7°Brix, com o teor de vitamina C passando de 29,3 mg/100g do suco integral para 53,9, 82,7 e 101,1 mg/100g. Os autores realizaram a comparação do suco de laranja reconstituído com uma amostra utilizando o suco concentrado por osmose inversa e outra amostra utilizando o suco de laranja concentrado por evaporação térmica, onde ficou constatado que o suco reconstituído com o concentrado por osmose inversa

apresentou características nutricionais, de cor e aroma superiores ao suco concentrado por evaporação térmica.

Bánvolgyi *et al.* (2009) aplicaram a integração dos processos de ultrafiltração e osmose inversa na clarificação e concentração do suco de groselha. O suco foi submetido a um pré-tratamento enzimático, clarificado e concentrado em um módulo de osmose inversa composto por membranas de poliamida, com rejeição ao sal e área de permeação de 0,18m<sup>2</sup>. Foram realizados dos processos com pressões de 30 e 50 bar e temperatura de 30°C nos dois processos. O processo a 30°C e 50 bar foi o que apresentou maior aumento no teor de sólidos solúveis, passando de 10,6 °Brix do suco clarificado, para 26°Brix do suco concentrado, correspondendo a um aumento de 2,6 vezes. O suco de groselha concentrado por osmose inversa apresentou um alto teor de compostos fenólicos e alta capacidade antioxidante.

Gurak *et al.* (2010) avaliaram a qualidade nutricional do suco de uva concentrado por osmose inversa. O experimento foi realizado em um módulo de osmose inversa do tipo quadro e placas em vários binômios pressão/temperatura, com o processo realizado a pressão de 60 bar e temperatura de 20 °C o mais adequado, apresentando um fluxo médio permeado de 20,38 L h m<sup>-2</sup> e o teor de sólidos solúveis passando de 14,3°Brix do suco integral, para 28,2°Brix, ocorrendo também um aumento na concentração de compostos fenólicos, antocianinas e capacidade antioxidante.

Echavarría *et al.* (2012) utilizaram os processos de ultrafiltração e osmose inversa na clarificação dos sucos de pêssego, pêra, maçã e mandarin. Foram analisados parâmetros como teor de sólidos solúveis, viscosidade, densidade, pH, acidez, teor de amido, teor de pectina, cor e conteúdo de polpa. O teor de sólidos totais passou de 12,1 para 30 °Brix no suco de pêssego; de 11,8 para 28,9 °Brix no suco de pêra; de 12,2 para 26 °Brix no suco de maçã e de 10,5 para 22,5 °Brix no suco de mandarin. Em todas as amostras ocorreu a remoção de amido e pectina, mantendo todos os outros parâmetros estáveis.

### 2.5.2 Evaporação osmótica

Evaporação osmótica (EO), também chamada de destilação osmótica, é um processo de concentração por membranas que pode ser operado à temperatura ambiente e pressão atmosférica, sendo assim um atrativo processo de membrana alternativa para a concentração de soluções aquosas que contêm compostos termosensíveis (frutas e hortaliças, leite, café instantâneo, chá e soluções farmacêuticas) (GABINO *et al.*, 2006).

O processo de concentração por evaporação osmótica pode alcançar altos valores de sólidos solúveis, superiores a 60 °Brix, mantendo as características nutricionais do produto (CASSANO *et al.*, 2003; CASSANO *et al.*, 2006; CISSÉ *et al.*, 2011).

A evaporação osmótica é um processo por membranas no qual duas soluções aquosas com diferentes concentrações são separadas por uma membrana hidrofóbica porosa. Devido à hidrofobicidade dos materiais, o ar permanece aprisionado nos poros e uma interface líquido-vapor é criada em cada lado da membrana. A diferença de concentração entre os dois compartimentos de líquidos provoca um gradiente de pressão de vapor através da membrana, que constitui a força motriz da transferência de água. A água evapora a partir da solução de alta atividade de água e o vapor é transportado através dos poros da membrana por difusão, antes de ser condensado em solução de menor atividade de água. Este processo é conduzido a uma temperatura ambiente e pressão atmosférica e

permite a extração seletiva de água de soluções aquosas, concentrando-as, evitando a degradação térmica (Alves *et al.*, 2004; Rodrigues *et al.*, 2006). O princípio geral do funcionamento da evaporação osmótica está representado através da figura 11.

Nos processos de concentração por evaporação osmótica existem dois tipos de resistência: a resistência da membrana ao transporte de água e a resistência da concentração de solutos na superfície da membrana, que ocorre devido a remoção de água do líquido submetido a concentração, ocorrendo também uma resistência devido ao aumento de água na parte da membrana onde se encontra a solução salina. Esse processo é chamado de polarização de concentração. Uma forma de diminuir os efeitos causados pelas camadas polarizadas seria através do aumento da velocidade do fluxo da solução a ser concentrada e da solução salina (MARTINS, 2006).

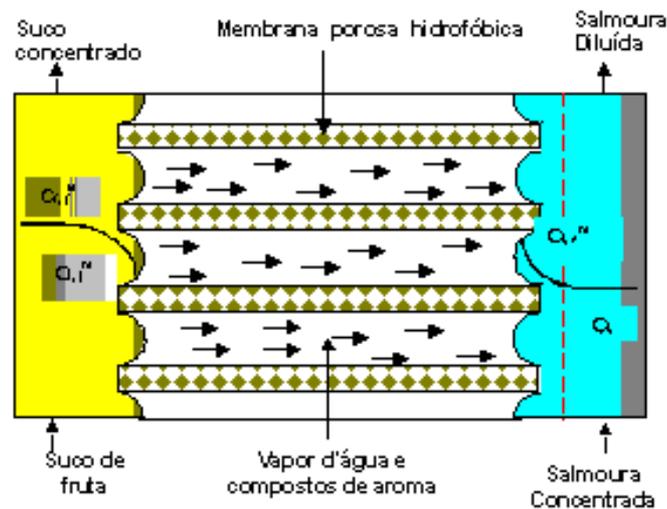


Figura 11: Princípio geral do funcionamento da evaporação osmótica (Fonte: Rodrigues *et al.*, 2006).

Segundo Alves *et al.* (2004) o fluxo permeado é proporcional a diferença de pressão do vapor de água através da membrana, representada pela equação 2.4:

$$J_w = K_{mp} (P_{ws} - P_{wt}) \quad [\text{eq. 2.4}]$$

Onde:

$J_w$  é o fluxo permeado;  $K_{mp}$  é o coeficiente de transferência de massa da membrana;  $P_{ws}$  é a pressão do vapor de água pura no lado da membrana correspondente ao líquido que se deseja concentrar;  $P_{wt}$  é a pressão do vapor de água pura no lado da salmoura.

As membranas utilizadas no processo de evaporação osmótica devem ser constituídas de polímeros hidrofóbicos, além de serem microporosas. Nesse tipo de membrana deve-se observar a distribuição dos poros ao longo da membrana, assim como a

sua porosidade e espessura. Quanto maior a porosidade da membrana, maior o fluxo permeado, porém, o tamanho dos poros não deve ser muito grande para que não ocorra a entrada de líquido na membrana. Com relação a espessura da membrana, quanto menor for a mesma, menor o percurso do fluxo permeado, proporcionando o aumento do fluxo (MARTINS, 2006).

Quanto aos materiais hidrofóbicos que constituem as membranas utilizadas nos processos de evaporação osmótica, as mesmas podem ser constituídas de polifluoreto de vinilideno (PVDF), polipropileno (PP) ou politetrafluoretileno (PTFE), também conhecido como Teflon<sup>®</sup>. O diâmetro dos poros da membrana varia na faixa entre 0,2 e 1,0  $\mu\text{m}$ , com uma porosidade global entre 60 e 80% e espessura variando entre 80 e 250  $\mu\text{m}$  (PETROTOS & LAZARIDES, 2001).

A hidrofobicidade das membranas é desejada, uma vez que não é permitida a entrada de líquido na membrana. Para que isso não aconteça é necessário uma diferença de pressão mínima em ambos os lados da membrana. Caso haja uma diferença de pressão muito grande em qualquer um dos lados da membrana, haverá a passagem ou do líquido que se deseja concentrar, ou a passagem da solução salina para a membrana, inviabilizando o processo de concentração (COUREL, 2001).

Para uma operação bem sucedida de EO, é fundamental que a solução aquosa não entre no interior dos poros. Esta exigência pode ser cumprida se a superfície da membrana é suficientemente hidrofóbica e a tensão superficial da fase líquida é suficientemente elevada de tal forma que nem alimentos nem soluções podem penetrar por forças capilares nos poros. Portanto, a pressão de penetração capilar de soluções aquosas nos poros tem que ser muito maior do que a diferença máxima de pressão através da membrana (GABINO *et al.*, 2006).

O processamento de sucos de frutas por evaporação osmótica, atuando em conjunto com outros processos utilizando membranas, como a microfiltração e a osmose inversa, ou ultrafiltração e osmose inversa, tornam-se uma grande alternativa aos processamentos utilizando calor, uma vez que não ocorre perda de cor, não sendo necessária a adição de corantes, além de apresentar um teor de sólidos solúveis semelhante aos processos de concentração de sucos utilizando calor (GALAVERNA, 2008).

Embora o processo de concentração por evaporação osmótica seja conduzido a temperaturas brandas nos dois lados da membrana, a temperatura é considerada um fator importante, pois as condições do equilíbrio líquido-vapor podem ser afetadas uma vez que haja um gradiente de temperatura entre os lados da membrana. O aumento da temperatura pode ocasionar um aumento do movimento molecular, ocasionando um aumento do fluxo permeado. A temperatura ideal do processo deve proporcionar um bom fluxo permeado, preservar os compostos aromáticos e reduzir as perdas de compostos voláteis (MARTINS, 2006).

As etapas de microfiltração, ultrafiltração e osmose inversa também funcionam como um pré-tratamento na concentração de sucos por evaporação osmótica, com o objetivo de aumentar o fluxo do suco concentrado obtido durante o processo, pois boa parte dos sólidos é eliminado nestas etapas (ALVES & COELHO, 2006).

O processamento de sucos de frutas por evaporação osmótica apresenta uma capacidade de concentração de sucos de frutas superior a crioconcentração (processo de concentração pelo frio), uma vez que esse processo alcança um teor de sólidos solúveis inferior e consumo de energia superior a evaporação osmótica (GALAVERNA, 2008).

### 2.5.2.1 Aplicação em alimentos

Cassano e Drioli (2007) utilizaram os processos de ultrafiltração e evaporação osmótica na clarificação e concentração do suco de kiwi, comparando o produto obtido por membranas com o suco concentrado utilizando calor. O processo de ultrafiltração foi realizado em um módulo de escala laboratorial equipado com membranas tubulares de polivinilideno, com fluxo médio de 700 L/h e temperatura de processo de 25°C. O processo de concentração por evaporação osmótica foi realizado utilizando um módulo de escala laboratorial com membranas de fibra oca de polipropileno, solução salina de cloreto de cálcio a 60% p/p e fluxo permeado de 1,3 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. O teor de sólidos solúveis passou de 9,4°Brix do suco clarificado por ultrafiltração, para 66,6°Brix para o suco concentrado por evaporação osmótica. Os autores concluíram que o suco concentrado por evaporação osmótica preservou a qualidade nutricional do produto comparado com o suco concentrado utilizando tratamento térmico, onde ocorreram perdas de vitaminas.

Koronai *et al.* (2008) avaliaram o efeito dos processos integrados de ultrafiltração e evaporação osmótica na concentração de sucos de frutas vermelhas, bem como a preservação da capacidade antioxidante do suco concentrado. A clarificação por ultrafiltração foi realizada através de um módulo de membranas cilíndrico composto de membranas de poliétersulfona. A concentração do suco clarificado foi realizada por um sistema de evaporação osmótica utilizando membranas de polipropileno com porosidade de 0,2µm, utilizando como solução de extração cloreto de cálcio 6M. O teor de sólidos solúveis passou de 8 para 65°Brix, mantendo a capacidade antioxidante estável ao final do processo.

Onsekizoglu, Savas Bahceci e Jale Acar (2010) estudaram o impacto dos processos de ultrafiltração com os processos de concentração por destilação utilizando membranas, evaporação osmótica, concentração utilizando calor e concentração utilizando a integração dos processos de destilação utilizando membranas e evaporação osmótica na concentração do suco de maçã. O teor de sólidos solúveis passou de 12°Brix para o suco clarificado, para 65°Brix em todos os processos de concentração. Foram avaliados parâmetros como a formação de hidroximetilfurfural (HMF), retenção de compostos bioativos e a conservação da cor e aroma do suco. Os autores concluíram que os processos integrados utilizando membranas preservaram as características de cor e aroma do suco de maçã, enquanto no processo de concentração utilizando calor ocorreram perdas de cor e aroma, além da formação de HMF. A retenção dos compostos bioativos foi observada em todos os processos de concentração.

Cassano, Conдини e Drioli (2011) avaliaram a produção de suco concentrado de romã pela integração dos processos de ultrafiltração e evaporação osmótica. A clarificação foi realizada utilizando um sistema de membranas de escala laboratorial composto de membranas de fibra oca de poli (éter éter ketona), com pressão de 0,96 bar, temperatura de 25°C e fluxo de 1666 ml min<sup>-1</sup>. Para a concentração do suco foi utilizado um sistema de evaporação osmótica de escala industrial composto por membranas microporosas de fibra oca de polipropileno, com diâmetro de poro de 0,2µm. O fluxo permeado foi de 500 ml min<sup>-1</sup>, a temperatura do processo foi de 25°C e pressão de 0,4 bar. O teor de sólidos solúveis do suco passou de 16,6 °Brix do suco clarificado, para 52 °Brix do suco

concentrado. Ao final do processo, as antocianinas e outros compostos do suco permaneceram preservados.

## 2.6 Secagem por atomização

Secagem por atomização é o processo onde fluidos ou pastas são transformados em partículas secas, pela utilização de calor. O processo é realizado utilizando um equipamento conhecido como secador por atomização (*spray dryer*), onde o líquido recebe um fluxo de ar quente permitindo uma rápida evaporação de água, mantendo baixa a temperatura das partículas. Esse tipo de secagem é aplicado em produtos sensíveis ao calor, como produtos alimentícios, biológicos e farmacêuticos, conservando as suas propriedades. Dependendo das condições do material a que se deseja microencapsular e as condições de operação, as partículas obtidas podem ser muito finas, com tamanho variando entre 10 e 50  $\mu\text{m}$ , ou partículas maiores, com tamanho variando entre 2 e 3 mm (RÉ, 1998; GHARSALLAOUI *et al.*, 2007).

Segundo Gharsallaoui *et al.*, (2007), para a obtenção de produtos secos por atomização, algumas etapas são fundamentais, são elas:

Atomização → Etapa que consiste na transferência de calor de superfície do ar seco com o líquido a ser atomizado. A temperatura de operação do atomizador vai depender do tipo de alimento que se deseja secar, assim como a viscosidade do mesmo (quanto maior a viscosidade, maior as partículas) além das características desejáveis do produto seco.

Contato do líquido com o ar quente → Ocorre durante a atomização, iniciando a secagem. O processo de secagem por atomização pode ocorrer de duas formas: secagem em correntes paralelas e contra corrente. O processo de secagem em corrente paralela consiste na pulverização do líquido na mesma direção do fluxo de ar quente. A temperatura do ar de secagem varia entre 150 e 220 °C e a secagem ocorre instantaneamente, obtendo pós secos na faixa de temperatura entre 50 e 80 °C, não havendo degradação pelo calor. Já no processo de secagem por atomização em contra corrente o líquido é exposto por um período maior ao ar de secagem, podendo causar a degradação de compostos termossensíveis, porém, esse processo de secagem por atomização tem a vantagem de ser mais econômico, uma vez que o consumo de energia é menor.

Evaporação da água → É realizada devido a transferência de calor do ar de secagem para o líquido, onde o ar de secagem promove o aumento da temperatura das partículas do líquido, promovendo o encolhimento dessas partículas devido a retirada de água. A secagem por atomização ocorre em uma faixa de tempo que varia entre 5 e 100 segundos, podendo também ser realizada na faixa entre 15 e 30 segundos, dependendo de como o sistema foi projetado.

Produto seco e separação do ar úmido → A separação do pó obtido do ar úmido de secagem é realizada através de um ciclone, e, além deste, os atomizadores podem ser

equipados com filtros para a remoção do pó mais fino, além de agentes químicos utilizados na remoção de voláteis indesejáveis.

A utilização do processo de secagem por atomização na indústria de alimentos apresenta diversas vantagens:

- Devido a redução da atividade de água do produto a ser atomizado, os pós obtidos apresentam boa estabilidade microbiológica, aumento da vida de prateleira, rápida produção de partículas secas, redução do risco de degradação química e/ou microbiológica, redução de custos com transporte e armazenamento, obtenção de produtos com boa solubilidade e instantaneidade, redução de peso e facilidade de armazenamento (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007; OBÓN *et al.*, 2009; GOULA & ADAMOPOULOS, 2010).

Uma ilustração do funcionamento de um spray dryer está apresentada na figura 12.

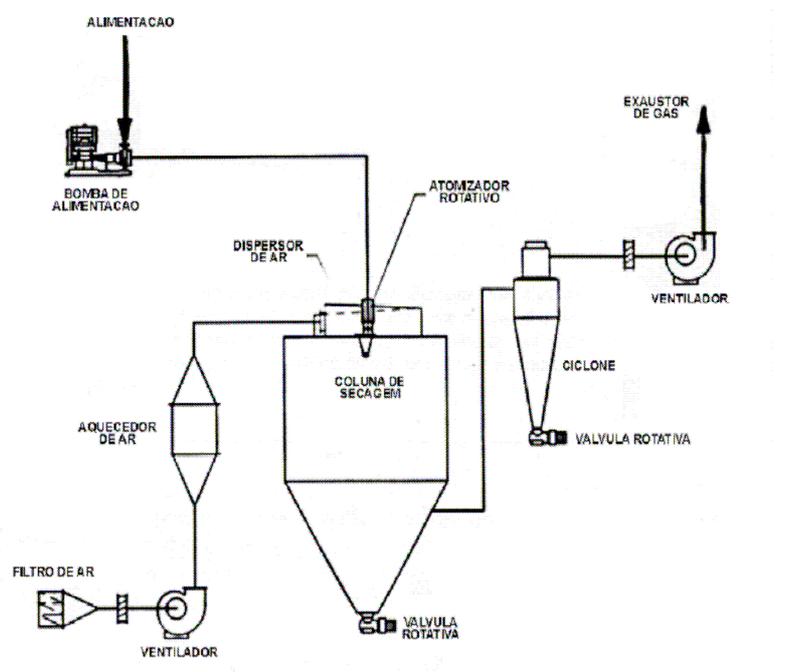


Figura 12: Representação de funcionamento do spray dryer (Fonte: TONON, 2010).

### 2.6.1 Microencapsulação

O processo conhecido como microencapsulação é um método utilizado para a proteção de partículas sólidas, líquidas ou gasosas de condições ambientes desfavoráveis através da utilização de um material conhecido como material encapsulante ou material de parede, que podem ser gomas, carboidratos, celulose, lipídeos e proteínas. Após o envolvimento dessas partículas, as mesmas podem ser liberadas para o meio externo sob condições específicas (SHAHIDI e HAN, 1993; FAVARO-TRINDADE, 2008).

Segundo Shahidi e Han (1993), existem seis justificativas para a necessidade de aplicação da microencapsulação na indústria de alimentos, que são: reduzir a reatividade do

material do núcleo com o ambiente; diminuir a velocidade de evaporação ou de transferência do material do núcleo para o meio; facilitar a manipulação do material encapsulado; promover a liberação controlada do material encapsulado; mascarar sabor e odor desagradáveis; promover a diluição homogênea do material encapsulado em uma formulação alimentícia.

As microcápsulas podem ser obtidas através de diversos métodos, sendo divididos em métodos físicos como: spray drying, spray cooling, liofilização, leite fluidizado, spray chilling, suspensão a ar; métodos químicos, como a polimerização interfacial, inclusão molecular e polimerização *in situ*; métodos físico-químicos, como a coacervação simples, coacervação complexa e evaporação do solvente (SHAHIDI e HAN, 1993).

Os principais agentes encapsulantes utilizados na microencapsulação de alimentos são os carboidratos (amidos, amidos modificados, maltodextrina, sacarose); proteínas (proteínas do soro de leite, caseína, glúten, albumina, soja, gelatina, zeína); celuloses (carboximetilcelulose, acetilcelulose, nitrocelulose); gomas (goma arábica, alginato, carragenana e agar) (JACKSON e LEE, 1991; GHARSALLAOUI *et al.*, 2007; SMITH & CARTER, 2010).

Os principais ingredientes a serem encapsulados nos alimentos são os agentes aromatizantes, ácido cítrico, ácido láctico, lipídeos, enzimas (proteases), microrganismos (bactérias probióticas), aminoácidos, peptídeos, vitaminas, minerais, antioxidantes, polifenóis, fitonutrientes e fibras solúveis (SMITH & CARTER, 2010).

Dib Táxi (2001) estudou a estabilidade do suco de camu-camu microencapsulado utilizando a maltodextrina e a goma arábica como material encapsulante, fazendo a comparação com o suco de camu-camu liofilizado. Foram avaliados o teor de vitamina C, cor, vida de prateleira e atividade de água. A temperatura de entrada do ar de secagem variou entre 100 e 160 °C e a temperatura de saída do ar de secagem foi de 85 °C. Os pós obtidos foram avaliados a cada 15 dias até completar 90 dias. Após o período de análises, o autor concluiu que o teor de vitamina C, cor e vida de prateleira apresentou maior estabilidade no suco encapsulado com goma arábica. O autor também concluiu que os pós encapsulados com goma arábica e maltodextrina apresentaram estabilidade superior ao suco de camu-camu liofilizado.

Quek, Chok e Swedlund (2007) estudaram a produção do suco de melancia microencapsulado, utilizando a maltodextrina como material encapsulante. Foram realizados testes com concentrações de maltodextrina a 3 e 5% e temperaturas de processo de 145, 155, 165 e 175 °C para ambas as concentrações do agente encapsulante. Foram avaliados a umidade, cor, licopeno,  $\beta$ -caroteno e dissolução. Concluiu-se que o processo a temperatura de 145 °C e concentração de maltodextrina a 5% foi o que apresentou os melhores resultados, especialmente com relação aos teores de licopeno e  $\beta$ -caroteno, uma vez que os processos realizados a temperaturas superiores a 165 °C promovem a degradação desses compostos.

Gurak (2008) estudou a microencapsulação, utilizando a liofilização, do suco de uva concentrado por osmose inversa, tendo a mistura entre a goma arábica e a maltodextrina como agente encapsulante, na proporção de 20/80. Após o período de 120 dias, o autor concluiu que o suco de uva microencapsulado apresentou um aumento de vida útil, mantendo os compostos fenólicos estáveis durante esse período, indicando o potencial do suco de uva microencapsulado como ingrediente alimentício.

Pagani (2010) verificou a estabilidade da vitamina C, antocianinas e capacidade antioxidante da fração retida, obtida através do processo de microfiltração, do suco de acerola microencapsulado, utilizando a goma arábica e a maltodextrina em diferentes proporções. A temperatura de entrada do ar de secagem foi de 180 °C e a temperatura de saída do ar de secagem foi de 90 °C. As análises foram realizadas no período de 90 dias. O autor concluiu que o suco de acerola microencapsulado contendo a goma arábica na formulação preserva melhor as substâncias bioativas, apresentando maior estabilidade dessas substâncias.

Fang e Bhandari (2011) avaliaram a estabilidade dos polifenóis e as antocianinas do suco de groselha encapsulado, utilizando a maltodextrina como material encapsulante. Os pós obtidos foram armazenados a temperaturas que variaram entre 4 e 25 °C e atividade de água variando entre 0,11 e 0,44. Os autores concluíram que a melhor condição de armazenamento do suco de groselha seria a temperatura de 4 °C e atividade de água de 0,33, onde ocorreram as menores perdas de polifenóis e antocianinas, cerca de 6-8% e 7-27%, respectivamente.

Solval *et al.* (2012) estudaram a obtenção do suco de cantalupo microencapsulado, utilizando a maltodextrina como agente encapsulante, a uma concentração de 10%. Foram realizados três ensaios com as temperaturas do ar de secagem de 170, 180 e 190 °C, onde foram avaliados o teor de umidade, vitamina C,  $\beta$ -caroteno, dissolução e microestrutura. Os autores concluíram que o processo realizado a temperatura de 170 °C apresentou o maior tempo de dissolução e atividade de água superior aos processos realizados a 180 e 190 °C, porém, o processo realizado a 170 °C apresentou quantidades superiores de vitamina C e  $\beta$ -caroteno.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Matéria prima**

Dois tipos de matéria prima foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho: frutos de camu-camu obtidos nos pomares da Embrapa Amazônia Oriental, situada em Manaus-AM, Brasil e polpa de camu-camu congelada da marca Bela Ischia, adquirida na Central de Abastecimento dos Produtores do Estado do Rio de Janeiro – CEASA – Rio de Janeiro.

### **3.2 Métodos**

O diagrama apresentado na Figura 13 ilustra o processo de clarificação, pré-concentração, concentração e atomização do suco de camu-camu, a partir do despulpamento dos frutos.

#### **3.2.1 Obtenção da polpa de camu-camu**

Os frutos foram congelados e transportados por avião de Manaus para o Rio de Janeiro-RJ. A extração da polpa de camu-camu foi realizada em despulpadeira Bonina 0,25 dF equipada com peneira de 0,6 mm de diâmetro. A polpa foi refinada, homogeneizada e acondicionada em recipientes plásticos de 5 litros, armazenados a -18 °C até sua utilização.

#### **3.2.2 Clarificação do suco de camu-camu**

Para a obtenção do suco de camu-camu clarificado, a polpa foi centrifugada em uma centrífuga de cesto da marca Internacional Equipment Company (Needham, USA), modelo SIZE 2, com velocidade de 4.000 rpm (479,2 g), na qual foi utilizado como meio filtrante uma tela de Nylon® de 150µm. O suco centrifugado foi então microfiltrado em um sistema semi-piloto constituído de membranas tubulares de material cerâmico ( $\alpha$ -alumina), com tamanho de poro médio de 0,1 µm e área total de permeação de 0,022 m<sup>2</sup>. As condições utilizadas nos processos de microfiltração foram aquelas consideradas como ótimas no trabalho realizado por Barreto (2008): temperatura igual a 45 °C e pressão aplicada a membrana de 2,5 bar. Foram realizados seis processos de microfiltração, totalizando cerca de 20 litros de suco clarificado.

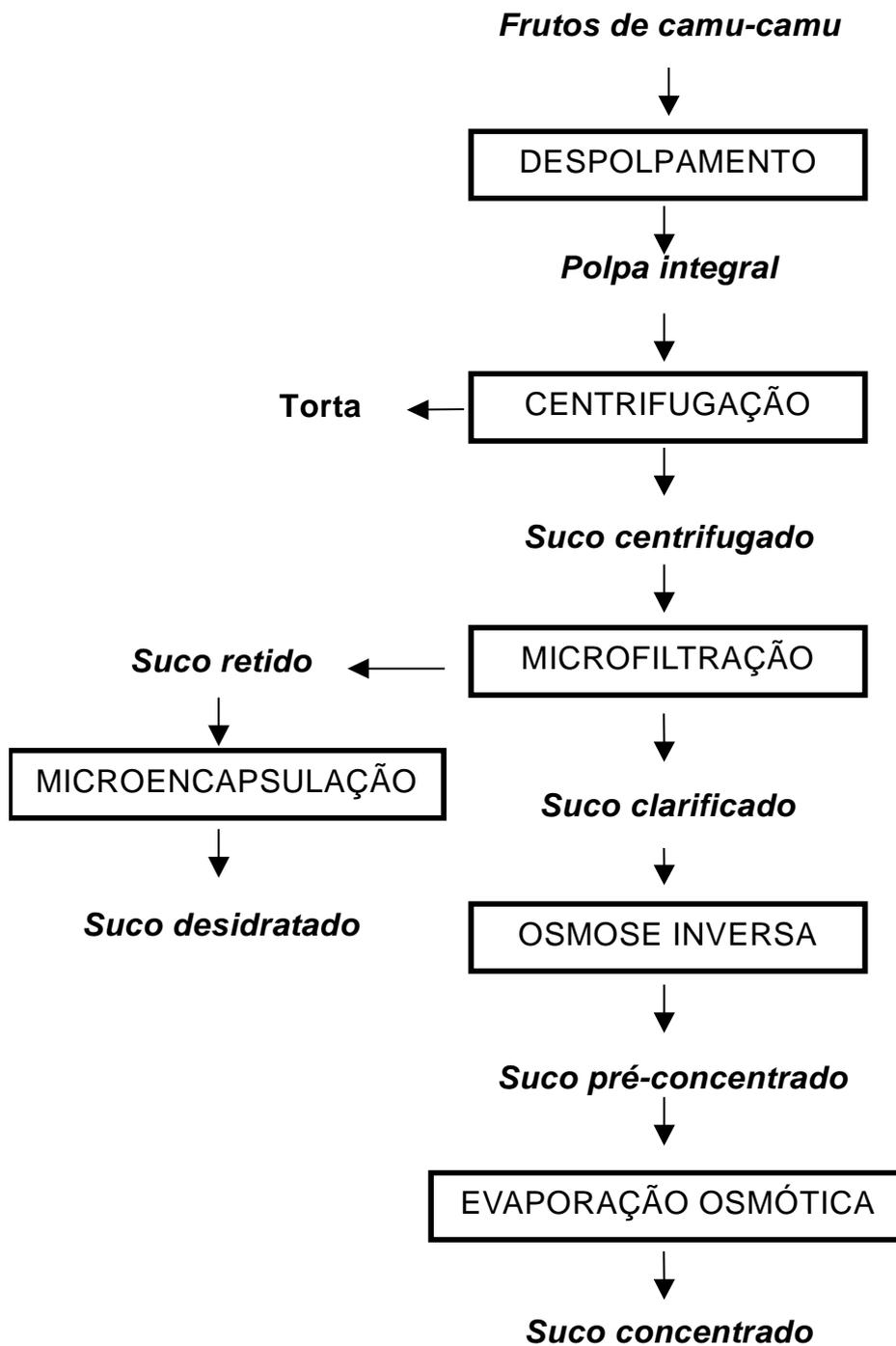


Figura 13: Diagrama de clarificação, pré-concentração, concentração e atomização do suco de camu-camu.

### 3.2.3 Osmose inversa

A pré-concentração do suco clarificado de camu-camu por osmose inversa foi realizada na Embrapa Agroindústria de Alimentos em um sistema semi-piloto, do tipo quadro e placas com membranas planas de filme composto (HR 98 PP – DDS / Danish Separation System, Dinamarca), constituídas de uma camada seletiva de poliamida sobre um suporte de polissulfona, apresentando 98% de rejeição nominal a uma solução de 0,25% de NaCl, com área de permeação de 0,288 m<sup>2</sup>. Os processos foram conduzidos em regime de batelada, a 20°C e diferença de pressão igual a 60 bar, conforme definido por Barreto (2008) e Carvalho (2009).

O sistema de osmose inversa está apresentado na Figura 14 e o diagrama representativo do sistema está representado pela Figura 15.



*Figura 14: Sistema de osmose inversa usado na pré-concentração do suco de camu-camu.*

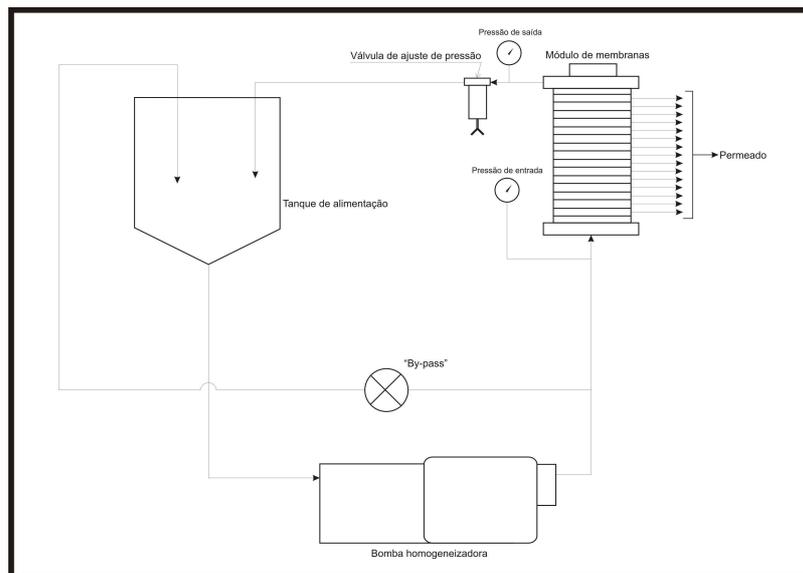


Figura 15: Diagrama representativo do sistema de osmose inversa de configuração quadro e placas (DSS).

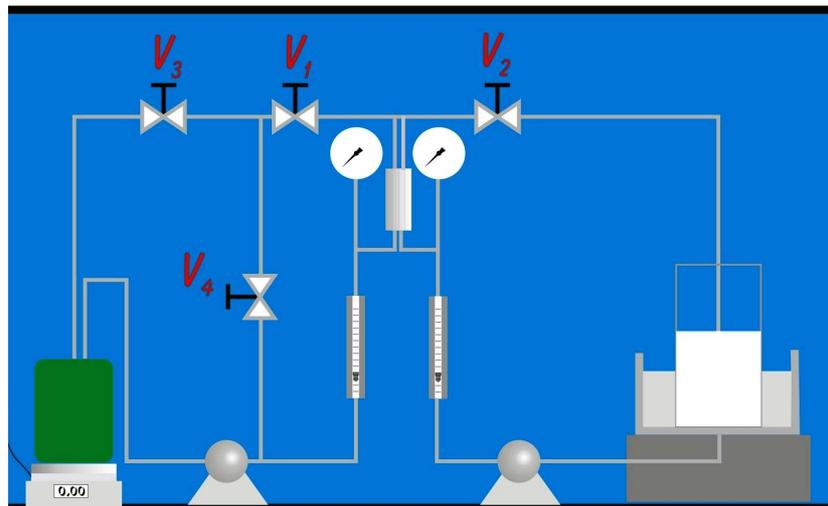
### 3.2.4 Evaporação osmótica

O processo de evaporação osmótica foi realizado na Embrapa Agroindústria de Alimentos, em um sistema laboratorial constituído por dois circuitos independentes, um do suco e outro da solução extratora, tendo em comum um módulo plano, onde era alocada uma membrana hidrofóbica de politetrafluoretileno – PTFE, da Pall Gelman - TF 200 com área da membrana de  $0,031 \text{ m}^2$ . Esta membrana é constituída por um suporte poroso de polipropileno, apresenta porosidade de 0,60, diâmetro de poro de  $0,2 \text{ }\mu\text{m}$  e  $1,65 \text{ }\mu\text{m}$  de espessura, segundo dados do fabricante.

O processo foi conduzido em regime de batelada. Como solução extratora foi utilizada uma salmoura de cloreto de cálcio 6 M (Alves *et al.*, 2004). A temperatura da salmoura e do suco pré concentrado foram mantidas a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente, com auxílio de um banho termostatizado. A diferença de pressão entre o circuito do suco e o da salmoura foi mantida em 0,2 bar. O sistema de evaporação osmótica e o seu respectivo diagrama são apresentados nas Figuras 16 e 17.



*Figura 16: Sistema de evaporação osmótica utilizado na concentração do suco de camu-camu.*



*Figura 17: Diagrama de representação do módulo de evaporação osmótica.*

### **3.2.5 Microencapsulação**

A fração retida resultante do processo de clarificação foi utilizada como matéria prima para o estudo do processo de microencapsulação.

Foram utilizados dois tipos de amidos modificados como agentes encapsulantes: maltodextrina MD 20P (National Starch, São Paulo, Brazil) e amido modificado Capsul<sup>®</sup> MHT – 1944 (National Starch, São Paulo, Brazil).

Para a realização do processo de microencapsulação, o suco retido e os materiais encapsulantes foram homogeneizados com auxílio de um liquidificador doméstico até completa dissolução dos polissacarídeos.

A microencapsulação foi realizada em *spray dryer* Buchi Modelo B-190 equipado com bico injetor de orifício de 0,3 mm, a vazão de ar comprimido foi de 105 psi, fluxo de alimentação de 1,5 L/h e vácuo de 60 bar. O sistema de microencapsulação é apresentado na Figura 18.

Foram realizados três ensaios com diferentes concentrações de materiais encapsulantes, apresentados na tabela 5. As amostras de pó foram acondicionadas em embalagens laminadas de polipropileno e armazenadas em deissecador à temperatura ambiente.

Tabela 5: dados para a realização do processo de microencapsulação da fração retida do suco de camu-camu<sup>1</sup>.

Processo	Material encapsulante	Concentração	Temperatura do processo (°C)
(A+M)	Mistura entre amido e maltodextrina	1:1	Entrada: 192 Saída: 93
(A)	Amido	1:2	Entrada: 192 Saída: 93
(M)	Maltodextrina	1:2	Entrada: 192 Saída: 93

<sup>1</sup> 1:1 – Uma parte de sólidos do suco para uma parte do material encapsulante; 1:2 – Uma parte de sólidos do suco para duas partes do material encapsulante.



Figura 18: Sistema de microencapsulação utilizado na obtenção do suco de camu-camu microencapsulado.

### **3.3. Métodos Analíticos**

As determinações analíticas do suco de camu-camu foram realizadas na Embrapa Agroindústria de Alimentos.

#### **3.3.1. pH**

Para a determinação do pH, foi utilizado o pHmetro Metrohm modelo 785 DMP Titrimo, com leitura direta a 25°C, segundo método 973.41, A.O.A.C (2000).

#### **3.3.2. Teor de sólidos solúveis**

Para a determinação do teor de sólidos solúveis totais foi utilizado um refratômetro do tipo Abbé, modelo Bellingham + Stanley Limited, com escala em graus Brix, segundo método 932.14 da A.O.A.C. (2000).

#### **3.3.3. Acidez**

A determinação da acidez total foi realizada pelo método potenciométrico em titulador automático Metrohm modelo 785 DMP Titrimo, utilizando solução de NaOH com concentração de 0,1M com titulação até pH igual a 8,2, segundo o método 942.15 da A.O.A.C (2000).

#### **3.3.4. Sólidos totais**

Os sólidos totais foram determinados de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (2000), a qual se baseia na determinação do peso seco obtido pela secagem em estufa a vácuo a 60 °C até obtenção de peso constante.

#### **3.3.5. Ácido ascórbico**

Para a determinação do teor de ácido ascórbico foi utilizado o método de Tillmans, modificado por Silva (1999), que consiste na titulação com uma solução 0,01% de 2,6-dicloro-fenol-indofenol (DCFI) e solubilização da amostra em ácido oxálico em substituição ao ácido metafosfórico. A solução de DCFI foi padronizada com solução de ácido ascórbico SIGMA ALDRICH®.

Para a extração do ácido ascórbico das amostras foram pesados, em triplicata, cerca de 0,5 g de polpa ou suco em um balão volumétrico âmbar de 50 ml. Os mesmos foram avolumados com ácido oxálico 2%, seguidos de agitação magnética por 15 min. Alíquotas de 2,00 mL foram tituladas com o DCFI padronizado. Os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por 100 gramas (mg ácido ascórbico/100g).

#### **3.3.6. Compostos fenólicos totais**

A concentração total de compostos fenólicos foi determinada pelo método de Singleton & Rossi (1965) modificado por Georgé (2005), baseado na reação com o reagente de Folin- Ciocalteau.

Para obtenção do extrato bruto, as amostras foram extraídas com uma solução de acetona a 70% por agitação magnética durante 30 minutos. O extrato foi filtrado e em seguida diluído em água destilada a fim de se corrigir a concentração da acetona para 7 %.

Com o intuito de se eliminar substâncias interferentes, foi utilizado um cartucho de extração em fase sólida OASIS<sup>®</sup> HLB 6 cc (*Waters Corporation*, EUA) para a obtenção do extrato isento de substâncias redutoras, como a vitamina C e açúcares redutores. Uma alíquota de 2,0 mL do extrato bruto foi percolada pelo cartucho, seguido da adição de mais duas alíquotas de 2,0 ml de água destilada ao mesmo. Os filtrados foram recolhidos em uma proveta, homogeneizados, resultando o extrato lavado.

O extrato bruto e o extrato lavado foram submetidos à reação de Folin-Ciocalteu, que se baseia na redução, pelos compostos fenólicos em meio alcalino, dos ácidos Fosfomolibdênio ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ) e Fosfotungístico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ), presentes no reagente de Folin-Ciocalteu, a óxido de tungstênio ( $W_8O_{23}$ ) e óxido de molibdênio ( $MO_8O_{23}$ ). A quantificação foi feita por leitura espectrofotométrica a 760 nm. O teor de compostos fenólicos totais é a diferença entre os valores obtidos para o extrato bruto e para o extrato lavado. Os resultados foram expressos em mg ácido gálico por 100 g.

### 3.3.7. Capacidade antioxidante

Os extratos foram obtidos de acordo com a metodologia descrita por Rufino *et al.* (2007).

A quantificação da atividade antioxidante do suco de camu-camu foi determinada utilizando-se o método espectrofotométrico descrito por Re *et al.* (1999), que se baseia na descoloração do radical livre ABTS<sup>•+</sup> [ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolína-6-sulfônico) sal diamônio]. A diminuição da absorbância a 734 nm foi observada após 6 min de reação entre o radical ABTS<sup>•+</sup> e os extratos. A cada ensaio com a amostra foi realizada uma corrida em branco utilizando-se etanol ao invés da amostra.

Os resultados foram expressos em  $\mu$ mol Trolox por g de amostra.

### 3.3.8. Estatística

Todas as análises foram realizadas em triplicata, com os resultados sendo expressos como a média de três determinações e desvio padrão.

Os resultados foram analisados estatisticamente através do teste de Tukey a 5% de significância ( $p \leq 0,05$ ) utilizando-se software XLStat pro 7.5.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização da matéria-prima

O rendimento médio de polpa integral, após o despolpamento dos frutos de camu-camu foi de 46%. O processo de centrifugação da polpa obtida gerou duas frações: polpa centrifugada e a torta, com rendimentos de 78,6% e 17,5% respectivamente, com perda de aproximadamente 4%. A polpa de camu-camu comercial apresentou rendimento de 90,5% para a polpa centrifugada e de 7,9% para a torta, totalizando 1,6% de perdas. A caracterização da matéria prima utilizada neste trabalho está apresentada na tabela 6.

Tabela 6: Caracterização físico química da polpa de camu-camu integral e da polpa de camu-camu centrifugada obtida a partir dos frutos de Manaus<sup>1,2</sup>.

	Frutos de Manaus		Polpa comercial	
	Polpa integral	Polpa centrifugada	Polpa integral	Polpa centrifugada
pH	2,91±0,0	2,92±0,1	3,0±0,0	n.a.
Acidez total titulável (g ácido cítrico/100g)	2,10±0,0	1,94±0,0	1,55±0,0	n.a.
Sólidos solúveis totais (°Brix)	6,1±0,0	5,9±0,01	5,5±0,0	n.a.
Sólidos totais (g/100g)	6,65±0,0	5,83±0,1	5,95±0,2	n.a.
Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g)	1355,75±26,6 <sup>a</sup>	1415,74±16,4 <sup>b</sup>	1020,5±29,9	911,85±30,3
Compostos Fenólicos Totais (mg ácido gálico/100g)	1241,38±20,7 <sup>a</sup>	1254,07±8,2 <sup>a</sup>	965,3±65,7	n.a.
Capacidade antioxidante (µmol Trolox/g)	103,73±8,7 <sup>a</sup>	83,60±1,4 <sup>b</sup>	76,1±3,6	n.a.

<sup>1</sup> Média de três determinações±desvio padrão

<sup>2</sup> Letras iguais na mesma linha, amostras não diferem significativamente entre si.

Os valores encontrados para o pH, acidez, teor de sólidos solúveis e de sólidos totais estão de acordo com os resultados apresentados por Alves *et al.* (2002), Maeda *et al.* (2007) para a polpa de camu-camu integral. E estão de acordo com os de Barreto (2008) e

Carvalho (2009) para a polpa de camu-camu integral e polpa de camu-camu centrifugada. Independente da origem destaca-se o valor da acidez dessa fruta, bastante superior as frutas consideradas ácidas como a laranja, por exemplo, cuja acidez pode variar de 0,5 a 1 mg de ácido cítrico/100g.

A tabela 7 sumariza alguns resultados de trabalhos sobre a caracterização de polpa de camu-camu, confirmando este fruto como uma das principais frutas fontes de vitamina C. O teor de ácido ascórbico dessa polpa integral e da centrifugada foi de 1355,75 e 1415,74 mg/100g, respectivamente, semelhante aos valores determinados por Barreto (2008) para suco de camu-camu integral e centrifugado e dentro da faixa descrita por Rodrigues *et al.* (2004), mas foram inferiores aos determinados por Maeda *et al.* (2007), 2585,40 mg/100g para a polpa de camu-camu e por Rufino *et al.* (2010) que verificaram valores superiores a 1800 mg/100g para a polpa de camu-camu integral.

Tabela 7: Comparação do teor de vitamina C, compostos fenólicos e atividade antioxidante do presente trabalho com outros trabalhos sobre a caracterização da polpa de camu-camu

	Vitamina C (mg ác.ascórbico/100g)	Compostos fenólicos (mg ác. gálico/100g)	Atividade antioxidante ( $\mu$ mol Trolox/g)
Presente trabalho	1355	1241	103
Barreto (2008)	1236	1205	122
Carvalho (2009)	1545	1445	157
Rufino <i>et al.</i> (2010)	1882	1176	153
Rodrigues <i>et al.</i> (2004)	1100	n.a.	n.a
Maeda <i>et al.</i> (2006)	2585	861	n.a.

<sup>1</sup> n.a. – não apresentado.

Os valores determinados para o teor de compostos fenólicos totais indicam que o camu-camu contém alta concentração desses compostos na sua composição, de acordo com a classificação preconizada por Rufino *et al.* (2010). Segundo estes autores, frutos com concentração de compostos fenólicos superior a 500 mg ácido gálico/100g se classificam como ricos nesses compostos. Os valores de compostos fenólicos totais são próximos aos determinados por Maeda *et al.* (2006), e por Chirinos *et al.* (2010), cerca de 1320 mg ácido gálico/100g, e ainda por Maeda & Andrade (2003) que avaliaram polpa de camu camu-camu com 993 mg ácido gálico/100g.

O acréscimo nos teores de vitamina C e compostos fenólicos na polpa de camu-camu centrifugada pode ser justificado pela remoção dos sólidos em suspensão da polpa integral que, talvez, estivessem “mascarando” uma certa quantidade dessas substâncias bioativas, podendo também ter sido atribuído a um possível erro analítico. Porém, Barreto (2008) e Carvalho (2009) verificaram um comportamento inverso, ou seja, a redução da vitamina C e de compostos fenólicos na polpa de camu-camu centrifugada, quando comparada a polpa integral.

A capacidade antioxidante da polpa de camu-camu integral indica que a mesma apresenta-se como uma fonte de antioxidantes, devido ao alto teor de vitamina C e compostos fenólicos. A capacidade antioxidante encontrada na polpa de camu-camu integral é inferior aos valores determinados por Barreto (2008), Carvalho (2009) e Rufino *et al.* (2010). Ao contrário da vitamina C e dos compostos fenólicos, a polpa de camu-camu centrifugada apresentou capacidade antioxidante menor que a polpa integral.

Os resultados apresentados para a caracterização da polpa comercial (tabela 6) indicam que a mesma apresenta alto teor de vitamina C, compostos fenólicos e boa capacidade antioxidante, embora esses resultados sejam inferiores aos encontrados para a polpa de camu-camu integral dos frutos de Manaus, o mesmo acontecendo com o pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e sólidos totais. Essa redução se justifica pelo fato da polpa industrializada ter sido submetida a algum tipo de pré-tratamento, como a pasteurização, a centrifugação, ou até mesmo uma possível adição de água na polpa antes da mesma ser comercializada.

Cabe ressaltar que fatores como, cultivar, grau de maturação, condições climáticas e porção da fruta podem explicar a dispersão nos resultados verificada por diferentes pesquisadores para os parâmetros de qualidade do fruto, conforme ilustrado na tabela 7.

#### **4.2. Microfiltração**

Para a avaliação do processo de concentração por osmose inversa e evaporação osmótica de suco de camu-camu clarificado foram realizados seis ensaios de microfiltração, sendo que nos quatro primeiros foi utilizada a polpa de camu-camu centrifugada obtida a partir dos frutos provenientes da Embrapa Amazônia Oriental e os dois últimos processos foram conduzidos com a polpa comercial. A mudança de matéria prima explica as características diferentes no processamento e na avaliação física e química das frações obtidas (tabela 8).

Os ensaios 1, 2, 3 e 4 apresentaram valores de fluxo permeado semelhantes, na faixa de 55 a 70 L/hm<sup>2</sup>, enquanto que os ensaios 5 e 6 tiveram valores de fluxo de permeado mais altos, entre 115 e 125 L/hm<sup>2</sup>, o que pode ser justificado pela matéria-prima utilizada nesses processos apresentar uma quantidade de sólidos inferior a utilizada nos primeiros quatro processos.

Os resultados da caracterização da vitamina C dos seis processos realizados (tabela 9) apontam para uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os valores das frações permeado para as da alimentação e retido. A fração permeado de suco de camu-camu apresenta uma pequena queda com relação as demais frações, porém, a fração permeado do suco de camu-camu ainda apresenta um alto teor de vitamina C.

Tabela 8: Valores médios do fator de concentração e fluxo permeado do suco de camu-camu no processo de microfiltração a 2,5 bar de pressão aplicada e temperatura de 45 °C.

Processo	FCV	J (L/hm <sup>2</sup> )
1	1,45	54,46
2	1,42	61,80
3	1,47	65,13
4	1,83	69,30
5	2,03	125,61
6	1,65	115,74

Tabela 9: Caracterização da vitamina C do suco de camu-camu clarificado pelo processo de microfiltração <sup>1,2</sup>.

Processo	Fração	Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g)
Processo 1	Alimentação 1	1634,67±13,3 a
	Permeado 1	1481,87±11,0 b
	Retido 1	1612,30±38,6 a
Processo 2	Alimentação 2	1516,81±27,5 a
	Permeado 2	1349,59±47,3 b
	Retido 2	1520,27±29,0 a
Processo 3	Alimentação 3	1373,35±34,7 a,b
	Permeado 3	1372,53±12,9 b
	Retido 3	1430,63±11,4 a
Processo 4	Alimentação 4	1564,86±14,2 a
	Permeado 4	1440,57±12,7 b
	Retido 4	1356,80±26,3 c
Processo 5	Alimentação 5	924,74±69,0 a
	Permeado 5	825,71±26,7 a,b
	Retido 5	796,86±15,3 b
Processo 6	Alimentação 6	894,98±27,7 a
	Permeado 6	880,33±19,2 a
	Retido 6	846,37±12,5 a

<sup>1</sup> Resultados expressos em média de três determinações±Desvio Padrão.

<sup>2</sup> Em cada processo, letras iguais na mesma coluna, amostras não diferem estatisticamente entre si.

### 4.3. Osmose inversa

Na figura 19 está apresentada a evolução do fluxo permeado e do teor de sólidos solúveis ao longo do processo de pré-concentração do suco de camu-camu por osmose inversa. Observa-se uma queda no fluxo de permeado ao longo do tempo de processo e um aumento na concentração dos sólidos solúveis.

A queda de fluxo é decorrente do aumento da pressão osmótica do suco e da viscosidade devido ao aumento da concentração. Partiu-se de um volume de 12 L e o processo de pré-concentração do suco de camu-camu por osmose inversa durou 3 horas e 30 minutos. O fluxo médio do processo foi 11,3 L/hm<sup>2</sup>. Contudo, não foi possível concentrar o suco a um teor de sólidos solúveis mais elevado devido ao aumento da pressão osmótica do suco de camu-camu, tornando-se esse o critério de término do processo de pré-concentração por osmose inversa, juntamente com a queda do fluxo permeado devido ao acúmulo de material retido na superfície da membrana. .

Rodrigues *et al.* (2004) avaliaram a concentração do suco clarificado de camu-camu por osmose inversa, a 60 Bar e a temperatura ambiente. Estes autores descrevem que foi possível concentrar o suco de 6,4°Brix a 25,5°Brix, correspondendo a um fator de concentração igual a 4.

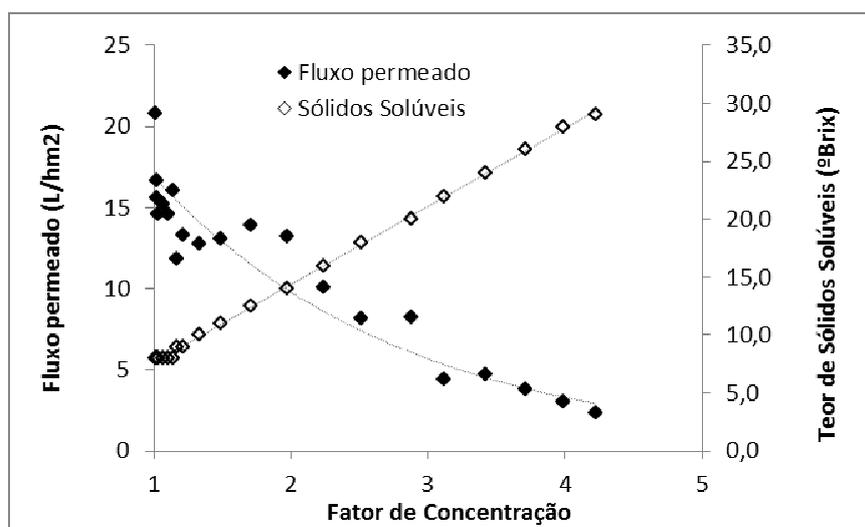


Figura 19 – Evolucao do teor de sólidos solúveis e do fluxo permeado ao longo do tempo do processo de pré-concentração do suco de camu-camu clarificado por osmose invesa (T= 20 °C , P= 60 bar ).

Os resultados da caracterização do pH, acidez total, teor de sólidos solúveis e sólidos totais dos sucos clarificado (Alimentação) e pré-concentrado (Retido) estão apresentados na tabela 10. A concentração por osmose inversa não influenciou no valor do pH. O teor de sólidos solúveis aumentou de 7,5 para 28,8 °Brix, o que corresponde a um valor de grau de concentração de 3,8. Analogamente, a acidez total aumentou de 2,22 para

8,38 mg de ácido cítrico /100g e o teor de sólidos totais de 7,12 para 26,54 g/100g, apresentando um grau de concentração de 3,8 e 3,7, respectivamente.

Os teores de vitamina C e de fenólicos totais bem como da atividade antioxidante dos sucos clarificado e pré-concentrado estão apresentadas na tabela 11.

Tabela 10: Resultados de pH, acidez e sólidos totais do suco de camu-camu pré-concentrado por osmose inversa <sup>1</sup>

Amostra	pH	Acidez (mg ác. cítrico/100g)	Sólidos Solúveis (°Brix)	Sólidos Totais (g/100g)
<b>Alimentação</b>	2,92±0,0	2,22±0,0	7,5±0,0	7,12±0,1
<b>Retido</b>	2,75±0,0	8,38±0,0	28,8±0,0	26,54±0,2
<b>GC<sup>2</sup></b>	-	3,8	3,8	3,7

<sup>1</sup> Resultados expressos em média ± Desvio Padrão

<sup>2</sup> GC: Grau de Concentração

Tabela 11: Vitamina C, Compostos Fenólicos Totais e Atividade Antioxidante do suco de camu-camu clarificado e pré-concentrado por osmose inversa <sup>1</sup>

Amostra	Vitamina C (mg ac. Ascórbico/100g)	Fenólicos Totais (mg ac. Gálico/100g)	Atividade Antioxidante (µmol Trolox / g)
<b>Alimentação</b>	1590,24±33,3	1478,19±10,3	104,68±4,3
<b>Retido</b>	4918,44±15,5	5642,90±73,0	440,56±46,0
<b>GC</b>	3,1	3,8	4,2

<sup>1</sup> Resultados expressos em média ± Desvio Padrão

<sup>2</sup> GC – Grau de Concentração

O teor de vitamina C apresentou um grau de concentração de 3,1, enquanto os compostos fenólicos apresentaram um grau de concentração de 3,8, com a atividade antioxidante apresentando praticamente o mesmo comportamento dos fenólicos, grau de concentração de 4,2. O menor fator de concentração apresentado pela vitamina C justifica-se pelo fato da mesma ser a substância bioativa mais vulnerável as condições ambientes, podendo ser submetida à oxidação caso não haja um controle de temperatura e exposição a luz e ao oxigênio ao longo do processo. Pelos dados apresentados na tabela 11 pode ser constatado que não houve perda no teor das substâncias bioativas ao longo do processo de pré-concentração, indicando que o controle de pressão, temperatura e exposição às

condições ambientes foram adequadas. Cabe ser ressaltado que a vitamina C protege os sistemas alimentícios da oxidação, sendo considerado um antioxidante de sacrifício.

Barreto (2008) estudou a concentração do suco clarificado de camu-camu por osmose inversa utilizando as mesmas condições de temperatura e pressão do presente trabalho. Suco clarificado com 4,5 °Brix foi concentrado até 31 °Brix, correspondendo a um grau de concentração de 6,88. Porém, apesar das condições de processo semelhantes, a vitamina C apresentou um grau de concentração de 2,05, inferior ao apresentado no presente trabalho, justificada pelo autor, pela oxidação desta vitamina. Perdas também foram observadas para os compostos fenólicos e para a atividade antioxidante.

Carvalho (2009), ao realizar a concentração do suco de camu-camu centrifugado por osmose inversa, partiu de um teor de sólidos solúveis inicial de 5,7 °Brix, ao final do processo de concentração o teor de sólidos solúveis foi de 30,7 °Brix, com um fator de concentração de 5,38. O teor de vitamina C apresentou um grau de concentração de apenas 1,1, indicando a oxidação desse composto ao longo do processo. Os compostos fenólicos apresentaram um grau de concentração de 5,33 com a atividade antioxidante seguindo o mesmo comportamento dos fenólicos, com grau de concentração de 5,72. A comparação dos resultados do presente trabalho com os trabalhos de Barreto (2008) e Carvalho (2009) são apresentados na tabela 12.

Cianci *et al.* (2005), ao concentrar suco de caju por osmose inversa com teor inicial de vitamina C de 162 mg/100g, alcançou valores de 372 mg/100g, obtendo um grau de concentração de 2,29 vezes, além de aumentar o teor de sólidos solúveis totais de 12,1 para 28,6 °Brix. Matta (2004) obteve um grau de concentração de 4,11 para a concentração de suco de acerola por osmose inversa, com um teor de sólidos solúveis inicial de 7,1 °Brix até alcançar um teor de 29,2 °Brix ao final do processo, com teores de vitamina C que passaram de 1234 mg/100g do suco clarificado para 5229 mg/100g para o suco concentrado por osmose inversa. No processo de concentração do suco de camu-camu por osmose inversa, Rodrigues et al. (2004) conseguiu passar o teor de vitamina C de 1100 mg/100g para 4040 mg/100g, alcançando um grau de concentração de 3,67 para essa vitamina.

Tabela 12: Comparação dos resultados obtidos com os trabalhos de Barreto (2008) e Carvalho (2009) para o suco de camu-camu pré-concentrado por osmose inversa<sup>1, 2, 3</sup>.

Parâmetro	Fração	Presente trabalho	BARRETO (2008)	CARVALHO (2009)
<b>pH</b>	A	2,92±0,0	2,96±0,0	3,0±0,0
	R	2,75±0,0	2,93±0,0	2,7±0,1
<b>Sólidos Solúveis (°Brix)</b>	A	7,5±0,0	4,5±0,0	5,7±0,4
	R	28,8±0,0	31,0±0,0	30,7±2,7
<b>Acidez (mg ácido cítrico /100g)</b>	A	2,22±0,0	n.a.	n.a.
	R	8,38±0,0	n.a.	n.a.
<b>Sólidos Totais (mg/100g)</b>	A	7,12±0,1	n.a.	5,1±0,9
	R	26,54±0,2	n.a.	27,8±3,4
<b>Vitamina C (mg ác. ascórbico/100g)</b>	A	1590,24±33,3 <sup>a</sup>	1196,22±3,7 <sup>a</sup>	1865,6±42,6 <sup>a</sup>
	R	4918,44±15,5 <sup>b</sup>	2456,45±111,0 <sup>b</sup>	1988,4±18,6 <sup>b</sup>
<b>Fenólicos Totais (mg ác. gálico/100g)</b>	A	1478,19±10,3 <sup>a</sup>	1059,7±81,1 <sup>a</sup>	1253,3±41,2 <sup>a</sup>
	R	5642,90±73,0 <sup>b</sup>	3839,0±21,0 <sup>b</sup>	6686,5±28,0 <sup>b</sup>
<b>Atividade Antioxidante (µmol Trolox/g)</b>	A	104,68±4,3 <sup>a</sup>	93,6±2,7 <sup>a</sup>	109,6±0,9 <sup>a</sup>
	R	440,56±45,7 <sup>b</sup>	663,9±2,2 <sup>b</sup>	627,3±36,8 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Resultados expressos em média ± Desvio Padrão

<sup>2</sup> A – Alimentação; R – Retido

<sup>3</sup> Letras iguais na mesma coluna, amostras não diferem significativamente entre si  
n.a. – não apresentado

#### 4.4. Evaporação osmótica

O comportamento do fluxo permeado e do teor de sólidos solúveis, apresentados nas figuras 20 e 21, indicam a queda do fluxo e o aumento da concentração ao longo do processo. Essa queda deve-se a diluição da salmoura, o que reduz a força motriz do processo. O aumento do teor de sólidos é também uma das causas para a diminuição do fluxo permeado (HONGVALEERAT *et al.*, 2008). O fluxo médio do processo foi de 2,4 Kg/hm<sup>2</sup>.

Cissé *et al.* (2011) ao realizarem a concentração utilizando a evaporação osmótica de sucos de maçã, uva e de extrato de roselle, encontraram valores de fluxo de evaporação

de 1,17; 1,17 e 1,48 Kg/hm<sup>2</sup>, respectivamente. Enquanto Valdéz *et al.* (2009), ao realizarem a concentração do suco de noni por evaporação osmótica, encontraram valores de fluxo de evaporação de 0,413 Kg/hm<sup>2</sup>.

O processo de concentração do suco de camu-camu teve a duração de 23 horas e o critério adotado para o término do processo foi o aumento da atividade de água da salmoura, que inicialmente era de 0,43, e ao final do processo era de 0,75.

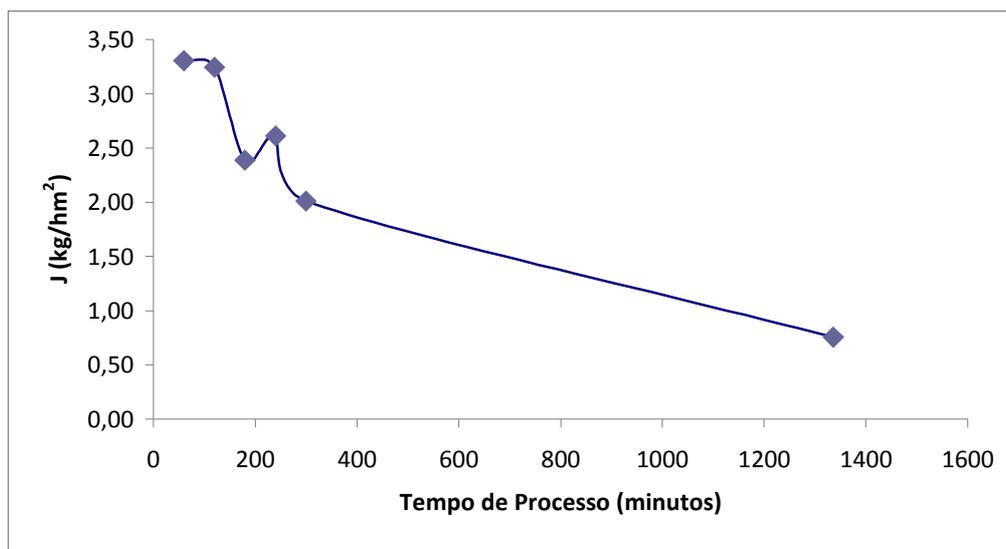


Figura 20 – Comportamento do fluxo permeado em função do tempo durante o processo de concentração do suco de camu-camu por evaporação osmótica.

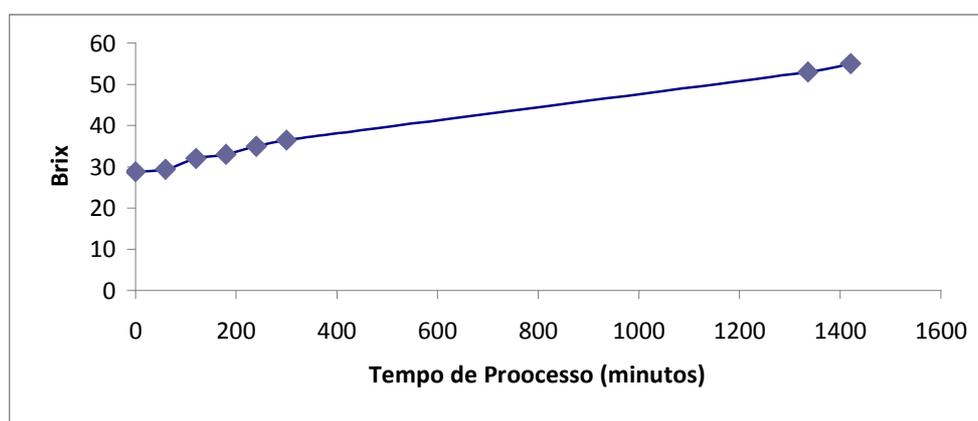


Figura 21 – Concentração de sólidos solúveis totais durante o processo de concentração do suco de camu-camu por evaporação osmótica.

Os resultados apresentados na tabela indicam aumento no teor de sólidos solúveis de 28,8 para 56,6 °Brix, correspondendo a um grau de concentração de 1,98. Esse resultado

é semelhante ao verificado por Hongvaleerat *et al* (2008) para a concentração de suco clarificado de abacaxi por evaporação osmótica. Galaverna *et al* (2008) relatam o valor de 60°Brix na concentração do suco de laranja *Blood*, com grau de concentração de aproximadamente 2 vezes.

Koronai *et al.* (2006) ao realizarem a concentração dos sucos de maçã, groselha, cereja e framboesa por evaporação osmótica encontraram, ao final do processo teores de sólidos solúveis de 56,3 °Brix para o suco de maçã, 61,1 °Brix para o suco de groselha, 63,2 °Brix para o suco de cereja e 61 °Brix para o suco de framboesa. Os fatores de concentração obtidos foram de 6,3 vezes para o suco de maçã; 19,7 vezes para o suco de groselha; 5,1 vezes para o suco de cereja e 8,1 vezes para o suco de framboesa.

Cassano *et al.* (2008) ao concentrar suco de kiwi a 12,1 °Brix por evaporação osmótica, obtiveram um produto concentrado com 61,4 °Brix, apresentando um fator de concentração de 5,1 vezes.

Alvarez *et al.* (2000) avaliaram a concentração de suco de maçã por evaporação osmótica. O processo envolveu diversas operações em seqüência: clarificação; pré-concentração do suco até 25 °Brix por osmose inversa; recuperação e concentração dos compostos responsáveis pelo aroma por pervaporação; e concentração final do suco até 72 °Brix por evaporação osmótica. O produto obtido por evaporação osmótica se apresentou mais claro e luminoso que os obtidos por métodos convencionais.

A acidez aumentou de 8,49 para 16,10 mg de ácido cítrico/100g, representando um grau de concentração de 1,89 e o teor de sólidos totais passou de 26,22 para 52,95 g/100g, sendo o grau de concentração igual a 2,02.

*Tabela 13: Resultados da caracterização do pH, Brix, acidez e sólidos totais do suco de camu-camu concentrado por evaporação osmótica*<sup>1,2</sup>.

<b>Amostra</b>	<b>pH</b>	<b>Acidez (mg ácido cítrico/100g)</b>	<b>Sólidos Solúveis (°Brix)</b>	<b>Sólidos Totais (g/100g)</b>
<b>Alimentação</b>	2,80±0,0	8,49±0,0	28,5±0,0	26,22±0,1
<b>Retido</b>	2,53±0,0	16,10±0,0	56,6±0,0	52,95±0,2
<b>GC</b>	-	1,89	1,98	2,02

<sup>1</sup> Resultados expressos em média ± Desvio Padrão

<sup>2</sup> GC – Grau de Concentração

Os teores de vitamina C e compostos fenólicos do suco de camu-camu concentrado, além da atividade antioxidante, são apresentados na tabela 14.

A vitamina C aumentou 1,8 vezes. Segundo Odriozola-Serrano (2007), esse comportamento da vitamina C durante o processo se deve ao fato de a mesma ser a substância bioativa presente no camu-camu mais sensível as condições ambientes, como a

exposição ao oxigênio, a temperatura e exposição a luz. Os compostos fenólicos totais apresentaram um grau de concentração de 1,91 vezes, passando de um valor inicial de 5514,4 mg ácido gálico/100g para um valor de 10516,36 mg ácido gálico/100g ao final do processo. A atividade antioxidante do suco de camu-camu apresentou um alto valor, que foi de 762,24  $\mu$ mol Trolox / g, indicando o mesmo comportamento da vitamina C no grau de concentração, que foi de 1,73.

*Tabela 14: Caracterização da Vitamina C, Compostos Fenólicos Totais e Atividade Antioxidante do suco de camu-camu concentrado por evaporação osmótica<sup>1,2</sup>.*

<b>Fração</b>	<b>Vitamina C (mg ac. Ascórbico/100g)</b>	<b>Compostos Fenólicos Totais (mg ac. gálico/100g)</b>	<b>Atividade Antioxidante (<math>\mu</math>mol Trolox/g)</b>
<b>Alimentação</b>	5295,58 $\pm$ 83,1	5514,36 $\pm$ 205,5	440,62 $\pm$ 6,9
<b>Retido</b>	9461,03 $\pm$ 69,6	10516,36 $\pm$ 189,0	762,24 $\pm$ 17,1
<b>GC</b>	1,78	1,91	1,73

<sup>1</sup> Resultados expressos em média  $\pm$  Desvio Padrão

<sup>2</sup> GC – Grau de Concentração

Rodrigues *et al.* (2004) estudaram a concentração do suco integral de camu-camu por evaporação osmótica, com a temperatura do suco e da salmoura sendo mantidos a 35 °C e 20 °C, respectivamente. O processo de concentração foi realizado em duas etapas: na primeira etapa o suco, partindo de um teor de sólidos solúveis inicial de 6,6 °Brix passando para 24,7 °Brix, com grau de concentração de 3,74. Na segunda etapa o teor de sólidos solúveis passou de 24,7 °Brix para 63,4 °Brix e grau de concentração de 2,56, com a concentração de vitamina C passando de 4350 mg/100 g no início da segunda etapa, para 10810 mg/100 g ao final do processo, apresentando grau de concentração de 2,5.

Pagani *et al.* (2011) avaliaram a concentração do suco de acerola por osmose inversa e evaporação osmótica, obtendo um suco concentrado com 4742 mg/100g vitamina C.

Cassano *et al.* (2003) avaliaram a capacidade antioxidante do suco de laranja blood concentrado pela integração dos processos de ultrafiltração, osmose inversa e evaporação osmótica. O suco concentrado a 60,6 °Brix foi diluído a um teor de sólidos solúveis de 12,6 °Brix, idêntico ao suco integral. O suco concentrado diluído apresentou capacidade antioxidante de 7,33 mM Trolox, um pouco inferior a apresentada pelo suco integral, que foi de 8,65 mM Trolox.

#### **4.5. Microencapsulação**

A fração retida no processo de microfiltração foi microencapsulada, sendo o pó obtido avaliado em relação ao teor de vitamina C, compostos fenólicos e atividade antioxidante.

Os valores médios para a caracterização da vitamina C do suco de camu-camu microencapsulado são apresentados na tabela 15.

Os dados apresentados indicam que as amostras contendo a mistura amido modificado e maltodextrina (A+M) foi a que apresentou a maior concentração e retenção de vitamina C, com perdas de 12% após um período de 30 dias de armazenamento.

A amostra contendo apenas amido modificado como material encapsulante apresentou concentração de vitamina C inferior a amostra obtida a partir da mistura dos dois encapsulantes amido modificado e maltodextrina, porém, esta mesma formulação apresentou alto teor de vitamina C. Contudo, esta formulação apresentou perdas de 16% ao longo dos 30 dias de armazenamento em que a caracterização da vitamina C foi realizada, apresentando diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade nos três períodos em que foi realizada a caracterização da vitamina C.

A amostra contendo apenas maltodextrina como material encapsulante apresentou concentração de vitamina C pouco superior a amostra contendo apenas amido como material encapsulante e quantidade de vitamina C inferior a amostra contendo a mistura dos dois materiais encapsulantes, apresentando perda de vitamina C de 15% ao longo do armazenamento.

Os valores encontrados para a vitamina C nas amostras contendo amido (A) e maltodextrina (M) no tempo zero ( $t=0$  dias) foram semelhantes aos resultados encontrados por Dib Táxi (2001) para a quantificação dessa vitamina utilizando uma formulação com goma arábica e outra com maltodextrina. Contudo, ao contrário do presente trabalho, não houve diferença significativa a 5% de probabilidade para a perda de vitamina C no período de 30 dias em que as amostras foram analisadas.

Osório *et al.* (2011) determinaram o teor de vitamina C em polpa de guava microencapsulada utilizando uma formulação com maltodextrina e outra formulação utilizando a mistura entre maltodextrina e goma arábica. O teor de vitamina C encontrado nos pós foi de 39,8 mg/100g de sólidos para a formulação com maltodextrina e 20 mg/100g de sólidos na formulação contendo a mistura entre maltodextrina e goma arábica.

Os valores para a determinação da atividade antioxidante do suco de camu-camu microencapsulado são apresentados na tabela 16. Observa-se que não houve diferença significativa no valor da atividade durante o período de 30 dias. A formulação contendo a mistura dos encapsulantes amido e maltodextrina foi a que apresentou a melhor estabilidade para a atividade antioxidante, mostrando variação. Já as formulações contendo amido (A) e maltodextrina (M) apresentaram variações maiores da atividade antioxidante, apesar dessas duas não apresentarem diferenças significativas ao longo do período de 30 dias. A atividade antioxidante encontrada foi praticamente a mesma nas três formulações.

Pagani (2010) avaliou a microencapsulação do suco de acerola utilizando uma formulação contendo 80% de suco de acerola e 20% de maltodextrina, obtendo um pó com atividade antioxidante inicial de 199,3  $\mu\text{mol Trolox/g}$  e ao final de 90 dias de 147,3  $\mu\text{mol Trolox/g}$ . Gomes (2009) avaliou a capacidade antioxidante de suco de melancia microencapsulado, onde a concentração inicial do suco de melancia foi de 2,20  $\mu\text{mol Trolox/g}$ , passando para 6,43  $\mu\text{mol Trolox/g}$ , apresentando um aumento de quase 3 vezes com relação a concentração inicial.

*Tabela 15: Determinação do teor de Vitamina C (mg ac. Ascórbico/100g de suco) para as amostras de suco de camu-camu retido e encapsulado durante o tempo de armazenamento em embalagens de polipropileno a temperatura ambiente.*<sup>1,2,3</sup>

<b>Amostra</b>	<b>t=0 dias</b>	<b>t=15 dias</b>	<b>t=30 dias</b>
<b>(A+M)</b>	8918,3±99,2 <sup>a</sup>	8257,2±379,4 <sup>a, b</sup>	7838,2±358,3 <sup>b</sup>
<b>(A)</b>	6222,0±145,1 <sup>a</sup>	5676,3±122,3 <sup>b</sup>	5215,0±96,1 <sup>c</sup>
<b>(M)</b>	6483,3±87,3 <sup>a</sup>	5610,5±178,3 <sup>b</sup>	5503,0±47,6 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Valores expressos em média ± Desvio Padrão

<sup>2</sup> Letras iguais na mesma linha, amostras não diferem significativamente entre si

<sup>3</sup> (A+M) = Mistura entre amido e maltodextrina; (A) = Amido; (M) = Maltodextrina

*Tabela 16: Determinação da Atividade Antioxidante ( $\mu\text{mol Trolox/g}$  de amostra) para as amostras de suco de camu-camu retido e encapsulado durante o tempo de armazenamento em embalagens de polipropileno a temperatura ambiente.*<sup>1,2,3</sup>

<b>Amostra</b>	<b>t=0 dias</b>	<b>t=15 dias</b>	<b>t=30 dias</b>
<b>(A+M)</b>	283,2±24,4 <sup>a</sup>	284,4±4,8 <sup>a</sup>	283,6±2,1 <sup>a</sup>
<b>(A)</b>	273,8±6,1 <sup>a</sup>	285,6±3,6 <sup>a</sup>	286,0±7,6 <sup>a</sup>
<b>(M)</b>	289,6±1,4 <sup>a</sup>	279,9±4,7 <sup>a</sup>	283,9±10,7 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Valores expressos em média ± Desvio Padrão

<sup>2</sup> Letras iguais na mesma linha, amostras não diferem significativamente entre si

<sup>3</sup> (A+M) = Mistura entre amido e maltodextrina; (A) = Amido; (M) = Maltodextrina

## 5 CONCLUSÃO

- Os processos de separação por membranas e a microencapsulação utilizados no presente trabalho podem ser considerados uma boa alternativa para o processamento do suco de camu-camu, na qual todas as frações do suco de camu-camu foram aproveitadas através da integração dos processos.
- O suco de camu-camu clarificado obtido a partir do processo de microfiltração apresentou boa retenção de vitamina C, compostos fenólicos, cor e aroma, indicando que a temperatura e a pressão utilizadas não alteraram as características do suco.
- O acoplamento dos processos de osmose inversa e evaporação osmótica demonstrou ser uma alternativa para a concentração do suco de camu-camu, em virtude o teor de sólidos solúveis alcançado e da alta concentração de vitamina C e compostos fenólicos.
- Todas as formulações de suco desidratado testadas apresentaram uma alta concentração das substâncias bioativas. A formulação utilizando suco de camu-camu retido, tendo como material encapsulante a mistura amido modificado e maltodextrina apresentou as maiores concentrações de vitamina C, apesar da pouca estabilidade desse composto, com a atividade antioxidante praticamente igual nas três formulações;
- A integração dos processos com membranas, microfiltração, osmose inversa e evaporação osmótica resultou no aumento da concentração de vitamina C, dos compostos fenólicos e atividade antioxidante em 5,94, 7,11 e 6,95 vezes, respectivamente.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C (Association of Official Analytical Chemists). **Official methods of analysis**, 17 ed. Washington D.C.: AOAC, 2000. Métodos 942.15, 981.12, 932.14, 925.45.
- ALVAREZ, S., RIERA, F.A., COCA, J., CUPERUS, F.P., BOUWER, S.TH., BOSWINKEL, G., van GEMERT, R.W., TODISCO, S., DRIOLI, E., OLSSON, J., TRAGARDH, G., GAETA, S.N., PANYOR. A new integrated membrane process for producing clarified apple juice and apple juice aroma concentrate. **Journal of Food Engineering**, 46:109-125, 2000.
- ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; ARAUJO, N.C.C., ALMEIDA, A.S. Camu-camu (*Myrciaria dúbia* Mc Vaugh): A rich natural source os vitamin C. **Proceedings of the InterAmerican Society for Tropical Horticulture**, n. 46, p. 11-13, 2002.
- ALVES, V.D.; COELHO, I.M. Orange juice concentration by osmotic evaporation and membrane distillation: A comparative study. **Journal of Food Engineering**, n. 74, p. 125-133, 2006.
- ALVES, V.D.; KOROKNAI, B.; BÉLAFI-BAKÓ, K.; COELHO, I.M. Using membrane contactors for fruit juice concentration. **Desalination**, v. 162, p. 263-270, 2004.
- ARANHA, F. Q., BARROS, Z. F., MOURA, L. S. A., GONÇALVES, M. C. R., BARROS, J. C., METRI, J. C., SOUZA, M. S. O papel da vitamina C sobre as alterações orgânicas no idoso. **Revista Nutrição**, v. 13, n. 2, p. 89-97, 2000.
- ARKTER, M.S.; OH, S.; EUN, J.B.; AHMED, M. Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. **Food Research International**, n. 44, p. 1728-1732, 2011.
- AYALA-ZAVALA, J.F.; VEGA-VEGA, V.; ROSAS-DOMÍNGUEZ, C.; PALAFOX-CARLOS, H.; VILLA-RODRIGUEZ, J.A.; SIDDIQUI, M.W.; DÁVILA-AVIÑA, J.E.; GONZALEZ-AGUILAR, G.A. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International**, v. 44, p. 1866-1874, 2011.
- BÁNVOLGYI, S.; HORVÁTH, S.; STEFANOVITS-BÁNYAI, E.; BÉKÁSSY-MOLNÁR, E.; VATAI, G. Integrated membrane process for blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) juice concentration. **Desalination**, v. 241, p. 281-287, 2009.
- BARRETO, A.G. **Clarificação e concentração do suco de camu-camu por processo de separação com membranas**. Rio de Janeiro, 2008, 88 p. Dissertação (Escola de Química UFRJ).
- BASSETTI, Fátima de Jesus. **Preparação, caracterização e aplicação de membranas poliméricas microporosas assimétricas**, 2002, tese (Doutorado em Engenharia Química – UNICAMP).
- BLOMHOFF, R. Dietary antioxidants and cardiovascular disease. **Current Opinion in Lipidology**, v. 16, p. 47-54, 2005.

- BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. **Introdução a química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Editora Livraria Varela, 1995. 223p.
- BREWER, M.S. Natural Antioxidants: Sources, Compounds, Mechanisms of Action, and Potential Applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 10, 2011.
- CARNEIRO, L.; SA, I.S.; GOMES, F.S.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Cold sterilization and clarification of pineapple juice by tangential microfiltration. **Desalination**, v. 148, p. 93-98, 2002.
- CARVALHO, R.A. **Efeito da concentração do suco de camu-camu centrifugado por osmose inversa nas suas propriedades funcionais**. Rio de Janeiro, 2009, 62 p. Dissertação (Escola de Química UFRJ).
- CASSANO, A.; DRIOLI, E.; GALAVERNA, G.; MARCHELLI, R.; DI SILVESTRO, G.; CAGNASSO, P. Clarification and concentration of citrus and carrot juices by integrated membrane process. **Journal of Food Engineering**, v. 57, p. 153-163, 2003.
- CASSANO, A.; CONIDI, C.; DRIOLI, E. Clarification and concentration of pomegranate juice (*Punica granatum* L.) using membrane processes. **Journal of Food Engineering**, v. 107, p. 366-373, 2011.
- CASSANO, A.; CONIDI, C.; TIMPONE, R.; D'AVELLA, M.; DRIOLI, E. A membrane-based process for the clarification and the concentration of the cactus pear juice. **Journal of Food Engineering**. n. 80, p. 914-921. 2007.
- CASSANO, A.; DRIOLI, E. Concentration of clarified kiwifruit juice by osmotic distillation. **Journal of Food Engineering**. n. 79, p. 1397-1404. 2007.
- CASSANO, A.; FIGOLI, A.; TAGARELLI, A.; SINDONA, G.; DRIOLI, E. Integrated membrane process for the production of highly nutritional kiwifruit juice. **Desalination**, v. 189, p. 21-30, 2006.
- CASTRO, T.R., ABREU, F.A.P., CARIOCA, J.O.B. Obtenção do suco clarificado de caju (*Anacardium occidentale*, L) utilizando processos de separação por membranas. **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, n.2, p.164-168, 2007.
- CHERYAN, M. **Ultrafiltration and microfiltration handbook**. USA: Technomic Publishing. 517 p. 1998.
- CHIRINOS, R.; GALARZA, J.; BETALLELUZ-PALLARDEL, I.; PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D. Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu-camu (*myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturity stages. **Food Chemistry**, n. 120, p. 1019-1024, 2010.
- CIANCI, F.C.; SILVA, L.F.M.; CABRAL, L.M.C.; MATTA, V.M. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 579-583, 2005.
- CIESLIK, E.; GREDA, A.; ADAMUS, W. Content of polyphenols in fruit and vegetables. **Food Chemistry**, n. 94, p. 135-142, 2004.

CISSÉ, M.; VAILLANT, F.; BOUQUET, S.; PALLET, D.; LUTIN, F.; REYNES, M.; DORNIER, M. Athermal concentration by osmotic evaporation of roselle extract, apple and grape juices and impact on quality. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.12, p. 352-360, 2011.

COUREL, M.; TRONEL-PEYROZ, E.; RIOS, G.M.; DORNIER, M.; REYNES, M. The problem of membrane characterization for the process of osmotic distillation. **Desalination**, v. 140, p. 15-25, 2001.

COUTO, D.S.; CABRAL, L.M.C.; MATTA, V.M.; DELIZA, R.; FREITAS, D.G.C. Concentration of pineapple juice by reverse osmosis: physicochemical characteristics and consumer acceptance. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 4, p. 905-910, out-dez, 2011.

DELGADO, J.P.M.; YUYAMA, K. Comprimento de estaca de camu-camu com ácido indolbutírico para a formação de mudas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v. 32, n. 2, p. 522-526, junho, 2010.

DIB TAXI, C.A. **Suco de camu-camu (*Myrciaria dúbia*) microencapsulado obtido através de secagem por atomização**. Campinas, 2001, 172 p. Tese (Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP).

DIMITRIOS, B. Sources of natural phenolic antioxidants. **Trends in Food Science**, n. 17, p. 505-512, 2006.

ECHAVARRÍA, A.P.; FALGUERA, V.; TORRAS, C.; BERDÚN, C.; PAGÁN, J.; IBARZ, A. Ultrafiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of fruit juices at pilot plant scale. **Food Science and Technology**, v. 46, p. 189-195, 2012.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. **Food Chemistry**, v. 129, p. 1139-1147, 2011.

FANTINI, A.P.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SOUZA, M.C.; MANSI, D.N. Disponibilidade de ferro em misturas de alimentos com adição de alimentos com alto teor de vitamina C e cisteína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 435-439, 2008.

FENNEMA, O.R. **Química de alimentos de Fennema**. Editora Artmed, 2010. 900 p.

FERNANDES, A.G., MAIA, G.A., SOUSA, P.H.M., COSTA, J.M.C., FIGUEIREDO, R.W., PRADO, G.M. Comparação dos teores de vitamina C, carotenóides totais, antocianinas totais e fenólicos totais do suco tropical de goiaba nas diferentes etapas de produção e influência da armazenagem. **Alim. Nutr.**, v.18, n.4, p.431-438, 2007.

FRUTAS E FLORES EXOTICAS. Disponível [frutasefloresexoticas.blogspot.com](http://frutasefloresexoticas.blogspot.com) Acesso em dezembro de 2011.

GABINO, F., BELLEVILLE, M.P., PREZIOSI-BELLOY, L., DORNIER, M., SANCHEZ, J. Evaluation of cleaning of a new hydrophobic membrane for osmotic evaporation. **Separation and Purification Technology**, v.55, p.191-197, 2007.

GALAVERNA, G.; DI SILVESTRO, G.; CASSANO, A.; SFORZA, S.; DOSSENA, A.; DRIOLI, E.; MARCHELLI, R. A new integrated membrane process for the production of concentrated blood orange juice: Effect on bioactive compounds and antioxidant activity. **Food chemistry**, n. 106, p. 1021-1030, 2008.

GEORGÉ, S., BRAT, P., ALTER, P., AMIOT, M. J. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 1370-1373, 2005.

GHARSALLAOURI, A.; ROUDART, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, p. 1107-1121, 2007.

GIADA, M. L. R.; MANCINI FILHO, J. Importância dos compostos fenólicos da dieta na promoção da saúde humana. **Publicatio UEPG Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 12, n. 4, p. 7-15, 2006.

GIRARD, B.; FUKUMOTO, L. R. Membrane processing of fruit juice and beverages: a review. **Critical Reviews and Food Science and Nutrition**, v. 40, n. 2, p. 91-157, 2000.

GOMES, Flávia dos Santos. **Concentração de licopeno de suco de melancia através de processos de separação por membranas**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

GONZALEZ-AGUILAR, G.A.; VILLA-RODRIGUEZ, J.A.; AYALA-ZAVALA, J.F.; YAHIA, E.M. Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 475-482, 2010.

GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 342-351, 2010.

GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties, **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 35-42, 2005.

GUAREI. disponível em [guarei.blogspot.com](http://guarei.blogspot.com). Acesso em dezembro de 2011.

GURAK, P.D.; CABRAL, L.M.C.; ROCHA-LEÃO, M.H.M.; MATTA, V.M.; FREITAS, S.P. Quality evaluation of grape juice concentrated by reverse osmosis. **Journal of Food Engineering**, v. 96, p. 421-426, 2010.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R; **Processos de separação com membranas**. Escola piloto em engenharia química, Programa de Engenharia química, COPPE/UFRJ, 2003.

HALLIWELL, B.; MURCIA, M.A.; CHIRICO, S.; AUROMA, O.I. Free radicals and antioxidants in food and in vivo: what they do and how they work? **Critical Review in Food Science and Nutrition**, n. 35, p. 7-20, 1995.

HONGVALEERAT, C.; CABRAL, L.M.C.; DORNIER, M.; REYNES, M.; NINGSANOND, S. Concentration of pineapple juice by osmotic evaporation. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 548-552, 2008.

HU, F.B. Plant-based foods and prevention of cardiovascular disease: an overview. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 78, 2003.

INOUE, T.; KOMODA, H., UCHIDA, T.; NODE, K. Tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*) has anti-oxidative and anti-inflammatory properties. **Journal of Cardiology**, v. 52, p. 127-132, 2008.

INPA, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) - Coordenação de Pesquisas em Ciência Agronômicas (CPCA), camu-camu. Disponível em: <http://www.inpa.gov.br/cpca/areas/camu-camu.html>. Acesso em: 22 de novembro de 2011.

JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and Food Industry. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 24, n. 4, p. 289-297, 1991.

JESUS, D.F.; LEITE, M.F.; SILVA, L.F.M.; MODESTA, R.D.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Orange (*Citrus sinensis*) juice concentration by reverse osmosis. **Journal of food Engineering**, n. 81, p. 287-291, 2007.

JIAO, B.; CASSANO, A.; DRIOLI, E. Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review. *Journal of Food Engineering*, v. 63, p. 303-324, 2004.

JUSTI, K. C. J.; VISENTAINER, J. V.; SOUZA, N. E.; MATSUSHITA, M. Nutritional composition and vitamin C stability in stored camu-camu (*Myrciaria dubia*) pulp. **archivos Latinoamericanos de Nutrición**, 50, 405-408, 2000.

KARAKAYA, S.; KAVAS, A. Antimutagenic activities of some foods. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, n. 79, p. 237-242, 1999.

KAUR, C.; KAPOOR, H.C. Antioxidants in fruits and vegetables - the millennium's health. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 36, p. 703-725, 2001.

KORONAI, B.; CSANÁDI, Z.; GUBICZA, L.; BÉLAFI-BAKÓ, K. Preservation of antioxidant capacity and flux enhancement in concentration of red fruit juices by membrane processes. **Desalination**, v. 228, p. 295-301, 2008.

KORONAI, B.; KISS, K.; GUBICZA, L.; BÉLAFI-BAKÓ, K. Coupled operation of membrane distillation and osmotic evaporation in fruit juice concentration. **Desalination**, v. 200, p. 526-527, 2006.

KUNZ, W.; BENHABILES, A.; BEN-AIM, R. Osmotic evaporation through macroporous hydrophobic membranes: a survey of current research and applications. **Journal of Membrane Science**, v. 121, p. 25-36, 1996.

KUSKOSKI, E.M.; ASUERO, A.G.; MORALES, M.T.; FETT, R. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1283-1287, jul-ago, 2006.

LAORKO, A.; ZHENYU, L.; TONGCHITPAKDEE, S.; CHANTACHUM, S.; YOURAVONG, W. Effect of membrane property and operating conditions on phytochemical properties and permeate flux during clarification of pineapple juice. **Journal of Food Engineering**, n. 100, p. 514-521. 2010.

LEVINE, M.; RUMSEY, S.C.; DARUWALA, R.; PARK, J.B.; WANG, Y. Criteria and recommendations for vitamin C intake. **JAMA**, v. 281, n. 15, p. 1415-1423, 1999.

LIU, R.H. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 78, 2003.

LOPES, M.S.; LOPES, N.E.C.; GOMES, E.R.S.; PEREIRA, N.C. Análise de minerais no suco de acerola ultrafiltrado e concentrado por osmose inversa. VI COBEQ - Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, UNICAMP. 2005.

MAEDA, R. N.; PANTOJA, L.; YUYAMA, L.K.O.; CHAAR, J.M. Determinação da formulação e caracterização do néctar de camu-camu. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 70-74, 2006.

MAEDA, R.N.; ANDRADE, J.S. Aproveitamento do camu-camu (*Myrciaria dubia*) para produção de bebida alcoólica fermentada. **Acta Amazônica**, v. 33, n. 3, p. 489-496, 2003.

MAEDA, R.N.; PANTOJA, L.; YUYAMA, L.K.O.; CHAAR, J.M. Estabilidade de ácido ascórbico e antocianinas em néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 27, n. 2, p. 313-316, abr-jun, 2007.

MAGA, J. A. Simple phenol and phenolic compounds in food flavor. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 1978, 10, 323-372.

MARTINS, Fernanda de Lima. **Desenvolvimento experimental, modelagem e simulação do processo de evaporação osmótica para concentração de soluções de sacarose contendo aromas de frutas tropicais**. 2006. Tese (Doutorado em ciências em engenharia química). Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C.; SILVA, L.F.M. Suco de acerola microfiltrado: avaliação da vida de prateleira. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 293-297, abr-jun, 2004.

MATTA, V.M.; MORETTI, R.H.; CABRAL, L.M.C. Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 477-482, 2004.

MOBHAMMER, M.R.; SINTZING, F.C.; CARLE, R. Evaluation of different methods for the production of juice concentrates and fruit powders from cactus pear. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 7, p. 275-287, 2006.

MULDER, M. **Basic principles of membrane technology**. Kluwer Academic Publishers, 1991. 363 p.

- NADEEM, H.S.; TORUN, M.; OZDEMIR, F. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 1626-1635, 2011.
- NERGIZ, C.; Unal, K. Determination of phenolic acids in virgin olive oil. **Food Chemistry**, n. 39, 237-240, 1991.
- OBÓN, J.M.; CASTELLAR, M.R.; ALACID, M.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.A. Production of a red–purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 471-479, 2009.
- ODRIOZOLA-SERRANO, I.; HERNÁNDEZ-JOVER, T.; MARTÍN-BELLOSO, O. Comparative evaluation of UV-HPLC methods and reducing agents to determine vitamin C in fruits. **Food Chemistry**, v. 105, p. 1151-1158, 2007.
- OLIVEIRA, R.C.; BARROS, S.T.D.; GIMENES, M.L.; ALVIM, F.A.F.; WINTER, C. Comparação entre centrifugação e microfiltração na clarificação do suco tropical de maracujá. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 32, n. 3, p. 271-278, 2010.
- ONSEKIZOGLU, P.; SAVAS BAHCECI, K.; JALE ACAR, M. Clarification and the concentration of apple juice using membrane processes: A comparative quality assessment. **Journal of Membrane Science**, v. 352, p. 160-165, 2010.
- OSÓRIO, C.; FORERO, D.P.; CARRIAZO, J.G. Characterisation and performance assessment of guava (*Psidium guajava* L.) microencapsulates obtained by spray-drying. **Food Research International**, v.44, p. 1174-1181, 2011.
- PAGANI, M.M. **Obtenção do suco de acerola (*Malpighia emarginata*, D.C.) concentrado e pós estáveis através da integração dos processos de separação por membranas e microencapsulação por atomização**. Rio de Janeiro, 2010, 161 p. Tese (Escola de Química UFRJ).
- PAP, N.; PONGRÁCZ, E.; JAAKKOLA, M.; TOLONEN, T.; VIRTANEN, V.; TURKKI, A.; HORVÁTH-HOVORKA, Z.; VATAI, G.; KEISKI, R.L. The effect of pre-treatment on the anthocyanin and flavonol content of black currant juice (*Ribes nigrum* L.) in concentration by reverse osmosis. **Journal of Food Engineering**. n. 98, p. 429-436. 2010.
- PAULA, B.; MORAES, I.V.M.; CASTILHO, C.C.; GOMES, F.S.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Melhoria na eficiência da clarificação de suco de maracujá pela combinação dos processos de microfiltração e enzimático. **B.CEPPA**, Curitiba, v. 22, n. 2, 2004.
- PETROTOS, K.B.; LAZARIDES, H.N. Osmotic concentration of liquid foods. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 201-206, 2001.
- PIETTA, P.G. Flavonoids as Antioxidants. **Journal of Natural Products**, v. 63, n. 7, p. 1035-1042, 2000.
- PRIOR, R.L.; CAO, G. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: diet and health implications. **Horticulture Science**, n. 35, p. 588-592, 2000.

QUEK, S.Y.; CHOK, N.K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 386-392, 2007.

RÉ, M. I. Microencapsulaion by spray drying. **Drying Technology**, v. 16, n. 6, p. 1195-1236, 1998.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICEEVANS, C. Antioxidant activity applying na improved abts radical cation decolorization assay. **Free Radic. Biol. Med.**, 26, 9/10, 1231 – 1237, 1999.

RODRIGUES, R.B.; CABRAL, L.M.C.; MENEZES, H.C.; MATTA, V.M.; DORNIER, M. Concentration using osmotic evaporation. **Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering**, 2006.

RODRIGUES, R.B.; MENEZES, H.C.; CABRAL, L.M.C.; DORNIER, M.; RIOS, G.M.; REYNES, M. Evaluation of reverse osmosis and osmotic evaporation to concentrate camu-camu juice (*Myrcyaria dubia*). **Journal of food engineering**, n. 63, p. 97-102. 2004.

ROSA, J.S.; GODOY, R.L.O.; OIANO NETO, J.; CAMPOS, R.S.; MATTA, V.M.; FREIRE, C.A.; SILVA, A.S.; SOUZA, R.S. Desenvolvimento de um método de análise de vitamina C em alimentos por cromatografia líquida de alta eficiência e exclusão iônica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 837-846, 2007.

ROSS, J.A.; KASUM, C.M. Dietary Flavonoids: Bioavailability, Metabolic Effects, and Safety. **Annu. Rev. Nutr.** 2002.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; SAMPAIO, C. G., JIMÉNEZ, J. P.; SAURA-CALIXTO, F. D. Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical ABTS +. **Comunicado Técnico (Embrapa Agroindústria Tropical)**, 2007.

RUFINO, M.S.M., ALVES, R.E., BRITO, E.S., JIMÉNEZ, J.P., CALIXTO, F.S., FILHO, J.M Bioactive compounds and oxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**. v.121. p. 996-1002, 2010.

SÁ, I.S.; CABRAL, L.M.C.; MATTA, V.M. Concentração de suco de abacaxi através dos processos com membranas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, n.1, p. 53-62, 2003.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, p. 616-622, 2009.

SANTANA, I. **Avaliação do efeito da temperatura no processo de concentração por osmose inversa na qualidade do suco de uva (*Vitis labrusca* L.)**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) – Instituto de Química – UFRJ.

SANTIN, Márcia Maria. **Aplicação de tratamento enzimático combinado a microfiltração na clarificação de suco de pêsego**. 2004. Dissertação (Mestrado em engenharia de alimentos). Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI, Campus de Erechim, Erechim, RS, 2004.

SCHREINER, M.; HUYSKENS-KEIL, S. Phytochemicals in Fruit and Vegetables: Health Promotion and Postharvest Elicitors. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, p. 267-278, 2006.

SHAHIDI, F.; HAN, X. Encapsulation of food ingredients. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 501-547, 1993.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. Food Phenolics: sources, chemistry, effects and applications. Lancaster: Technomic, 1995, 331 p.

SILVA, M. F. V. **Efeito de diferentes tratamentos e embalagens nas características da polpa e na determinação dos teores de ácido ascórbico e das antocianinas durante o armazenamento**. 1999. 224 f. Tese (Doutorado). FEA, UNICAMP, Campinas. 1999.

SMIDERLE, O.J; SOUSA, R.C.P. Teor de vitamina C e características físicas do camu-camu em dois estádios de maturação. **Revista Agro@mbiente on line**, v.2, n.2, p. 61-63, jul-dez, 2008.

SMITH, J.; CHARTER, E. **Functional food product development**. Wiley-Blackwell, 2010. 537 p.

SOLVAL, K.M.; SUNDARARAJAN, S.; ALFARO, L.; SATHIVEL, S. Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powders using spray drying technology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 46, p. 287-293, 2012.

TONON, R. V., BRABET, C., HUBINGER, M.D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n.2, p. 444-450, abr.-jun. 2009.

TONON, Renata Valeriano. **Secagem por atomização do suco de açaí: Influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2010.

USHIKUBO, F.Y.; WATANABE, A.P.; VIOTTO, L.A. Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice. **Journal of Membrane Science**, v. 288, p. 61-66, 2007.

VAILLANT, F., JEANTON, E., DORNIER, M., O'BRIEN, G.M., REYNES, M., DECLoux, M. Concentration of passion fruit juice on an industrial pilot scale using osmotic evaporation. **Journal of food engineering**, v. 47, p. 195-202, 2001.

VAILLANT, F.; MILLAN, P.; O'BRIEN, G.; DORNIER, M.; DECLoux, M.; REYNES, M. Crossflow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction. **Journal of Food Engineering**, v. 42, p. 215-224, 1999.

VALDÉZ, H.; ROMERO, J.; SAAVEDRA, A.; PLAZA, A.; BUBNOVICH, V. Concentration of noni juice by means of osmotic distillation. **Journal of Membrane Science**, v. 330, p. 205-213, 2009.

VATTEM, D.A.; SHETTY, K. Biological functionality of ellagic acid: a review. **Journal of Food Biochemistry**, v. 29, p. 234-266, 2005.

VIDIGAL, M.C.T.R.; MINIM, V.P.R.; CARVALHO, N.B.; MILAGRES, M.P.; GONÇALVES, A.C.A. 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 lá cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 30 (Supl. 1), p. 151-160, 2010.

YU, J.; LENCKI, R.W. Effect of enzyme treatments on the fouling behavior of apple juice during microfiltration. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 413-423, 2004.

YUYAMA, K.; AGUIAR, J. P. L.; YUYAMA, L. K. O. Camu-camu: um fruto fantástico como fonte de vitamina C. **Acta Amazônica**, v. 32, n. 1. p. 169-174, 2002.

ZAMUDIO, Luz Haydee Bravo. **Caracterização de vitamina C em frutos de camu-camu *Myrciaria dubia* (H.B.K.) em diferentes estágios de maturação do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa**. Monografia (Especialização em Nutrição Humana). Departamento de Nutrição, Programa de Pós-Graduação em Nutrição Humana, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2007.

ZANATTA, C.F. **Determinação da composição de carotenóides e antocianinas de camu-camu (*Myrciaria dubia*)**. Campinas, 2004. 162p. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

ZANATTA, C.F.; CUEVAS, E.; BOBBIO, F.O.; WINTERHALTER, P.; MERCADANTE, A.Z. Determination of Anthocyanins from Camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS, and NMR. **Journal of Agriculture 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.

ZHENG, L.; DING, Z.; ZHANG, M.; SUN, J. Microencapsulation of bayberry polyphenols by ethyl cellulose: Preparation and characterization. **Journal of Food Engineering**, n. 104, p. 89-95, 2011.