

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

ALINE INACIO ALVES

**OBTENÇÃO DE EXTRATO DE CAROTENOIDES DE POLPA DE PEQUI (*Caryocar brasiliense* Camb.) ENCAPSULADO PELO MÉTODO DE SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO**

VIÇOSA

MINAS GERAIS - BRASIL

2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

A474o  
2014  
Alves, Aline Inacio, 1989-  
Obtenção de extrato de carotenoides de polpa de pequi  
(Caryocar brasiliense Camb.) encapsulado pelo método de  
secagem por atomização / Aline Inacio Alves. – Viçosa, MG,  
2014.

xiv, 78f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Afonso Mota Ramos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.57-76.

1. Pequi. 2. Carotenoides. 3. Secagem. 4. Emulsão.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Tecnologia  
de Alimentos. Programa de Pós-graduação em Ciência e  
Tecnologia de Alimentos. II. Título.

CDD 22. ed. 634.575

ALINE INACIO ALVES

**OBTENÇÃO DE EXTRATO DE CAROTENOIDES DE POLPA DE PEQUI  
(*Caryocar brasiliense* Camb.) ENCAPSULADO PELO MÉTODO DE  
SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL

2014

ALINE INACIO ALVES

**Obtenção de Extrato de Carotenoides de Polpa de Pequi  
(*Caryocar brasiliense* Camb.) Encapsulado pelo Método de  
Secagem por Atomização**

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

APROVADA: 27 de fevereiro de 2014.

---

Érica Nascif Rufino Vieira

---

Paulo Cesar Stringheta  
(Coorientador)

---

Afonso Mota Ramos  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, princípio e fim de toda a existência, por sempre se fazer presente em minha vida e sem o qual nada disso seria possível.

A Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realizar o mestrado.

A FAPEMIG pelo apoio a pesquisa e ao CNPq pela bolsa concedida.

Ao meu orientador, professor Afonso Mota Ramos, por ter me proporcionado realizar este trabalho, por sua dedicação, apoio, orientação, conselhos nos momentos de dúvidas, ensinamentos e paciência.

À professora Ellen Silva Lago Vanzela que, mesmo quando longe, sempre se mostrou solícita, pelas sugestões e contribuição na realização deste trabalho, pela dedicação, atenção e disponibilidade.

Ao Professor Paulo César Stringheta pelas sugestões e colaboração durante o desenvolvimento do trabalho.

A professora Érica Nascif Rufino Vieira por ter aceito convite para participar da defesa e pelo apoio.

Ao Professor Ítalo Perrone pela ajuda e disponibilidade no desenvolvimento do experimento.

À professora Edmar pelas sugestões e esclarecimento de dúvidas sempre quando solicitada.

A minha mãe amiga e companheira que sempre esteve ao meu lado e ao meu pai pelo apoio e torcida. A eles que sempre acreditaram nos meus sonhos me dedicando muito amor, apoio, confiança e motivação incondicional, sem os quais nada disso seria possível.

Aos meus irmãos Danielle e João Pedro que mesmo distante torceram pela minha vitória e são pessoas muito especiais em minha vida. Grande parte do que sou devo a eles.

Ao meu amado namorado Samuel que sempre compreendeu minhas ausências, e esteve ao meu lado em todos os momentos, suportando o mau humor, impaciência e ansiedade. Muito obrigada pela imensa ajuda e por partilhar isso tudo comigo e se fazer sempre presente.

A minha sogra Maria José pela preocupação e por sempre estar rezando para que as coisas deem certo.

Ao meu afilhado Rafael, coisa mais linda do mundo. Como não se alegrar ao ver aquele sorriso tão gostoso e aquela bochecha que dá vontade de morder.

A minha amiga Anna Carolina, que me apoia sempre e me conforta quando preciso.

Ao Erick pela paciência em esclarecer minhas dúvidas e sempre ser tão solícito em me ajudar.

Ao Marcos pelo apoio e ajuda durante a execução deste trabalho.

A Marcela pela ajuda e amizade durante a realização do trabalho.

Aos colegas de laboratório, Patrícia, Daniele, Mônica, Bianca, Fabíola, Arthur e Ariana pela presença e momentos de descontração.

A equipe do professor Ítalo, Moisés, Laíza, Vinícius e Paulo Henrique pela colaboração na utilização do Spray Dryer.

As companheiras de república, Marcela, Júlia e Driene pelas conversas que ajudavam amenizar o estresse.

Aos meus familiares que entenderam minha ausência nesses anos de mestrado e torceram muito.

A todos os funcionários do Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFV.

Agradeço também o Núcleo de Microscopia e Micro-análiseda UFV, pelo auxílio na análise de microscopia de varredura.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para o meu crescimento pessoal e profissional.

## **BIOGRAFIA**

Aline Inacio Alves, filha de Pedro Cândido Alves e Neuzedina Inacio Alves, nasceu em Alegre, Espírito Santo no dia 27 de março de 1989.

Em fevereiro de 2012, graduou-se em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Espírito Santo, Campus Alegre, em Alegre-ES. No período de 2009 a 2011 foi bolsista de iniciação científica e trabalhou com recobrimento comestível em morango e Modelagem e simulação de sistemas térmicos.

Em agosto de 2012, iniciou o curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal de Viçosa.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO .....	xi
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo Geral .....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Pequi.....	4
3.1.1. Características, Produção e Consumo .....	4
3.1.2 Composição química e compostos bioativos .....	6
3.1.2.1 Desafios para obtenção de extratos carotenogênicos de fontes naturais.....	10
3.2 Encapsulamento .....	12
3.2.2 Agentes encapsulantes.....	17
3.2.3 Métodos de encapsulamento.....	20
3.3 Secagem por Atomização .....	21
3.4 Cor .....	23
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	24
4.1 Obtenção da matéria-prima .....	24
4.2 Emulsificante.....	24
4.3 Encapsulante .....	25
4.4 Delineamento experimental .....	25
4.5 Caracterização da matéria prima .....	27
4.5.1 Teor de água .....	27

4.5.2	Atividade de água (Aa) .....	28
4.5.3	Potencial hidrogeniônico (pH).....	28
4.5.4	Teor de sólidos solúveis totais (SST) .....	28
4.5.5	Acidez total titulável (ATT).....	28
4.5.6	Determinação de vitamina C.....	28
4.5.7	Teor de Carotenoides .....	29
4.5.8	Compostos fenólicos totais .....	30
4.5.9	Análise objetiva da cor.....	31
4.5.10	Avaliação da atividade Ensaio em sistema $\beta$ -caroteno/ácido linoleico	31
4.6	Preparo do extrato de carotenoides .....	32
4.7	Obtenção do extrato de carotenoides em pó encapsulados .....	33
4.7.1	Viscosidade da emulsão .....	33
4.7.2	Acondicionamento padrão para caracterização inicial do extrato em pó.....	34
4.7.3	Características físicas, químicas e morfológicas dos extratos de carotenoides encapsulados em pó .....	34
4.7.4	Morfologia das Partículas.....	35
4.7.5	Solubilidade .....	35
4.7.6	Higroscopicidade .....	36
4.8	Cinética de degradação dos carotenoides totais e da cor do extrato em pó.....	36
4.9	Análise estatística .....	37
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	37
5.1.	Caracterização da matéria prima .....	37
5.2.	Viscosidade da emulsão .....	42
5.3.	Caracterização do produto encapsulado.....	42
5.4.	Morfologia dos extratos de carotenoides encapsulados em pó.....	46
5.5.	Cinética de degradação .....	49

6. CONCLUSÕES .....	56
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
ANEXO .....	77

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura química de alguns carotenoides. Fonte: Adaptado de Ambrósio et al. (2006).....	8
Figura 2 - Alguns modelos de microcápsulas. (A): matriz (microsfera), que é o tipo produzido pela microencapsulação por atomização; (B): microcápsula simples; (C): simples, irregular; (D): duas paredes; (E): vários núcleos; (F): agrupamento de microcápsulas (ARSHADY, 1993; GIBBS, 1999).....	13
Figura 3- Sistema de cores CIELAB. Fonte: Cie Publication, 1986. ....	24
Figura 4 - Esquema do primeiro experimento. ....	26
Figura 5 - Esquema do segundo experimento. ....	27
Figura 6 - Etapas para obtenção do extrato de carotenoides em pó oriundo de polpa de pequi. ....	34
Figura 7 - Micrografias eletrônicas de varredura de extrato de carotenoides microencapsulado com maltodextrina e goma arábica por atomização a (a)150°C (2000x), (b)150 °C (1000x), (c) 170 °C (2000x), (d) 170 °C (1000x), (e)190 °C (2000x), (f)190 °C (1000x). ....	47
Figura 8 - Cinética de degradação para característica Luminosidade, do extrato de pequi encapsulado e armazenado a temperatura de 5 °C, 25 °C e 40 °C. ...	50
Figura 9 - Cinética de degradação para Coordenada a*, do extrato de pequi encapsulado armazenada a temperatura de 5 °C, 25 °C e 40 °C.....	51
Figura 10 - Cinética de degradação para Coordenada b*, do extrato de pequi encapsulado armazenada a temperatura de 5 °C, 25 °C e 40 °C.....	51
Figura 11 - Cinética de degradação para Cromaticidade (Índice Chroma – C*), do extrato de pequi encapsulado armazenada a temperatura de 5 °C, 25 °C e 40 °C.....	52
Figura 12 - Cinética de degradação do teor de carotenoides, do extrato de pequi encapsulado armazenada a temperatura de 5 °C, 25 °C e 40 °C. ....	53

Figura 13- Extrato de carotenoides de pequi microencapsulado após 100 dias de armazenamento a (a) 5 °C, (b) 25 °C e (c) 40 °C.....54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição centesimal da polpa de pequi. ....	7
Tabela 2 - Material encapsulado, agentes encapsulantes e métodos utilizados em alguns trabalhos sobre microencapsulamento .....	15
Tabela 3 - Agentes encapsulantes.....	18
Tabela 4 - Métodos utilizados no encapsulamento .....	20
Tabela 5 - Caracterização da polpa in natura de pequi e da polpa desidratada a 60 °C.....	38
Tabela 6 - Atividade antioxidante da polpa de pequi in natura e desidratada...	41
Tabela 7- Resultado das coordenadas de cor (L*, a*, b*, oh, C*) dos extratos de carotenoides encapsulados em pó em diferentes temperaturas de secagem ..	43
Tabela 8 - Resultado de teor carotenoides, água, atividade de água (Aa), pH, acidez total titulável (acidez), teor de água, solubilidade (Sol) e higroscopicidade (Hig) dos extratos de carotenoides encapsulados em pó em diferentes temperaturas de secagem.....	44
Tabela 9 - Parâmetros cinéticos dos pós de extrato de carotenoides de pequi microencapsulados .....	55

## RESUMO

ALVES, Aline Inacio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2014. **Obtenção de Extrato de Carotenoides de Polpa de Pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) Encapsulado pelo Método de Secagem por Atomização.** Orientador: Afonso Mota Ramos. Co-orientadores: Ellen Silva Lago Vanzela e Paulo César Stringheta.

Por apresentar alta concentração de carotenoides, o pequi apresenta potencialidade como fonte para corantes naturais. Devido à baixa estabilidade dos carotenoides, tem-se incentivado o desenvolvimento de técnicas de encapsulamento para aumentar a conservação. Esta pesquisa teve como objetivo obter o extrato de carotenoides de polpa de pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) encapsulado pelo método de secagem por atomização e avaliar a sua estabilidade durante armazenamento em diferentes temperaturas. O experimento foi conduzido no Laboratório de Ciência de Produtos de Frutas e Hortaliças do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa. Primeiramente realizou-se a caracterização da polpa de pequi in natura e desidratada. Da polpa de pequi desidratada obteve-se o extrato rico em carotenoides. O extrato de carotenoides em pó encapsulado foi obtido com auxílio de um atomizador, e a emulsão foi formulada utilizando como matriz encapsulante, maltodextrina (DE 10) e goma arábica na concentração de 20 % e 10 %, respectivamente. A fim de se determinar a temperatura ideal o extrato microencapsulado foi seco em atomizador, avaliando-se 3 temperaturas (150, 170 e 190 °C) e, posteriormente, foram realizadas análises de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $^{\circ}h$ ) e teor de carotenoides. Para caracterizar o material microencapsulado foram realizadas análises de teor de água, atividade de água, acidez total titulável, pH, solubilidade e higroscopicidade. Para a cinética de degradação foi avaliado o teor de carotenoides totais e as características cromáticas ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C^*$ ) no extrato encapsulado, estocado sob diferentes temperaturas de armazenamento (5 °C, 25 °C e 40 °C). Diante dos resultados obtidos constatou-se que dentre as temperaturas de secagem 190 °C foi a que permitiu maior conservação dos carotenoides. Quanto às características de cor e morfologia não foi observada diferença entre o produto nas diferentes temperaturas. Na cinética de degradação observou-se que a melhor temperatura para o armazenamento do

extrato encapsulado foi a de 5 °C, sendo a que menos influenciou nas características cromáticas e a que proporcionou menor degradação dos carotenoides totais. Podendo-se ressaltar a drástica queda que ocorreu no teor de carotenoides do extrato encapsulado na temperatura de 40 °C.

## ABSTRACT

ALVES, Aline Inacio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2014. **Getting Carotenoids Extract Pulp Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) Encapsulated by Spray Drying Method.** Advisor: Afonso Mota Ramos. Co-advisors: Ellen Silva Lago Vanzela and Paulo César Stringheta.

Due to high concentration of carotenoids, Pequi shows potential as a source for natural dyes. Due to the low stability of carotenoids, it has encouraged the development of encapsulation techniques to increase conservation. This research aimed to obtain the extract carotenoids pulp Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) Encapsulated by spray drying method and evaluate its stability during storage at different temperatures. The experiment was conducted at the Laboratory of Science of Fruit and Vegetable Products, Department of Food Technology, Federal University of Viçosa. First there was the characterization of pulp pequis fresh and dehydrated. Pulp dehydrated pequis gave the extract rich in carotenoids. The extract carotenoid encapsulated powder was obtained with the aid of an atomizer, and the emulsion was formulated using as the encapsulating matrix, maltodextrin (DE 10) and gum arabic in a concentration of 20 % and 10 %, respectively. In order to determine the optimum temperature, the extract was dried microencapsulated atomizer, evaluating three temperatures (150, 170 and 190 °C) and then analyzes the color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  were performed and °h) and carotenoid content. To characterize the microencapsulated material analyzes of water content, water activity, total acidity, pH, solubility and hygroscopicity were performed. For the degradation kinetics was evaluated the content of total carotenoids and color characteristics ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ) in the encapsulated extract stored under different storage temperatures (5 °C, 25 °C and 40 °C). Based on these results it was found that among the drying temperature was 190 °C which allowed greater retention of carotenoids. Regarding the characteristics of color and no difference between the morphology of the product at different temperatures was observed. In the degradation kinetics was observed that the best temperature for the storage of the encapsulated extract was 5 °C, which is influenced in the least color characteristics and that provided less degradation of carotenoids. May be noted

that the drastic drop occurred in the content of carotenoids extract encapsulated in temperature of 40°C.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as espécies nativas do Cerrado, destaca-se o pequizeiro (*Caryocar brasiliense Camb.*), que produz um fruto com várias denominações populares, como piqui, pequiá, amêndoa-de-espinho, grão-de-cavalo-pequi, amêndoa-do-brasil e pequi, sendo este o mais comumente utilizado (SILVA et al., 2012a). Sua importância como alimento para as populações que habitam as regiões onde são produzidos é notória, uma vez que, no período da safra, contribui no suprimento dos aportes energéticos e nutricionais necessários, principalmente para as famílias de baixa renda (OLIVEIRA et al., 2008). Os frutos de *C. brasiliense* dão um sabor característico à cozinha regional, tornando-se uma especiaria valorizada. Além disso, produtos como licores, doces, conservas de frutas e óleo, entre outros produtos são obtidos a partir da sua polpa (GEÖCZE et al., 2013).

Por apresentar alta concentração de carotenoides, o pequi apresenta potencialidade como fonte para corantes naturais, mas independente do uso do pequi, como corante ou como ingrediente alimentício, o maior desafio é estabelecer uma logística de transporte, conservação e processamento do pequi que resulte em um produto atrativo nutricional e economicamente viável. Isto porque os carotenoides presentes nas frutas e hortaliças encontram-se naturalmente protegidos pela estrutura do tecido vegetal. Durante o processamento e extração dos carotenoides do pequi inevitavelmente há rompimento da estrutura celular do tecido, aumentando assim a área superficial, expondo os carotenoides a condições adversas dando início a uma série de reações de degradação, devido a instabilidade de ligações que também são responsáveis pela coloração característica dos carotenoides (OLIVEIRA, 2010).

Devido à baixa estabilidade dos carotenoides à luz, as etapas de obtenção, manuseio e embalagem dos mesmos requerem cuidados especiais visando reduzir sua degradação. Esta necessidade de conservação tem incentivado o desenvolvimento de novas pesquisas neste setor e técnicas de encapsulamento têm sido amplamente propostas na literatura (PINTO, 2012).

O emprego de técnicas de encapsulamento que garantam a maior estabilidade dos carotenoides é extremamente importante para assegurar um produto final de qualidade e muitos trabalhos são encontrados na literatura

(SANTOS et al., 2005; WANG et al. 2012; TANG e CHEN, 2000; NUNES e MERCADANTE, 2007; GUO et al., 2012; PINTO, 2012). E ao mesmo tempo a encapsulação é desejável para tornar os carotenoides dispersíveis em água (MATIOLI e RODRIGUEZ-AMAYA, 2003).

A microencapsulação pode ser definida como um processo no qual uma membrana envolve pequenas partículas de sólido, líquido ou gás com o objetivo de proteger o material das condições adversas do meio, tais como luz, teor de água, oxigênio e interações com outros compostos, estabilizando o produto, aumentando a vida útil e promovendo a liberação controlada do encapsulado em condições pré-estabelecidas (SHAHIDI e HAN, 1993). Várias técnicas e agentes encapsulantes são utilizados no processo de encapsulamento e entre os métodos podem-se destacar: atomização, extrusão, leite fluidizado, coacervação, secagem em tambor, inclusão molecular, liofilização (AZEREDO, 2005) e secagem em camada de espuma (PINTO, 2012).

A secagem por atomização (*Spray Drying*) é um dos métodos mais empregados para a microencapsulação, devido à disponibilidade de equipamentos, possibilidade de emprego de uma ampla variedade de agentes encapsulantes, boa retenção dos compostos voláteis e estabilidade do produto final (SANTOS et al., 2005). Devido as vantagens apresentadas por essa técnica, ela tem sido aplicada em carotenoides (RASCÓN et al., 2001; ROCHA et al., 2012; WANG et al., 2012; ASTUDILLO, 2013; SHEN e QUEK, 2014). O primeiro passo do processo é selecionar o agente encapsulante adequado, que deve conter propriedades emulsificantes, ser capaz de formar filmes, ter baixa viscosidade e altos níveis de sólidos, exibir baixa higroscopicidade e ser de baixo custo (CONSTANT, 1999).

Este trabalho tem como objetivo produzir extratos de carotenoides da polpa de pequi encapsulado pelo método de secagem por atomização, bem como avaliar a influência da temperatura de processo sobre as propriedades físicas e químicas dos extratos desidratados.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Obter o extrato de carotenoides de polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) encapsulado pelo método de secagem por atomização e avaliar a sua estabilidade durante armazenamento em diferentes temperaturas.

### 2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar a polpa de pequi realizando análises de teor de água, atividade de água, pH, teor de sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT), vitamina C, carotenoides totais, compostos fenólicos totais, atividade antioxidante e cor.
- Caracterizar a polpa de pequi desidratada em secador de bandejas com ar aquecido a 60 °C realizando análises de teor de água, atividade de água, pH, acidez total titulável (ATT), vitamina C, carotenoides totais, compostos fenólicos totais, atividade antioxidante e cor.
- Avaliar o efeito de diferentes (150 °C, 170 °C e 190 °C) sobre a cor e o teor de carotenoides totais e definir a temperatura que cause menor alterações ao extrato de pequi encapsulado.
- Caracterizar a morfologia dos extratos de carotenoides obtidos a partir dos diferentes tratamentos por microscopia óptica.
- Avaliar a cinética de degradação dos carotenoides totais e das características cromáticas ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C^*$ ) no extrato encapsulado, acondicionado em frascos de polipropileno estocado sob diferentes temperaturas de armazenamento (5 °C, 25 °C e 40 °C).

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Pequi

##### 3.1.1. Características, Produção e Consumo

O pequizeiro (*Caryocar brasiliense*) é uma árvore de presença exclusiva no bioma do Cerrado brasileiro, que inclui os Estados do Pará, Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, São Paulo, Minas Gerais e Paraná, bem como os Estados nordestinos, Piauí, Ceará e Maranhão (LIMA et al., 2007). Pertencente a família Caryocaraceae, apresenta 12 espécies, sendo a de maior presença no Cerrado do Planalto Central a *Caryocar brasiliense* Camb. (OLIVEIRA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2008).

O pequizeiro pode ser classificado como uma planta frutífera ou oleaginosa, em razão das suas características e formas de utilização (OLIVEIRA et al., 2008). As características da planta são fáceis de serem reconhecidas: as folhas do pequizeiro contêm três “dedos” no final do ramo, são grandes, com pequenos pêlos, nos dois lados da folha, e possuem as bordas recortadas; já as flores são de cor branca amarelada, também grandes e reunidas em cachos de até 30 flores, o que chama atenção de diversos animais (OLIVEIRA e SCARIOT, 2010). Além disso, apresenta cerca de 50 anos de vida útil, frutificando a partir do oitavo ano (MAY et al., 2001). Sua floração ocorre normalmente entre os meses de setembro e novembro enquanto a frutificação ocorre de outubro a fevereiro (OLIVEIRA et al., 2008), podendo variar entre as regiões, principalmente devido a diferenças de temperatura, teor de água e período de chuvas (OLIVEIRA e SCARIOT, 2010). No sudeste de Goiás, um pequizeiro adulto pode produzir até 350 frutos por safra, e em outras áreas do estado são relatadas plantas produzindo mais de 3400 frutos. No norte de Minas Gerais, um pequizeiro produz em média 110 frutos, podendo chegar a 420 frutos. Um fruto de pequi pesa entre 30 a 400g, com comprimento variando de 6 a 14 cm e diâmetro de 6 a 10 cm (OLIVEIRA e SCARIOT, 2010).

O fruto do pequizeiro é classificado como uma drupa contendo, normalmente, entre 1 e 4 caroços por fruto, cientificamente chamados de

pirênios (putâmens), que são compostos por um endocarpo lenhoso com inúmeros espinhos, contendo internamente a semente ou amêndoa. Esta estrutura é envolta por uma polpa de coloração amarela intensa, carnosa e com alto teor de óleo, chamada cientificamente de mesocarpo interno (OLIVEIRA et al., 2008; SOARES et al., 2009).

Pequi significa “pele de espinhos”, devido à característica espinhosa, escondida sob a massa carnosa, originada do tupi: py = pele, casca e qui = espinho (RIBEIRO, 2000; MACEDO, 2005). A presença dos espinhos limita o consumo do pequi (VILAS BOAS, 2004). No entanto, o pequizeiro faz parte da cultura local do cerrado e, considerado um alimento de alto valor nutritivo e medicinal, compõe vários pratos típicos. Além disso, possibilita geração de renda e emprego para agricultores familiares (OLIVEIRA et al., 2008), e até mesmo para famílias que moram nos centros urbanos próximos aos Cerrados, onde encontram meios de explorarem os frutos no comércio interno das cidades (ASSUNÇÃO, 2012).

O Estado de Minas Gerais (MG) é o principal produtor e consumidor de pequi. Atualmente, este Estado produz cerca de 30% de toda a produção brasileira de pequi, sendo o Norte de Minas responsável por aproximadamente 22%. A Cooperativa Grande Sertão, do município de Montes Claros, no Norte de Minas é um exemplo de cadeia produtiva bem sucedida. Em 2012, a produção da entidade alcançou 100 toneladas (AGENCIA MINAS, 2013).

Sua polpa é utilizada para extração do óleo, na produção de geleias, doces, licores, cremes, sorvetes, farofas, pamonha, ração para porcos e galinhas. Com a polpa fermentada é produzido um tipo de licor bastante conhecido e apreciado em algumas regiões do país. Alguns estudos indicam que o óleo tem bom potencial para produção de biocombustíveis e lubrificantes, sendo testado em carros, caminhões, tratores e geradores de energia elétrica (OLIVEIRA e SCARIOT, 2010). Alternativamente, caroços e a polpa de pequi podem ser congelados ou armazenados em conserva para disponibilizar o pequi durante todo o ano.

Os frutos de pequi são normalmente coletados no chão, logo que amadurecem e caem das árvores, quando são considerados maduros. Após a queda natural, caso não seja realizada a coleta imediata, os frutos tornam-se macios em dois ou três dias e rapidamente entram em processo de

deterioração. Em função da crescente demanda e quando ocorre aumento nos preços, os frutos são coletados na árvore, conhecida como “pequi de vara”, que consta da derrubada dos frutos sem que tenham completado o processo de maturação. Este tipo de colheita é considerado um dos principais problemas do extrativismo do pequi, reduzindo a qualidade do fruto comercializado (OLIVEIRA et al., 2006).

Durante o período de safra, o preço do pequi passa por três grandes fases, em virtude principalmente da quantidade ofertada. Obedecendo a Lei da Oferta e da Demanda, a quantidade ofertada pelos catadores de pequi, no início da safra, é pequena, o que eleva o preço de venda. Assim, nos meses de dezembro e até meados de janeiro, o preço do pequi (a valores observados na última safra 2011/2012) girou em torno de R\$ 0,40/kg. Já no período de plena safra, ou seja, metade de janeiro a meados de março, a quantidade ofertada é tão grande que o preço de venda cai para R\$ 0,10/kg. Na terceira e última fase, já no final da safra, que normalmente compreende o final de março e início de abril, os preços voltam a subir atingindo R\$ 0,40/kg a R\$ 0,50/kg motivados pela ausência da oferta do produto. Importante observar que o fator principal que eleva a oferta e a queda do preço, além da safra propriamente dita, é a falta de capacidade de estocagem do produto pelo grande maioria dos extrativistas, que os obrigam a vender tudo o que foi colhido em um curto espaço de tempo (ALVERNE, 2012). O congelamento na entressafra pode ser uma alternativa simples e viável para a conservação de pequi. Assim, durante a safra, os frutos podem ser descascados, os putâmens (polpa ou mesocarpo interno + semente = caroço) são acondicionados em sacos plásticos e, posteriormente, conservados sob congelamento para o consumo na entressafra (OLIVEIRA et al., 2006).

### **3.1.2 Composição química e compostos bioativos**

A composição química da polpa de pequi varia conforme a região e o clima onde o pequi é plantado (OLIVEIRA e SCARIOT, 2010). Na Tabela 1 podem-se observar os componentes majoritários da polpa de pequi.

**Tabela 1** - Composição centesimal da polpa de pequi.

Teor de água (%)	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Lipídeos (%)	Carboidratos (%)	Fibra (%)	Referências*
-	-	3,00	20,00	11,00	14,00	(1)
41,5	0,63	3,00	33,40	11,45	10,02	(2)
55,6	0,64	2,00	24,00	18,00	-	(3)

\* (1) Roesler et al., 2008; (2) Lima et al., 2007; (3) Oliveira et al., 2010.

O pequi também é rico em sais minerais, como cálcio, fósforo, magnésio potássio, sódio, ferro e cobre, constituindo boa fonte de vitaminas B1 (tiamina), B2 (riboflavina) e B3 (niacina, ácido nicotínico ou vitamina PP) (ALMEIDA et al., 1998; MARIANO DA SILVA et al., 2009; SOUSA et al., 2012). Almeida et al. (2008) relatam um teor de pectina de 2,23% na polpa do pequi. Contém ainda diferentes antioxidantes como carotenoides, vitamina C, componentes fenólicos (flavonóides e taninos) saponinas e óleos essenciais.

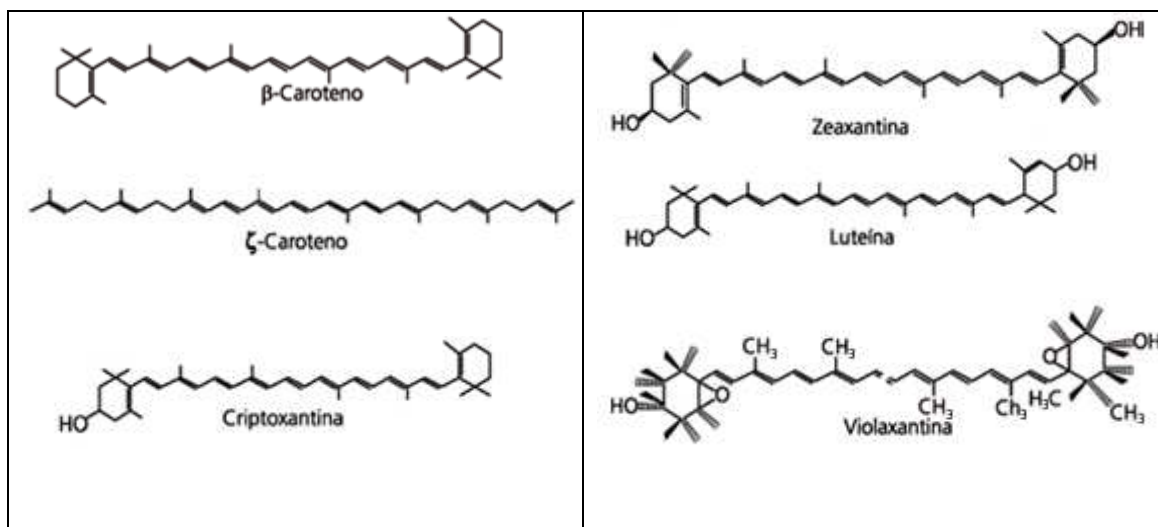
Em relação ao teor de compostos fenólicos totais da polpa de pequi, Lima et al. (2008), em estudo com pequis oriundos do Piauí, constataram teores consideráveis para a polpa desse fruto ( $209 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ).

O pequi é uma importante fonte de carotenoides, que são compostos naturais, contendo duplas ligações conjugadas, atuam por seu efeito antioxidante na eliminação de radicais livres. A correlação entre altos níveis de carotenoides e benefícios à saúde apareceu na literatura na década de 70. As dietas ricas em frutas e legumes estavam associadas a reduzidas taxas de câncer e doenças coronárias (STRINGHETA et al., 2006).

Os carotenoides atuam como precursores da vitamina A, ajudando diretamente no combate aos radicais livres que em excesso podem lesar várias moléculas, como proteínas, ácidos graxos insaturados dos fosfolipídios de membranas, carboidratos e DNA, estando relacionados com o surgimento e/ou desenvolvimento de uma série de doenças crônicas não transmissíveis, como aterosclerose, diabetes, doenças da visão, câncer dentre outras (SILVA et al., 2012).

Dentre os principais carotenóides encontrados no pequi destacam-se,  $\beta$ -caroteno, licopeno,  $\zeta$ -caroteno, criptoxantina, anteroxantina, zeaxantina,

mutatoxantina, violoxantina, luteína e neoxantina. Na Figura 1 estão representadas algumas estruturas químicas de carotenoides presentes na polpa de pequi.



**Figura 1** - Estrutura química de alguns carotenoides. Fonte: Adaptado de Ambrósio et al. (2006).

Em um estudo realizado por Oliveira et al. (2006), os teores de  $\beta$ -caroteno representaram mais de 90% dos teores de carotenoides totais. Mas pode ser observado que outros autores encontraram outros carotenoides como principais, Azevedo-Meleiro e Rodriguez-Amaya (2004) mostraram que os principais carotenoides do pequi são violaxantina, luteína e zeaxantina, com pequenas quantidades de  $\beta$ -criptoxantina,  $\beta$ -caroteno e neoxantina. Ramos et al. (2001) encontraram maiores teores de anteraxantina, zeaxantina, criptoxantina, seguidos de  $\beta$ -caroteno. Godoy (1993) determinou a zeaxantina como o carotenoide predominante, seguido de  $\beta$ -criptoxantina e  $\beta$ -caroteno.

Oliveira et al. (2006), relatou que os teores dos pigmentos analisados (carotenoides totais,  $\beta$ -caroteno e licopeno) apresentaram aumentos significativos ( $p < 0,05$ ) com o avanço no estágio de maturação dos frutos. Lima et al. (2008) encontraram elevadas quantidades de carotenoides totais ( $7,25 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) na polpa de frutos de pequi predentes do estado do Piauí.

A polpa do pequi possui carotenoides pro-vitamínicos A, sendo este valor quase vinte vezes superior ao da cenoura e pupunha, e duas vezes superior ao do dendê, apresentando alegações de propriedades funcionais tal

como a prevenção de doenças (OLIVEIRA e SCARIOT, 2010). O óleo de pequi é utilizado na medicina popular para tratar problemas oftalmológicos relacionados à deficiência de vitamina A, por este apresentar considerável teor de carotenoides (SANTOS et al., 2005). Independente de sua atividade pró-vitamínica A, os carotenoides têm sido relacionado com outros efeitos benéficos à saúde humana. Destaca-se sua atividade antioxidante, que é o mecanismo mais sugerido para a prevenção ou minimização dos males decorrentes de doenças degenerativas como vários tipos de câncer (SILVA e SÁ, 2012; CHANG et al., 2005; CHEN et al., 2001; COLLINS, 2001; GIOVANNUCCI, 2002) e doenças cardiovasculares (KALIORA e DEDOUSSIS, 2006; PELISSARI et al., 2008).

Na medicina popular o pequi também é utilizado para tratar vários tipos de aflições lesões gástricas e inflamatórias, Quirino et al. (2009) observou que ao oferecer doses de óleo de pequi a camundongos, houve redução dos danos gástricos induzidos pelo etanol, justificando o seu uso tradicional para cicatrização e tratamento de feridas e úlceras gástricas .

Esses compostos demonstram que esse alimento consumido de forma moderada poderá trazer amplos benefícios para a saúde humana. Por ser um fruto rico em vitaminas e óleos essenciais, atuam em vários sistemas corporais, desde o sistema ósseo, muscular, endócrino até no sistema imunológico (DONADIO, 2000). As fibras atuam no sistema digestivo facilitando a absorção e excreção de nutrientes (ROESLER et al., 2008).

Além disso, devido a elevada concentração de carotenoides na polpa de pequi, apresenta-se como fonte potencial para a elaboração de corantes naturais alimentícios. Deve-se ressaltar que a concentração de carotenoides na polpa de pequi varia qualitativa e quantitativamente por diversos fatores que incluem desde o grau de maturação, clima, tipo de solo, condições de cultivo e área geográfica de produção, até condições de colheita, pressamento e armazenamento (AMAYA-FARFAN, 1999, RODRIGUEZ-AMAYA, 2000).

### 3.1.2.1 Desafios para obtenção de extratos carotenogênicos de fontes naturais

Como consequência da crescente preocupação mundial com a qualidade e segurança alimentar e a pressão do mercado provada por mudanças na legislação e preferências dos consumidores por alimentos formulados com ingredientes mais naturais (SHAHID et al., 2013), tem havido nos últimos anos muito interesse no desenvolvimento de novos corantes naturais para uso na indústria de alimentos na reposição contínua de corantes alimentares sintéticos (DAWSON, 2008; DOWNHAM e COLLINS, 2000).

As pesquisas para viabilizar o uso de corantes naturais vêm se intensificando, principalmente com substâncias que (VOLP; RENHE; STRINGHETA, 2009) desempenhem funções biológicas e fisiológicas protetoras à saúde humana (MENDES, 2012).

Os corantes naturais podem ser derivados de quase todas as plantas, minerais, e até mesmo alguns insetos. A maioria das cores naturais é encontrada nas raízes, cascas, folhas, flores, peles, e cascas de plantas (SIVAKUMAR et al., 2011). Os carotenoides, em particular, são pigmentos lipossolúveis que abrangem as cores do amarelo ao vermelho, os quais são geralmente sintetizados em plantas superiores, algas e bactérias. Estes pigmentos são um grupo de compostos valiosos para as indústrias farmacêuticas, químicas e de alimentos, não só porque eles são precursores de vitamina A, mas também por causa de sua coloração e potencial capacidade antioxidante, o que lhes permite interagir com membranas biológicas (SANT'ANNA et al., 2013).

Um problema encontrado na obtenção de extratos carotenogênicos de fontes naturais, tal como o pequi, é que os carotenoides são compostos extremamente susceptíveis às reações oxidativas, pois o sistema de duplas ligações conjugadas que é responsável pelo poder corante dos carotenoides, também é a causa de sua instabilidade, devido ao alto grau de insaturação das ligações que sujeita a molécula à diversas reações de degradação (MATIOLI e AMAYA, 2003).

Os carotenoides presentes na polpa de pequi *in natura* encontram-se naturalmente protegidos pela complexa estrutura do tecido vegetal. Entretanto,

o rompimento da estrutura celular, inevitável para realização de diversas operações como descascamento, corte e/ou desintegração que antecedem o processamento e a extração deste corante, aumentam a área superficial e, por conseguinte, à exposição dos carotenoides ao oxigênio, bem como os colocam em contato com enzimas oxidativas e à luz, dando início a uma série de reações de degradação (isomerização, oxidação e epoxidação). (DAMODARAN; PARKIN e FENNEMA, 2010).

Métodos padronizados de coleta, extração, purificação, estabilização e padronização para uma variedade de pigmentos naturais visando a obtenção de corantes estão disponíveis (AZEVEDO - MELEIRO e RODRIGUEZ-AMAYA, 2004; LIMA et al, 2007; SHAHID et al., 2013). A técnica mais comumente aplicada para extração destes compostos é a extração sólido-líquido (SPIGNO e DE FAVERI, 2007), que é um processo simples e de baixo custo. Entre os vários fatores que contribuem para a eficiência do processo de extração com solvente, tipo de solvente, tempo e temperatura muitas vezes são investigadas (QU et al , 2010; . SPIGNO e DE FAVERI , 2007) . A temperatura pode reduzir o tempo do processo. No entanto, os carotenoides são sensíveis à temperatura e, quando processados acima de 40 °C, podem degradar.

Existe uma necessidade de novas técnicas para melhorar o mecanismo principal de extração de corantes naturais, tais como a ruptura da parede celular, a liberação de corante natural e melhora do transporte de corante para o meio externo. Há também uma necessidade de maximizar a eficiência de extração corante natural e a sua aplicação, a fim de conservar os recursos naturais disponíveis (SIVAKUMAR et al., 2011). Dentre as novas técnicas, grande destaque tem sido dado ao uso do ultra-som. O efeito mecânico de ultra-sons proporciona uma maior penetração do solvente no interior das células ocasionando a ruptura das paredes das células facilitando a liberação do conteúdo celular. Essa técnica apresenta como vantagem o aumento no rendimento da extração e redução do tempo de extração (LEE-SIE, TEOH, 2012; SHIRSATH, SONAWANE, GONATE, 2012).

Além de uma eficiente extração dos compostos de interesse, na tentativa de evitar a oxidação e manter a sua estabilidade, surgem a cada dia novas tecnologias. Entre as em ascensão destaca-se a de microencapsulação, a qual pode prevenir ou diminuir a oxidação dos carotenoides presentes nos

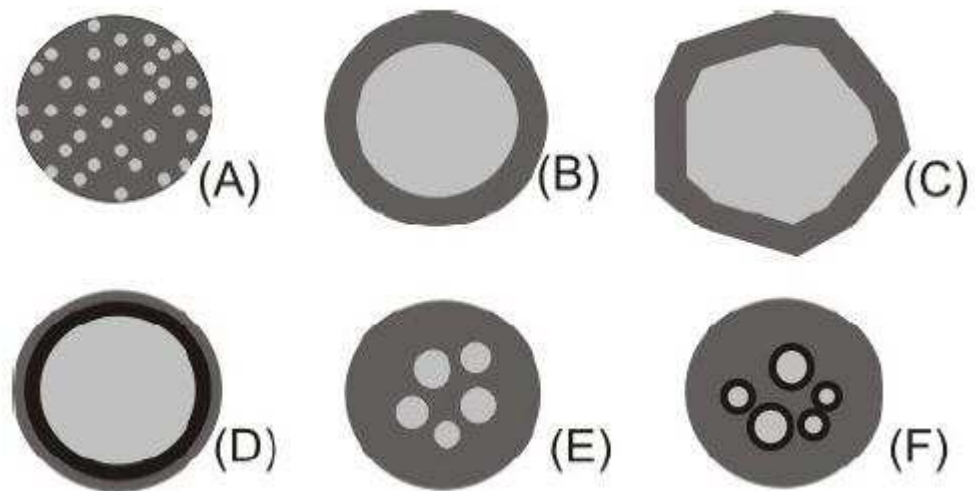
extratos, além de possibilitar a dispersão dos pós em água. Muitos estudos têm sido propostos na literatura (CONSTANT, 1999; SANTOS et al., 2005; WANG et al. 2012; TANG e CHEN, 2000; NUNES e MERCADANTE, 2007; GUO et al., 2012, PINTO, 2012) e ao avaliar a aplicabilidade desta técnica no extrato de pequi é possível vislumbrar a produção de um novo ingrediente na indústria alimentar potencialmente útil como corante natural, bem como para uso na substituição de antioxidantes sintéticos, ou no enriquecimento de alimentos. Além de, proporcionar o aumento da exploração econômica dos frutos e agregar valor a um produto brasileiro (MACHADO et al., 2013).

Machado et al. (2013), determinaram a temperatura e tempo para o processo de extração por solvente (utilizando água e etanol como solvente), a fim de obter o extrato pequi com maior recuperação de polifenóis e carotenoides. Os dados obtidos no referido trabalho demonstraram que o extrato de pequi contém uma grande quantidade de compostos fenólicos, carotenoides e vitamina C, com uma boa capacidade antioxidante. Tipo de solvente, temperatura e tempo afetaram os polifenóis e carotenoides durante a extração do pequi.

### **3.2 Encapsulamento**

Todd (1970) definiu microencapsulação como a tecnologia de empacotamento com finas coberturas poliméricas aplicáveis em sólidos, gotículas de líquidos ou material gasoso, formando pequenas partículas denominadas microcápsulas, que podem liberar seu conteúdo sob velocidade e condições específicas.

Alguns autores classificam as cápsulas em dois grupos: o grupo que caracteriza as verdadeiras microcápsulas, onde o núcleo é nitidamente concentrado na região central, circundado por um filme definido e contínuo do material de parede, e o grupo no qual o núcleo é uniformemente disperso em uma matriz, classificado como sistema matricial (microesferas). Na Figura 2 estão apresentados alguns modelos de microcápsulas e a matriz (microesfera) (AZEREDO, 2005). DEPYPERE (2003) defende a ideia de que, na verdadeira encapsulação, não ocorre à exposição superficial do material de recheio.



**Figura 2** - Alguns modelos de microcápsulas. (A): matriz (microesfera), que é o tipo produzido pela microencapsulação por atomização; (B): microcápsula simples; (C): simples, irregular; (D): duas paredes; (E): vários núcleos; (F): agrupamento de microcápsulas (ARSHADY, 1993; GIBBS, 1999).

Diferentemente do que ocorre nas microesferas, sendo esta a principal diferença entre microcápsulas e microesferas, as microcápsulas podem ter ainda mais de um núcleo, ou várias paredes para um mesmo núcleo (CONSTANT & STRINGHETA, 2002). Além disso, podem ser classificadas por tamanho em 3 categorias: macro- ( $>5000 \mu\text{m}$ ), micro- ( $0,2-5000 \mu\text{m}$ ) e nanocápsulas ( $<0,2 \mu\text{m}$ ) (BAKER, 1986).

Definições mais recentes descrevem microencapsulação como um processo que permite que compostos sensíveis, na forma líquida, sólida ou gasosa, possam ser fisicamente retidos numa matriz homogênea ou heterogênea conferindo-lhes proteção (BEIRÃO-DA-COSTA et al., 2012) frente a agentes externos (temperatura, teor de água, oxigênio, radiação ultravioleta); para reduzir a evaporação ou redução da taxa de liberação da cápsula para o ambiente; mascarar determinadas propriedades da substância encapsulada (cheiro, sabor); bem como proteger o ambiente da ação descontrolada da substância ativa (como por exemplo, pesticidas tóxicos) (ADAMIEC; MARCINIAK, 2004).

Os primeiros registros de tentativas de utilização de técnicas de encapsulamento datam dos anos 1930, mas os primeiros produtos com

material encapsulado só surgiram na década de 1950. Barrett K. Green, do National Cash Register Corporation (NCR), EUA, desenvolveu o processo de coacervação, que foi primariamente aplicado no desenvolvimento de cápsulas contendo um corante, que foram impregnadas em papel para a substituição do papel carbono, revolucionando a indústria de formulários. Esse papel recebia uma fina camada de microcápsulas contendo um corante incolor, recoberta por outra camada contendo um reagente também incolor. A pressão da ponta do lápis na superfície do papel rompia as microcápsulas, liberando o corante incolor que, em contato com o reagente, adquiria cor, produzindo em outra folha uma cópia idêntica ao que estava sendo escrito no primeiro papel (RÉ, 2000; CLARK, 2002).

Na área de alimentos, os estudos foram iniciados em 1960 pelo Instituto de Pesquisas Southwest, nos Estados Unidos, com microencapsulação de óleos essenciais para prevenir a oxidação e perda de substâncias voláteis e controlar a liberação do aroma. Além dos aromas, a aplicação dessa tecnologia estendeu-se à incorporação de aditivos naturais e ingredientes (corantes, temperos, acidulantes, vitaminas e minerais) que alteram a textura, melhoram a qualidade nutricional, aumentam a vida de prateleira ou controlam as propriedades dos alimentos processados (RÉ, 2000), bem como a microencapsulação de enzimas, micro-organismos probióticos e agentes antifúngicos (SANTOS et al., 2000; CORRÊA, 2008).

Em muitos trabalhos com carotenoides a técnica de microencapsulação é aplicada com o objetivo de proteção, por exemplo, proteger materiais higroscópicos da umidade e mantém a estabilidade de ingredientes que são voláteis ou sensíveis ao calor, luz ou oxidação (BARBOSA et al., 2005; JAFARI et al., 2008; CHOUDHARI et al., 2012; PINTO, 2012; ROCHA et al., 2012; WANG et al., 2012; ASTUDILLO, 2013; SHEN et al., 2014).

Há relatos que a biodisponibilidade do produto encapsulado pode ser aumentada, ter sua hidrofobicidade reduzida, sua propriedade antioxidante protegida, estabilidade melhorada diante de condições ambientais diversas e taxa de liberação controlada modificada de acordo com o pH (AUGUSTIN et al., 2011; JUN-XIA et al., 2011; ZHENG, 2011). Além de permitir a liberação controlada dos ingredientes e, assim, assegurar a dosagem adequada e

melhorar a eficácia de aditivos nos alimentos, ampliando a escala de aplicação (LEIMANN, 2008).

O desenvolvimento de estratégias que possam otimizar a estabilidade e melhorar a solubilidade dos extratos carotenogênicos é extremamente essencial para sua aplicação como corante natural em alimentos (BRITTON,1995; POLYAKOV e LESHINA, 2006), como é o caso do processo de microencapsulamento.

Diversas técnicas estão disponíveis e a escolha do método mais adequado depende do tipo do material ativo, da aplicação e do mecanismo de liberação desejado para a sua ação. A diferença básica entre os métodos existentes está no tipo de envolvimento ou aprisionamento do material ativo pelo agente encapsulante, visto que a combinação entre o material e o agente ativo pode ser de natureza física, química ou físico-química (SUAVE et al., 2006). Várias técnicas e agentes encapsulantes estão sendo sugeridos (RÉ, 2006). Na Tabela 2, estão apresentados alguns trabalhos de microencapsulamento de carotenoides com os métodos e os agentes encapsulantes utilizados.

**Tabela 2** - Material encapsulado, agentes encapsulantes e métodos utilizados em alguns trabalhos sobre microencapsulamento

Material encapsulado	Agente encapsulante	Métodos	Referências
<b>Capsantina</b>	Capsul®	Atomização	Astudillo , 2013
<b>Bixina</b>	Goma arábica, maltodextrina, sucrose, tween 80	Atomização	Barbosa et al., 2005
<b>Bixina</b>	Goma do cajueiro e Goma arábica	Atomização e Liofilização	Mendes, 2012
<b>Carotenoides (<math>\beta</math>-caroteno)</b>	Goma arábica e maltodextrina	Atomização	Guadarrama-Lezama et al., 2012
<b>Astaxantina</b>	Quitosana		Higuera-Ciapara et al., 2003
<b>Bixina</b>	Maltodextrina, goma arábica e $\beta$ -ciclodextrina	Atomização	Constant, 1999

---

**Continuação da Tabela 2**

---

<b>Cataxantina</b>	Polissacarídeos solúveis da soja, goma acácia, maltodextrina	Atomização	Hojjati et al., 2012
<b>Bixina</b>	polymer poly-e-caprolactone, sorbitan monostearate (Span 60)	Técnica de deposição interfacial de polímeros pré-formados	Lobato et al., 2013
<b>Licopeno</b>	Goma arábica e maltodextrina	Liofilização e atomização	Matioli e Rodrugues-Amaya, 2002
<b>Carotenoides</b>	Maltodextrina e emustab	Secagem em camada de espuma	Pinto, 2012
<b>Licopeno</b>	Ciclodextrina	Atomização	Matioli e Rodrugues-Amaya, 2003
<b><math>\beta</math>-caroteno</b>	Prolipossomas	Lipossomas com atomização	Moraes et al., 2013
<b>Licopeno</b>	Goma arábica, sacarose e $\alpha$ -ciclodextrina	Atomização ou inclusão molecular com liofilização	Nunes e Mercadante, 2007
<b>Carotenoides (Rubixina, licopeno, <math>\beta</math>-caroteno)</b>	Gelatina, lecitina, sucrose	Atomização	Robert et al., 2003
<b>Licopeno</b>	Capsul	Atomização	Rocha et al., 2012
<b>Licopeno</b>	Gelatina – pectina	Coacervação	Silva et al., 2012
<b><math>\beta</math>-caroteno</b>	Amido de pinhão, gelatina	Liofilização	Spada et al., 2012
<b>Carotenoides</b>	Sucrose, gelatina	Liofilização	Tang e Chen, 2000
<b>Astaxantina</b>	hidroxipropil- $\beta$ - ciclodextrina	Liofilização	Yuan et al, 2012
<b>Óleo resina de páprica</b>	Goma arábica e proteína Isolada de soja	Atomizaao	Rascon et al., 2011
<b>Astaxantina</b>	Proteína do leite	Atomizaao	Shen et al., 2014
<b>Luteina</b>	Gelatina	Atomizaao	Wang et al., 2012

---

### 3.2.2 Agentes encapsulantes

Um dos principais fatores que influenciam a estabilidade de compostos encapsulados é a natureza do material encapsulante (ROSENBERG et. al., 1990) que, de maneira geral, deve ser insolúvel e não reativo com o núcleo (JACKSON e LEE, 1991).

Os principais requisitos de uma boa matriz encapsulante são: fácil manipulação durante o processo; baixa higroscopicidade, para facilitar a manipulação e evitar aglomeração; baixa viscosidade a altas concentrações de sólidos; habilidade para dispersar ou emulsificar e estabilizar o material do núcleo; não reatividade com o núcleo; boas propriedades de formação de filme; liberação completa do solvente ou outros materiais utilizados durante o processo de encapsulação; máxima proteção ao núcleo contra condições adversas, como luz, pH e oxigênio; solubilidade em solventes comumente utilizados; fácil reconstituição; ausência de sabor ou odor desagradável e finalmente, baixo custo (MOREIRA, 2007). O material encapsulante também deve ser resistente o suficiente para manter suas funções de proteção e liberação de substâncias, sem que haja degradação da micropartícula no veículo em que se encontra, permanecendo viável até sua aplicação (CABRAL, 2004)

Alguns aspectos básicos, entretanto, devem ser considerados no desenvolvimento de sistemas microencapsulados, tais como a natureza e a estabilidade do material a ser encapsulado; as características do polímero encapsulante; o processo de microencapsulação; e as características do produto a ser obtido (OLIVEIRA, 2006). Ressalta-se que, em função de um único agente encapsulante não possuir todas as propriedades do material de parede ideal, pesquisas recentes têm focado em misturas de carboidratos, gomas e proteínas (GHARSALLAOUI et al., 2007). Na Tabela 3 estão apresentados alguns agentes encapsulantes.

**Tabela 3** - Agentes encapsulantes.

<b>Categoria</b>	<b>Materiais encapsulantes</b>
Gomas	Goma-arábica, ágar, carragena, alginato de sódio
Carboidratos	Amido, maltodextrina, açúcar, amido modificado, ciclodextrina, xarope de milho
Celulose	Carboximetil celulose, etil celulose, metil celulose, acetilcelulose, nitrocelulose
Lipídeos	Cera, parafina, triestearina, ácido esteárico, óleos, gorduras monoglicéridos, diglicéridos e óleos hidrogenados.
Proteínas	Glúten, caseína, gelatina, albumina, hemoglobina, peptídeos.
Polissacarídeo	Quitosana

Fonte: Constant (1999)

Dentre os agentes encapsulantes citados pode-se destacar para aplicação em carotenoides a goma arábica, devido sua solubilidade, baixa viscosidade, boas propriedades emulsificantes, sabor suave e alta estabilidade oxidativa conferida ao núcleo (KENYON, 1995; THEVENET, 1995). As maltodextrinas (produtos de amido hidrolisado) são também matrizes comumente usadas como agentes para a microencapsulação na indústria de alimentos. Tanto componentes hidrofílicos como hidrofóbicos podem ser microencapsulados com maltodextrinas (KILMARTIN et al., 2004; ELNAGGAR et al., 2010).

As maltodextrinas (MD) são derivados solúveis de amido modificado produzidos por hidrólise parcial do amido com ácido ou enzimas, são utilizados isoladamente ou em combinação com outros materiais em alimentos e processamento de fármacos de extratos de plantas, aditivos aromáticos, carotenóides e vitaminas (SANSONE, 2011).

Maltodextrinas têm funções relacionadas ao volume e propriedades de formação de filme, redução da permeabilidade ao oxigênio da matriz da parede. No entanto, a sua baixa temperatura de transição vítrea, a formação de cristais sob o aumento da temperatura (BAE e LEE, 2008; DRUSCH et al., 2006) pode induzir a ruptura da integridade estrutural da matriz, e produzir aglomeração ou formação de aglomerados de micropartículas de pó. Como

resultado, a liberação de ativos encapsulados e processo de degradação/oxidação pode ocorrer durante o período de armazenamento (SANSONE, 2011).

As maltodextrinas são utilizados isoladamente ou em combinação com outros materiais em alimentos e processamento de fármacos de extratos de plantas, aditivos aromáticos, carotenóides e vitaminas (SANSONE, 2011) e parecem aumentar a estabilidade de ingredientes de alimentos encapsulados (KHA et al, 2010). Tanto componentes hidrofílicos como hidrofóbicos podem ser microencapsulados com maltodextrinas (KILMARTIN et al., 2004; ELNAGGAR et al., 2010).

Maltodextrinas têm funções também relacionadas ao volume e propriedades de formação de filme e redução da permeabilidade ao oxigênio da matriz da parede. No entanto, devido a sua baixa temperatura de transição vítrea, a formação de cristais sob o aumento da temperatura (BAE e LEE, 2008; DRUSCH et al., 2006) pode induzir a ruptura da integridade estrutural da matriz, e produzir aglomeração ou formação de aglomerados de micropartículas de pó. Como resultado, a liberação de ativos encapsulados e processo de degradação/oxidação pode ocorrer durante o período de armazenamento (SANSONE, 2011).

A eficácia de maltodextrinas de baixa dextrose equivalente (DE) como carreadores de secagem é devido à propriedade encapsulante e à baixa difusividade de umidade (ADHIKARI et al., 2004). TONON et al. (2008), estudando a influência das condições de processo nas propriedades físico-químicas do açaí em pó obtido por atomização, registraram menores valores para a higroscopicidade do pó com o aumento na concentração de maltodextrina, confirmando sua eficiência como agente carreador. Dessa forma, a utilização de agentes carreadores pode promover um melhor manuseio do produto obtido, conferindo uma maior proteção contra a adsorção de umidade do ambiente, tornando-o menos higroscópico (BARBOSA, 2010).

Com as maltodextrinas é possível obter uma boa retenção e estabilidade oxidativa dos óleos, eles têm baixa capacidade de emulsificação (GHARSALLAOUI et al., 2007), para o que geralmente são misturados com proteínas e gomas (ASTUDILLO, 2013).

A goma arábica, em particular, é um hidrocolóide complexo que apresenta-se como um excelente encapsulante devido às suas propriedades de emulsificação. Tem sido relatado que as frações de proteínas e lipídios que são parte da estrutura molecular de goma arábica fornecem propriedades emulsificante, formação de película, baixa viscosidade e alta solubilidade em água (YADAV et al., 2007). É preferido porque produz uma emulsão estável de óleo sobre uma vasta gama de pH e isso forma uma película visível na interface óleo. A goma arábica é inodoro, incolor, insípido, e não afeta o odor, cor e sabor do sistema ao qual é adicionada (KANDANSAMY e SOMASUNDARAM, 2012; FRASCARELI et al., 2012; MURUGESAN E ORSAT, 2012). KRISHNAN et al. (2005) utilizaram a goma arábica e amido modificado para o encapsulamento de agentes aromatizantes de alimentos e encontraram que a goma arábica é um material de parede melhor para o encapsulamento da oleoresina que o amido modificado.

### 3.2.3 Métodos de encapsulamento

Vários métodos são empregados para encapsular, entre os quais se destacam os citados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Métodos utilizados no encapsulamento

<b>Classificação dos Métodos</b>	<b>Métodos de encapsulação</b>
<b>Métodos Físicos</b>	Secagem por atomização "Spray chilling" Leito fluidizado Extrusão Centrifugação com múltiplos orifícios Co-cristalização Liofilização
<b>Métodos Químicos</b>	Polimerização interfacial Inclusão molecular Polimerização in situ
<b>Métodos Físico-Químicos</b>	Coacervação simples ou complexa Separação por fase orgânica Envolvimento lipossômico Lipoesferas Evaporação por solventes

Fonte: RÉ (1998), CARDOSO (2000) e ALVIM (2005).

O método ideal de microencapsulação deve ser simples, reprodutível, rápido, fácil de transpor à escala industrial e pouco dependente das características de solubilidade da substância ativa a encapsular e do polímero a ser utilizado (SILVA et al., 2003). Entre as técnicas disponíveis de microencapsulação, a mais utilizada é a de secagem por atomização (*spray drying*) (NUNES e MERCADANTE, 2007), sendo muito utilizada pela indústria alimentícia por ser econômica, flexível, por oferecer a possibilidade de variação do encapsulante, contínua, adaptável a qualquer tipo de secagem e por produzir partículas de boa qualidade (DEL-VALLE, 2004; GOUIN, 2004, DESAI e PARK, 2005; MADENE et al., 2006). Sua eficácia está baseada no princípio do aumento de área de contato entre o material a ser seco e o ar de secagem (ROSA et al., 2010).

### **3.3 Secagem por Atomização**

Por definição, a secagem por atomização é um processo de transformação de soluções ou suspensões em partículas secas, com características específicas dadas pela formulação, a partir da secagem em ar quente (CERCHIARA et al., 2005; RÉ, 2006). É geralmente utilizada na indústria de alimentos para garantir uma estabilidade microbiológica dos produtos, evitar o risco de degradação química e / ou biológica, reduzir os custos de armazenamento e transporte e, finalmente, obter um produto com propriedades específicas, como a solubilidade instantânea (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Dada sua versatilidade e o pequeno tempo de residência dos produtos na câmara de secagem, tornou-se o principal equipamento para a secagem de materiais que apresentam sensibilidade ao calor, como alimentos e materiais de origem biológica, tal como extratos e produtos oriundos de plantas, corantes, micro-organismos, produtos com leveduras, enzimas e proteínas (ROSA et al., 2010).

A atomização pode ser usada para encapsulação quando o composto ativo é envolvido por uma matriz protetora, normalmente um polímero ou

material fundido. O primeiro passo do processo é selecionar o agente encapsulante adequado, que deve apresentar propriedades emulsificantes, ser capaz de formar filmes, ter baixa viscosidade, altos níveis de sólidos, exibir baixa higroscopicidade e ser de baixo custo (CONSTANT, 1999). O processo pode ser descrito como: bombeamento da solução, emulsão ou da suspensão até o atomizador (etapa I) onde as partículas são aspergidas pelo atomizador até a câmara de secagem, no qual entra em contato com um ar de secagem criando uma névoa (etapa II). Nesta etapa ocorre a evaporação do solvente transformando a solução em partículas sólidas e são recolhidas em um separador que as mantém em movimento de cíclicos, como um ciclone, separando-as do ar da exaustão (LINS, 2010).

As características finais de um produto em pó obtido em um processo de secagem por atomização dependem de algumas variáveis de processo, tais como as características do líquido atomizado (teor de sólidos, tamanho das partículas, viscosidade), tipo e mecanismo de funcionamento do equipamento e as características do ar de secagem (TONON et al. 2009).

As principais variáveis que afetam as características dos produtos obtidos em atomizador segundo Tonon (2009) são:

- Propriedades do líquido atomizado (concentração, temperatura, vazão mássica, propriedades físico-químicas);
- Tipo e mecanismo de funcionamento do atomizador;
- Ar de secagem (velocidade, temperatura de entrada e de saída, pressão).

As características das partículas obtidas por esta técnica podem ser alteradas por modificações nos parâmetros da etapa de desidratação. Para fazer uso das vantagens, existem diversos aspectos que devem ser considerados. Dentre eles estão a avaliação da formulação e dos parâmetros da atomização, o tipo específico de partícula a ser produzida e as propriedades do material utilizado (WENDEL e CELIK, 1998).

Ao utilizar atomização se encontram resultados variáveis de eficiência de encapsulamento de pigmentos carotenoides dependendo do agente encapsulante usado. Foram encontrados valores de eficiência de encapsulamento de 90% para licopeno com goma arábica e sacarose (LARROZA e MERCANDANTE, 2007), entretanto, valores inferiores aos

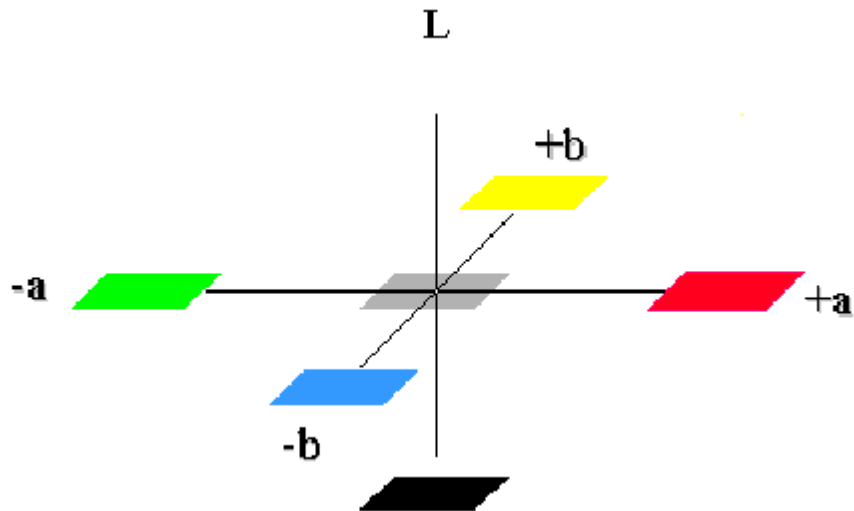
obtidos neste estudo foram reportados para licopeno encapsulado com gelatina e sacarose (SHU et al., 2006).

### 3.4 Cor

A cor é um atributo importante na comercialização de um alimento, pois a aparência é o primeiro parâmetro decisivo na escolha e aceitação do produto a ser julgado no alimento pelo consumidor (AHMED et al., 2002). Nas frutas e nos vegetais a cor é atribuída principalmente aos pigmentos de clorofilas, carotenoides e antocianinas (ARTÉS et al., 2002).

Existem diversos métodos para análise de cor em alimentos, porém os mais utilizados em laboratórios e indústrias são a colorimetria e a espectrofotometria. A colorimetria é a ciência da medida de cores que estuda e quantifica como o sistema visual humano percebe a cor, na tentativa de especificá-la numericamente visto que estímulos diferentes são percebidos de formas semelhantes. Os colorímetros usam sensores que simulam o modo como o olho humano vê a cor e quantificam diferenças de cor entre um padrão e uma amostra. Utilizam para isso sempre a mesma fonte de luz e método de iluminação, para que as condições de medida não mudem (CARRILHA e GUINÉ, 2010).

As escalas de cor mais utilizadas na indústria de alimentos são a escala Hunter e o sistema CIE. Em 1976, com a intenção de estabelecer um padrão, a CIE recomendou a utilização da escala de cor CIELAB, que é um sistema de cor uniforme, que distâncias iguais entre dois pontos no gráfico correspondem a diferenças igualmente percebidas pelo olho humano. A escala CIELAB é organizada em coordenadas retangulares cartesianas (Figura 3). O eixo  $L^*$  vai de 0 (zero) a 100, sendo que 100 representa o branco e o zero que representa o preto. Os eixos  $a^*$  e  $b^*$  não tem limites numéricos específicos, de forma que o vermelho é representado por  $+a$  e o verde por  $-a$ ; o amarelo como  $+b$  e o azul  $-b$  (Hunterlab, 1996).



**Figura 3-** Sistema de cores CIELAB. Fonte: Cie Publication, 1986.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos nos Laboratórios do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Viçosa, Minas Gerais.

### 4.1 Obtenção da matéria-prima

A polpa de pequi foi fornecida pela Cooperativa de Produtores Rurais e Catadores de Pequi de Japonvar – Cooperjap, localizada na cidade de Japonvar-MG, situada a 15° 99' 50" de latitude Sul, 44° 27' 23" de longitude Oeste e altitude de 847 metros (INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS, 2012).

### 4.2 Emulsificante

O emulsificante goma arábica, fornecido pela empresa Synth, foi utilizado para o processo de secagem por atomização.

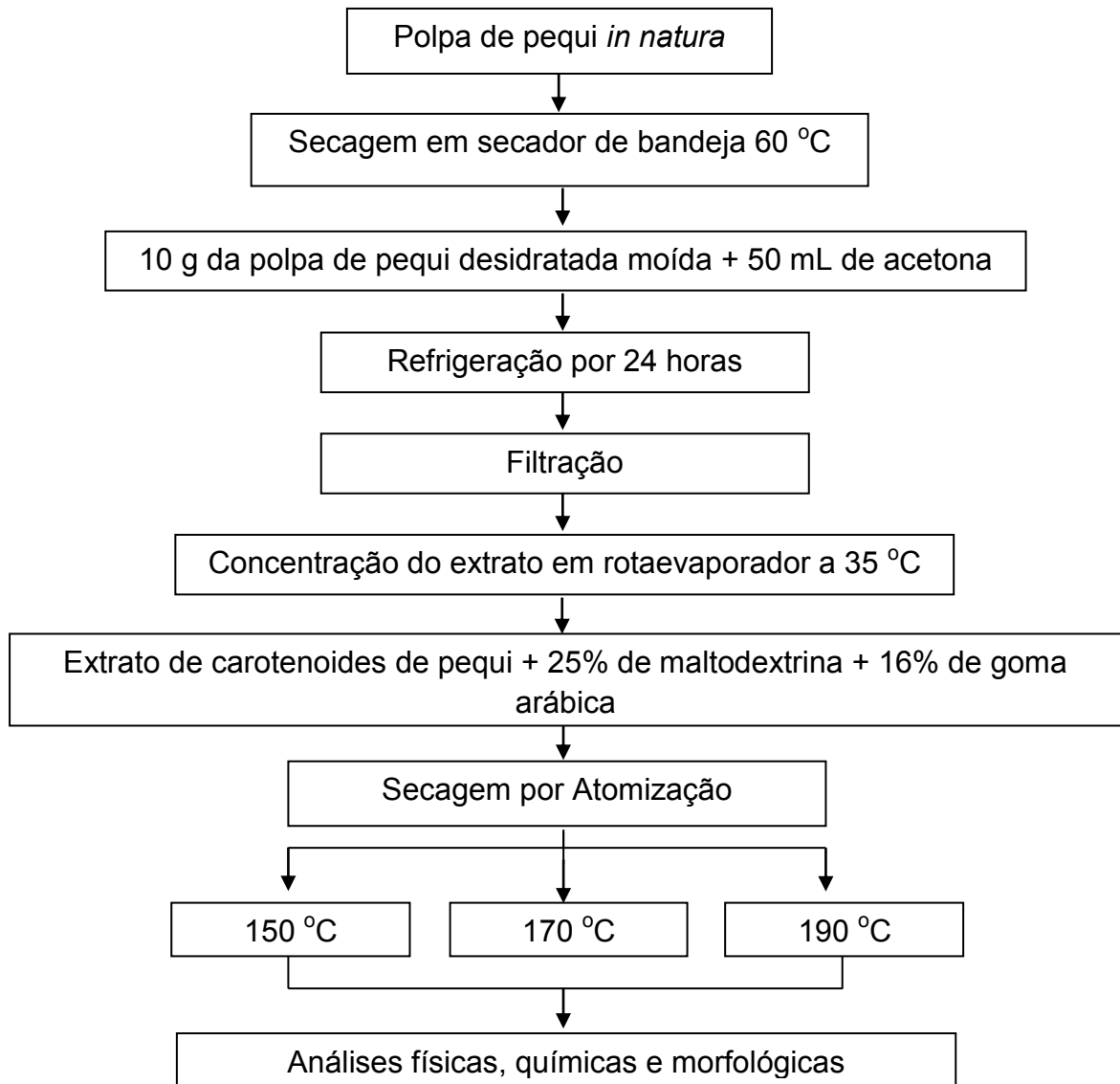
### **4.3 Encapsulante**

A maltodextrina DE 10, fornecida pela empresa GEMACOM TECH Indústria e Comércio Ltda, foi utilizada como agente encapsulante.

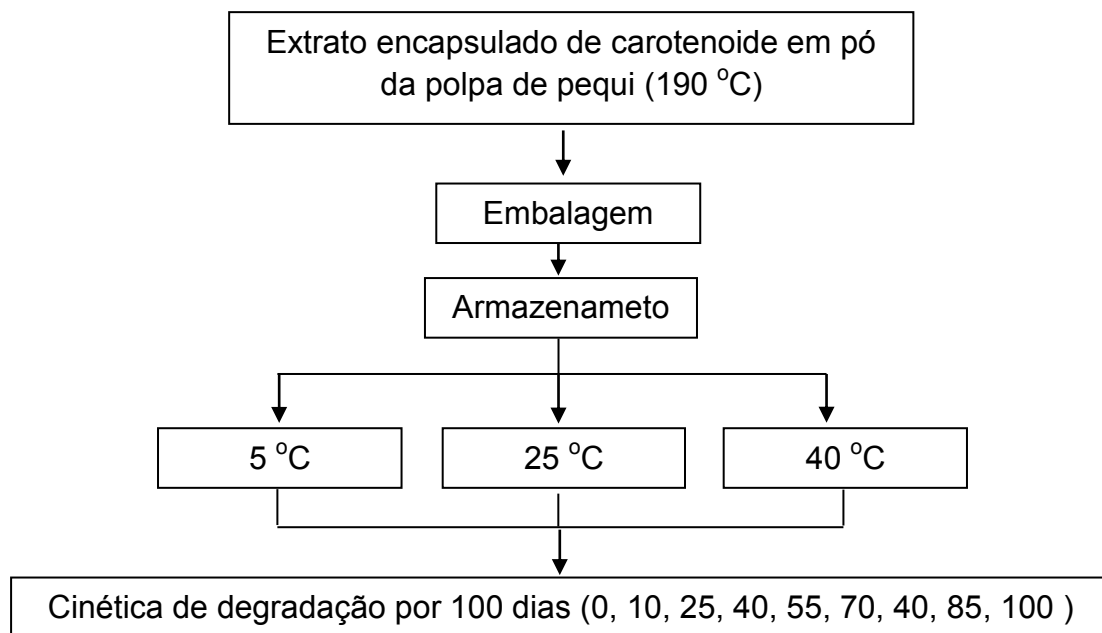
### **4.4 Delineamento experimental**

O estudo foi constituído de dois experimentos. No primeiro experimento, o extrato de carotenoides obtido da polpa de pequi foi encapsulado, com o objetivo de definir a temperatura de secagem (150 °C, 170 °C e 190 °C) que proporcionou as melhores características quanto às propriedades físicas (cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ,  $C^*$  e  $H^*$ ), solubilidade, químicas (teor de água, Aa, pH, ATT, e carotenoides totais) e morfológicas. O experimento foi disposto no delineamento inteiramente casualizado (DIC).

No segundo experimento, o extrato de carotenoides encapsulado obtido na temperatura definida no primeiro experimento, foi acondicionado em frascos de polipropileno e armazenado em diferentes temperaturas (5 °C, 25 °C e 40 °C). Um estudo de cinética de degradação foi realizado para carotenoides totais e de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C^*$  nas amostras encapsuladas. O delineamento do experimento foi procedido no DIC em esquema de parcela subdividida, sendo na parcela temperatura de estocagem (5 °C, 25 °C e 40 °C) e na subparcela o tempo de estocagem (0, 10, 25, 40, 55, 70, 85, 100 dias após a secagem). Todos os experimentos foram realizados em três repetições. Nas Figura 3 e 4 estão representados os esquemas do experimento.



**Figura 4** - Esquema do primeiro experimento.



**Figura 5** - Esquema do segundo experimento.

#### 4.5 Caracterização da matéria prima

As análises físico-químicas teor de água, atividade de água (Aa), potencial hidrogeniônico (pH), teor de sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT), vitamina C, carotenoides totais, compostos fenólicos totais, medidas das coordenadas de cor e atividade antioxidante foram realizadas, em triplicata, para a caracterização da polpa de pequi.

##### 4.5.1 Teor de água

O teor de água foi determinado empregando o método gravimétrico utilizando as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008). Para essa análise, 5 g da amostra homogeneizada foram secas ( $70 \pm 2$ ) °C sob pressão reduzida,  $\leq 100$  mm Hg (13,3 kPa), até massa constante.

#### **4.5.2 Atividade de água (Aa)**

A determinação da atividade de água foi realizada utilizando um termohigrômetro (Aqualab, Decagon. Modelo 3TE, Pullman, Washington, EUA) a 25°C.

#### **4.5.3 Potencial hidrogeniônico (pH)**

Para a determinação do pH das amostras, pesou-se 10 g de amostra e diluiu-se em 100 mL de água destilada. Em seguida, foi agitada e analisada utilizando um potenciômetro (Tecnopon), conforme a AOAC (2000).

#### **4.5.4 Teor de sólidos solúveis totais (SST)**

A determinação do teor de sólidos solúveis totais foi realizada diretamente em refratômetro de bancada modelo ABBÉ, em temperatura de 25 °C, sendo os resultados expressos em °Brix, de acordo com a AOAC (2000). O refratômetro foi previamente calibrado com água destilada.

#### **4.5.5 Acidez total titulável (ATT)**

A acidez total titulável foi determinada por meio da maceração de 10 g de polpa de pequi diluídas em 100 mL de água destilada e adicionadas de 3-4 gotas de indicador fenolftaleína. A solução foi titulada com uma solução padronizada de 0,1 mol·L<sup>-1</sup> de NaOH (AOAC, 2000) até pH 8,2, que foi monitorado com o auxílio de um pHmetro. Os resultados da ATT foram expressos em g de ácido cítrico/ 100 g de polpa de pequi.

#### **4.5.6 Determinação de vitamina C**

A análise de vitamina C foi realizada de acordo com o descrito por Campos (2006) pelo método de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), utilizando cromatógrafo (Shimadzu) injetor automático ("loop" de 500µL), coluna RP-18 com um tamanho de 250mm de comprimento e 4,6 mm de largura e um

poro de 5µm, detector UV-Visível com arranjo de diodos e software Class VP 6.14 SP2 para controle do sistema. Os resultados foram expressos em mg/100 g de polpa. Porções da amostra (5g) foram adicionadas de 15 mL de solução extratora composta por ácido metafosfórico 3 % (m/v), ácido acético 8% (m/v), ácido sulfúrico 0,3 mol·L<sup>-1</sup> e EDTA 1 mmol·L<sup>-1</sup>. Em seguida, a amostra foi triturada em micro triturador por 5 minutos e filtrada a vácuo, em papel de filtro. O filtrado foi diluído com água até volume de 25 mL e centrifugado por 15 minutos a 0,402 x g. O sobrenadante foi armazenado a 5 °C até a análise cromatográfica, que foi realizada sempre no mesmo dia. Antes da injeção, o extrato foi filtrado em unidades filtrantes HV Millex, em polietileno, 0,45 µm de porosidade. As amostras foram mantidas sob proteção da luz solar e artificial durante toda a análise, pela utilização de vidrarias âmbar e papel alumínio.

#### 4.5.7 Teor de Carotenoides

O teor de carotenoides foi determinado por análise espectrofotométrica, conforme metodologia descrita por Rodriguez-Amaya (2001). As amostras de pequi foram trituradas e cada 5 g pesadas para realização da análise. Em cada amostra foram adicionadas 50 mL de acetona refrigerada. Em seguida, as amostras foram filtradas e transferidas para um funil de separação onde adicionou-se 40 mL de éter de petróleo. Os pigmentos foram então transferidos para o funil de separação, descartando-se a fase inferior. O resíduo foi lavado por mais quatro vezes ou até que a acetona fosse totalmente removida. O extrato em éter de petróleo foi transferido para um balão volumétrico completando-se o volume para 100 mL com éter de petróleo. A leitura foi realizada em espectrofotômetro digital (modelo SP-200, BIOSPECTRO) no comprimento de onda de 450 nm. Para o cálculo do teor de carotenoides totais foi utilizada a fórmula abaixo:

$$CT \left( \frac{\mu g}{g} \right) = \frac{A \cdot V \cdot 10^4}{A_{1cm}^{1\%} \cdot P} \quad (4.1)$$

Em que,

A = absorvância da solução no comprimento de onda de 450 nm;

V = volume final da solução (mL);

CT = carotenoides totais;

P = peso da amostra (g);

$A_{1cm}^{1\%}$  = coeficiente de extinção ou coeficiente de absorvidade molar do  $\beta$ -caroteno em éter de petróleo, coeficiente de absorvidade molar de 2500 (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

#### 4.5.8 Compostos fenólicos totais

O teor de fenólicos totais foi estimado utilizando-se o reagente de Folin-Ciocalteu por método colorimétrico (SWAIN e HILLS, 1959). A leitura da absorbância da solução final (após estabilização da reação) foi realizada a 725 nm em espectrofotômetro (UV-1601 PC, Shimadzu). A quantidade de polifenóis totais foi calculada com base na curva padrão de ácido gálico P.A. variando entre 0 e 200 mg·L<sup>-1</sup>. O conteúdo fenólico total foi obtido por regressão linear dos padrões de ácido gálico, e o valor final expresso em mg AGE (ácido gálico equivalente) por 100 g de inflorescência (peso úmido).

Para se processar a reação, em tubos de ensaios foram adicionados: 1,0 mL da amostra (devidamente diluída, para cair na faixa da curva padrão), 7,5 mL de água destilada e 0,5 mL do reativo de Folin Ciocalteu, sendo o tubo agitado vigorosamente. Os tubos foram deixados em repouso por 3 minutos, quando foram adicionados 1,0 mL de solução de bicarbonato de sódio saturada (catalizador da reação). Os tubos permaneceram em repouso por mais uma hora (1 h) ao abrigo da luz, à temperatura ambiente (25 ± 1 °C). A solução “branco” foi preparada nas mesmas condições que a amostra, sendo o volume da amostra substituído por 1,0 mL do solvente de extração. A curva padrão também seguiu o mesmo procedimento, sendo o volume da amostra substituído por 1,0 mL de cada concentração de ácido gálico (previamente preparada em água destilada).

#### 4.5.9 Análise objetiva da cor

A avaliação da cor foi determinada por colorimetria, utilizando-se o equipamento Color Reader CR-10 (Minolta). A determinação de cor foi realizada pela leitura direta de reflectância das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  empregando a escala CIELAB  $L^*$ , por ser adotada como padrão pela Comissão Internacional de Iluminação. Esse é um sistema de coordenadas retangulares que define a cor em termos de  $L^*$ , que numa escala de 0 a 100 representa a luminosidade, variando desde o preto (0) ao branco (100);  $a^*$ , que representa a variação entre o verde (valores negativos) e o vermelho (valores positivos); e por fim, o eixo  $b^*$ , que representa a variação de azul (valores negativos) ao amarelo (valores positivos). Para medir a cor, um conteúdo padronizado de amostra (g) foi colocado em uma cubeta de vidro de borossilicato de cerca de 3,0 mm de espessura. Os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram fornecidos a partir da leitura direta em cubeta contendo o produto, sendo determinados 5 vezes para melhor confiabilidade dos resultados. Além das coordenadas base, foram medidas as seguintes coordenadas:

- Hue ( $^{\circ}h$ ), que corresponde à tonalidade:

$$^{\circ}h = \arctg (b^*/ a^*), \text{ onde } a^*>0 ; b^*>0 \quad (4.2)$$

- Índice Chroma ( $C^*$ ), que expressa a saturação ou intensidade da cor:

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (4.3)$$

#### 4.5.10 Avaliação da atividade Ensaio em sistema $\beta$ -caroteno/ácido linoleico

A avaliação da atividade antioxidante foi determinada pelo método de ensaio em sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico. Para as análises foi utilizado o método de extração sequencial (TORRES et al., 2002). As extrações foram realizadas na proporção de 1:20 (amostra:solvente ) e os solventes utilizados foram o éter etílico, o álcool etílico e a água destilada, seguindo-se esta ordem de polaridade para a extração. As amostras foram homogeneizadas durante

uma hora, sendo, em seguida, filtradas em funil de Büchner com auxílio de uma bomba de vácuo. O resíduo proveniente da filtração foi seco, pesado e submetido à extração com solvente subsequente. Os extratos obtidos foram coletados em frasco de vidro âmbar e estocados em congelador.

A avaliação da atividade antioxidante foi realizada segundo o método espectrofotométrico (470 nm) originalmente descrito por Marco (1968) e modificado por Miller (1971). Foi preparada uma emulsão, com 20 µL de solução de β-caroteno a 20%, 40 µL de ácido linoléico, 200 mg de Tween 40® e 120 mL de água destilada mantida sob atmosfera de oxigênio (30 minutos) e a absorbância inicial foi ajustada entre 0,6 e 0,7. Em tubos de ensaio, foram adicionados 5 mL da emulsão preparada e o antioxidante padrão trolox e os extratos nos volumes de 50, 100 e 200 µL. O sinergismo entre as amostras e o trolox também foi avaliado. Os tubos foram mantidos em banho a 50 °C, realizando-se leituras a cada 15 minutos em um total de duas horas. Os resultados foram expressos em % de inibição da oxidação (%I), que foi calculado em relação à queda da absorvância das amostras (Am), correlacionadas a queda da absorvância do controle (branco) (Ac), por meio da equação abaixo:

$$Ac = Abs_{inicial} - Abs_{final} \quad (4.4)$$

$$Am = Abs_{inicial} - Abs_{final} \quad (4.5)$$

$$\%I = \frac{Am - Ac}{Ac} \times 100 \quad (4.6)$$

#### 4.6 Preparo do extrato de carotenoides

A polpa de pequi desidratada em secador de bandejas com ar aquecido a 60 °C, até atingir massa constante (teor de água próxima de 5 %), foi utilizada para obtenção do extrato carotenogênico. Para tanto, 10 g da polpa desidratada foram hidratada em 50 mL de acetona, deixando-se posteriormente em repouso sobre refrigeração por 24 horas. Em seguida, a mistura foi filtrada e o resíduo foi lavado novamente com acetona, até se obter um resíduo

desprovido de pigmentação. O extrato de carotenoides foi filtrado e concentrado ao máximo em rotaevaporador, em temperatura não superior a 40°C e, posteriormente, redissolvidos em álcool etílico e novamente concentrados em rotaevaporador.

#### **4.7 Obtenção do extrato de carotenoides em pó encapsulados**

O extrato de carotenoides em pó encapsulados foi obtido com auxílio de um spray dryer segundo fluxograma apresentado na Figura 5. A emulsão foi formulada com base nos experimentos desenvolvidos por Constant (1999), a saber, matriz encapsulante composta de maltodextrina (DE 10) e goma arábica (função encapsulante e emulsificante) na concentração de 20 % e 10 %, respectivamente. A hidratação dos agentes encapsulantes ocorreu à temperatura ambiente por 24 horas. Em seguida, foi adicionado na matriz o extrato contendo carotenoides na proporção 1:3. A homogeneização foi realizada com o auxílio de desruptor de células ultra-sônico (maraca Unique, Brasil).

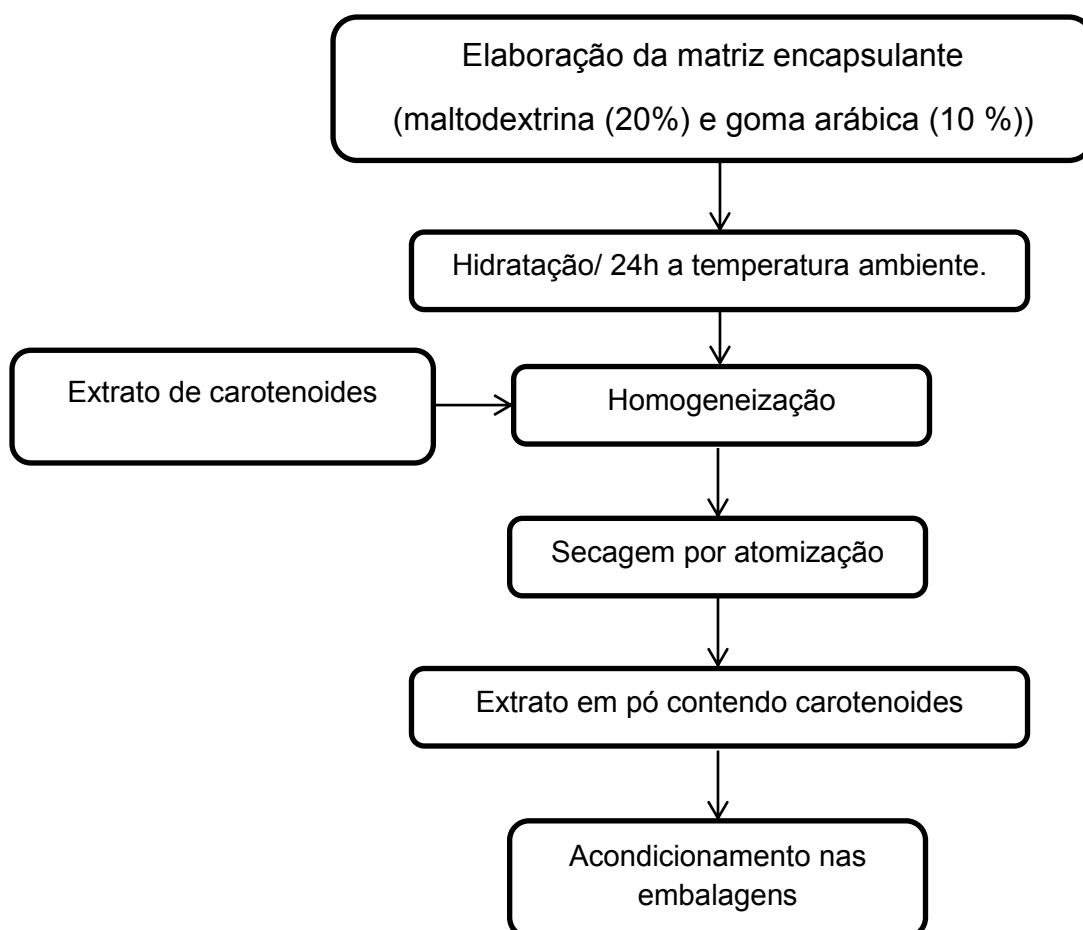
A operação de secagem ocorreu em spray dryer piloto de único estágio modelo MSD 1.0, com atomizador de bico de pressão (Labmaq, Brasil), utilizando uma vazão de 35 litros de ar de atomização por hora, 1,10 litros de produto por hora e 3,10 m<sup>3</sup> de ar por minuto no sistema de aquecimento, usando as temperaturas de entrada de 150 °C, 170 °C e 190 °C.

##### **4.7.1 Viscosidade da emulsão**

A análise de viscosidade foi determinada em viscosímetro capilar de Canon-Fenske. As soluções (10 mL) foram mantidas no capilar acoplado ao banho por 10 minutos antes das leituras, que foram realizadas por cronômetro. Foi utilizado capilar de 23 µm de diâmetro.

#### 4.7.2 Acondicionamento padrão para caracterização inicial do extrato em pó

Os carotenoides encapsulados de cada repetição de tratamento foram homogeneizados, armazenados em frascos de polipropileno com capacidade para 20 gramas devidamente identificados e acondicionados a -4 °C sob congelamento até as análises da caracterização do produto.



**Figura 6** - Etapas para obtenção do extrato de carotenoides em pó oriundo de polpa de pequi.

#### 4.7.3 Características físicas, químicas e morfológicas dos extratos de carotenoides encapsulados em pó

Para a caracterização dos produtos de cada tratamento, imediatamente após o processo de atomização, foram realizadas as análises físico-químicas (teor de água, atividade de água, pH, sólidos solúveis totais, acidez titulável,

carotenoides totais e cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ,  $C^*$  e  $H^*$ ), conforme descrito no subitem 4.2.

#### 4.7.4 Morfologia das partículas

O estudo da morfologia das partículas foi realizado através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), de acordo com os procedimentos descritos por Silveira (1989). As amostras secas foram fixadas com fita dupla face no suporte de porta amostra do microscópio, conhecido como *stub* e, em seguida, levadas ao Metalizador Balzers Union FDU 010, onde foram submetidas ao processo de metalização com uma fina camada de ouro de 15 nm a 20 nm. Este procedimento tem por finalidade tornar as amostras boas condutoras elétricas. Posteriormente, os extratos encapsulados em pó foram observados no Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 1430 VP, com aumentos entre 500 x a 2.000 x.

#### 4.7.5 Solubilidade

A solubilidade foi determinada de acordo com o método de Eastman e Moore (1984) com modificações. Em 100 mL de água destilada foi adicionado 1 g, do extrato encapsulado, o qual foi dissolvido e homogeneizado mediante um agitador mecânico (AGI 103, Nova Ética) na velocidade de 1550 x *g* por 5 minutos. A solução foi acondicionada em tubos e centrifugada por 15 minutos a 30.000x*g*. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi colocada em placas de Petri previamente pesadas e submetidas a secagem ( $70 \pm 2$  °C) sob pressão reduzida,  $\leq 100$  mm Hg (13,3 kPa) por 5 horas ou até massa constante. A solubilidade foi expressa pela equação 4.7.

$$S (\%) = \frac{P_f}{P_a} \times 400 \quad (4.7)$$

Em que: S = solubilidade;  $P_f$  = massa do resíduo da evaporação (g);  $P_a$  = massa da amostra (g).

#### 4.7.6 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas modificações. Cerca de 1 g de cada amostra foi colocado em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (teor de água relativa de 75,29 %) a 25 °C e, após uma semana, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade foi expressa como g de teor de água adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g/100g).

#### 4.8 Cinética de degradação dos carotenoides totais e da cor do extrato em pó

A cinética de degradação dos carotenoides foi realizada para o extrato obtido na temperatura de secagem que melhor conservou o conteúdo total de carotenoides. Para tanto, um novo extrato de carotenoides foi microencapsulado, sendo o processo realizado na temperatura definida. O extrato em pó foi embalado em frascos de polipropileno em quantidade o suficiente para as análises cinética de degradação, e armazenadas em incubadoras B.O.D (411/D, Nova Ética ) à 5 °C, 25 °C e 40 °C.

Para avaliar a cinética de degradação, as análises de carotenoides totais e cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C^*$ ) nas amostras armazenadas nas estufas, foram determinadas nos tempos 0, 10, 25, 40, 55, 70, 85 e 100 dias após a secagem, conforme procedimento descrito nos subitens 4.5.7 e 4.5.9.

Para a cinética de degradação a análise de cor foi realizada diretamente sobre as amostras em pó.

A constante de velocidade de reação ( $k$ ) e meia-vida ( $t_{1/2}$ ) foram determinados conforme o modelo da cinética adequado para cada análise estudada. Para calcular a constante de velocidade de reação utilizou-se a equação 4.8 e o meia-vida equação 4.9.

$$C = C_0 \exp^{kt} \quad (4.8)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 0,5}{-k} \quad (4.9)$$

#### **4.9 Análise estatística**

Para análise e interpretação dos dados foi feita análise de variância (ANOVA) e de regressão. Havendo diferença significativa, as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade, enquanto os modelos foram escolhidos com base no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes de regressão, utilizando o teste “t” e adotando-se o nível de 5 % de probabilidade.

Para isso foi utilizado o programa Statistical Analysis Systems (SAS), versão 9.2, licenciado pela Universidade Federal de Viçosa.

### **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **5.1. Caracterização da matéria prima**

Os valores das propriedades físicas e químicas da polpa do pequi in natura e da polpa desidratada estão apresentados na Tabela 5. Sendo que o objetivo destes resultados não é comparar a polpa in natura com a desidratada e sim caracterizar as duas formas.

Os resultados de teor de água encontrados neste trabalho corroboram com os relatados na literatura para o pequi. PINTO (2012) trabalhando com pequi encontrou valores semelhantes aos deste trabalho para teor de água e atividade de água da polpa desidratada. Avaliando amostras de pequi de várias regiões diferentes, Geocze (2011) encontrou uma média de 53,24% de umidade, sendo que para o município de Japonvar, mesmo local dos pequis utilizados neste trabalho o valor médio de 42,25% foi muito próximo ao encontrado nesta pesquisa. Resultados semelhantes também foram apresentados por Lima et al. (2007). Já Oliveira et al. (2010) e Gonçalves et al. (2010) encontraram valores ligeiramente superiores de teor de água, a saber, 55,5 % e 55,51 %, respectivamente.

**Tabela 5** - Caracterização da polpa in natura de pequi e da polpa desidratada a 60 °C

<b>Características</b>	<b>Polpa in natura</b>	<b>Polpa desidratada</b>
<b>Teor de água (%)</b>	45,63 ± 5,96	2,15 ± 0,09
<b>Atividade de água</b>	0,99 ± 0,01	0,52 ± 0,03
<b>pH</b>	5,34 ± 0,14	5,47 ± 0,29
<b>Acidez total titulável (% de ácido cítrico)</b>	2,82 ± 0,38	5,76 ± 0,24
<b>Sólidos solúveis totais (°Brix)</b>	23,40 ± 0,65	-----
<b>Teor de carotenoides (mg·100g<sup>-1</sup>)</b>	10,93 ± 11,96	15,15 ± 10,60
<b>Vitamina C (mg·100g<sup>-1</sup>)</b>	3,99 ± 0,10	12,76 ± 2,24
<b>Compostos fenólicos (mg·100g<sup>-1</sup>)</b>	66,97 ± 2,28	129,33 ± 11,27
<b>L*</b>	53,9556 ± 3,94	42,5111 ± 1,60
<b>a*</b>	22,5000 ± 3,54	20,2556 ± 2,31
<b>b*</b>	66,6000 ± 5,63	55,7667 ± 6,78
<b>h°</b>	71,3278 ± 2,40	69,9878 ± 0,94
<b>C*</b>	70,3522 ± 6,04	59,3556 ± 7,10

Os resultados estão expressos como média ± desvio padrão.

Neste trabalho foi encontrada atividade de água de 0,99 para a polpa de pequi in natura. O pequi in natura apresenta uma elevada atividade de água, o que contribui para a sua alta perecibilidade. Com a desidratação, a atividade de água atingiu valor inferior à 0,6, proporcionando estabilidade microbiológica uma menor velocidade de oxidação (PINTO, 2012).

Ribeiro (2011) constatou diferenças nos teores de água de pequis coletados em diferentes regiões, observando maiores teores médios provenientes de Goiás (74,40 %) seguidos dos pequis de Minas Gerais (68,67 %) e de Tocantins (70,20 %). Em termos absolutos esse autor relata que os menores valores de umidade são observados para os Estados de Mato Grosso e também Minas Gerais, com 53,20 % e 52,37 %, respectivamente. Os

resultados encontrados neste trabalho juntamente aos observados na literatura indicam grande variação dos valores de teor de água, bem como de outras características físicas e químicas dos frutos de pequi, em função de diversos fatores como: diferenças climáticas, índices pluviométricos anuais, fertilidade e pH do solo e o estágio de maturação em que os frutos são colhidos (RIBEIRO, 2011).

O pequi difere da maioria das frutas tropicais, por apresentar um pH, que o classifica como um alimento de baixa acidez ( $\text{pH} > 4,5$ ) (OLIVEIRA et al., 2010). Neste trabalho foi encontrado valor de pH similar ao apresentado por SOUSA et al. (2012) ( $\text{pH} 5,21$ ) e diferentes dos encontrados por PINTO (2012) ( $7,24$ ) e PAZ et al. (2013) ( $6,96$ ). Não houve alteração relevante do pH da polpa de pequi após o processo de secagem.

De acordo com Vilas Boas (2004), o teor de acidez titulável varia de 0,9 a 2,0 % na polpa de pequi. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o pH tende a aumentar com a diminuição da acidez somente se a concentração de ácidos estiver numa faixa entre 0,5 % e 2,5 %, valores esses abaixo do encontrado (2,82 %). A elevada acidez encontrada nas polpas de pequi in natura e desidratada pode ter ocorrido devido, a liberação de ácidos graxos promovida pela estocagem antes da análise e pela temperatura de secagem, como verificado por Aquino et al. (2009) em óleos extraídos de pequi desidratados a 60 °C.

Para a variável sólidos solúveis totais observou-se um valor equivalente a 23,40 °Brix ( $\pm 0,65$ ) o que está dentro dos limites de 10,50 a 33,83 °Brix apresentados por SILVA (2011).

No caso dos valores de Vitamina C, os resultados encontrados neste trabalho estão abaixo dos encontrados por outros autores na literatura (ARÉVALO-PINEDO et al., 2010; VILAS BOAS et al., 2012; PAZ et al., 2013), os quais encontram 78,1; 66,09 e 44,60  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ , respectivamente para polpa de pequi *in natura*, sendo valores discrepantes em relação ao relatado na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos -TACO (2011) para polpa de pequi (8,3  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ), valor próximo encontrado neste trabalho. Lorenzi et al.(2006) apresentou um valor de 9  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$  de vitamina C em pequi. O valor determinado neste trabalho pode estar relacionado as perdas decorrentes ao processamento e ao armazenamento. Pode ser observado nos resultados que

há um aumento no conteúdo de vitamina C na polpa desidratada, como foi observado por Elias et al. (2008) e Brandão et al. (2003) em caqui desidratado e manga desidratada, esses autores afirmam que um dos efeitos que contribuem com esse aumento é a redução do teor de água.

Neste trabalho, foi observado para o pequi in natura um teor de carotenoides totais de  $10,93 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  polpa, valor este superior ao encontrado por Lima et al. (2007) ( $7,25 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ). Oliveira et al. (2010), por outro lado, encontrou valores de carotenoides variando de 6,75 a  $11,34 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  de polpa de acordo com os estádios de maturação, sendo que a concentração de carotenoides tende a aumentar com o avanço no estágio de maturação dos frutos. Na polpa desidratada observa-se um aumento no teor de carotenoides devido a redução do teor de água e concentração desse composto.

Em relação aos compostos fenólicos totais, neste trabalho foi encontrado para a polpa de pequi in natura  $66,97 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ , valor que está dentro da faixa relatada por Oliveira (2010) entre 23,04 a  $76,23 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ . Lima et al. (2007), por sua vez, encontrou valores muito superiores, atingindo  $209,0 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  de compostos fenólicos totais. Como já era esperado, a polpa de pequi desidratada apresentou um teor de fenólicos totais ( $129,33 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) maior que o encontrado para a polpa in natura, devido a concentração dos componentes presentes na polpa durante o processo de secagem, que é confirmado pelo trabalho de Costa et al. (2012) em que a farinha de pequi seca a  $60^\circ\text{C}$  apresentou um teor de  $188,32 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ .

Essa variabilidade nos resultados em relação às características avaliadas pode estar diretamente relacionada à influência da variação dos solventes utilizados na extração e fatores pertinentes às plantas, ao tipo e local de cultivo e o tempo e/ou condições de armazenamento. Rufino et al. (2009) comentam que a diversidade existente nos diversos locais de produção de frutas no país interfere significativamente na composição dos frutos. Segundo esses autores, essa diversidade é mais expressiva em frutas tropicais não tradicionais. Esse fato pode estar relacionado aos menores estudos para padronização genética de tais espécies, diferente do observado para aquelas mais tradicionais.

Foi observada redução de L\*, a\*, b\*, C\* e °h quando comparou-se a polpa in natura com a desidratada. Segundo Pinto (2012), embora a desidratação permita maior aproximação dos pigmentos, a reflectância também é alterada pelo teor de água. A maior redução de valores de C\* confirma uma redução da intensidade da cor.

Por ser um alimento que contém compostos fenólicos e carotenoides considera-se que o pequi possui compostos que protegem a fração lipídica da oxidação, além do fato de ser nativo de regiões de alta incidência de radiação solar, que também promove a formação de radicais livres (LIMA, 2008). A atividade antioxidante das amostras mensuradas em sistema modelo  $\beta$ -caroteno/ácido linoléico está representada na Tabela 6.

**Tabela 6** - Atividade antioxidante da polpa de pequi in natura e desidratada

<b>Proteção da oxidação em modelo sistema <math>\beta</math>-caroteno (%)</b>			
<b>Polpa de pequi</b>	<b>1 mg</b>	<b>2 mg</b>	<b>5 mg</b>
<b>in natura</b>	51,48 $\pm$ 1,58	56,25 $\pm$ 0,57	86,54 $\pm$ 1,21
<b>Desidratada</b>	54,92 $\pm$ 0,62	80,82 $\pm$ 0,93	92,03 $\pm$ 0,67

Os resultados estão expressos como média  $\pm$  desvio padrão.

As amostras de polpa de pequi *in natura* e desidratada inibiram a oxidação do  $\beta$ -caroteno na ordem de 51,48 e 54,92 %, respectivamente, na menor concentração (1 mg) e, 86,54 % e 92,03 % na maior concentração (5 mg). Sendo assim, a polpa de pequi além de possuir elevado conteúdo de compostos fenólicos totais e de carotenoides, ainda demonstra capacidade antioxidante em sistema de co-oxidação  $\beta$ -caroteno/ácido linoléico. Monteiro (2013), em um extrato aquoso de casca de pequi apresentou elevada capacidade antioxidante (20 ppm = 77,70 %, 200 ppm = 84,77 % e 2000 ppm = 97,13 %). Oliveira (2009), a partir de extratos (metanol/água/acetona) demonstrou que a oxidação do  $\beta$ -caroteno foi inibida pelos extratos das polpas de pequi, em valores que variaram de 55 a 85 %, 70 a 90 % e 80 a 93 %, em função da concentração do extrato (4, 8 e 16 mg da polpa seca, respectivamente).

## 5.2. Viscosidade da emulsão

A viscosidade de uma suspensão afeta todas as fases do processo de obtenção de um material microencapsulado, tais como mistura, bombeamento, secagem e são ferramentas valiosas no controle de qualidade. Neste trabalho para a formulação escolhida encontrou-se uma viscosidade de 160,87 mPa.s. valor dentro do limite ao relatado por Reneccius (1989) o valor limite de viscosidade para proceder a atomização de uma solução é de 500,00 mPa.s.

Constant (1999) em seu estudo de microencapsulamento de bixina utilizando goma arábica e maltodextrina, para formulações com o teor de sólidos de 30%, o valor máximo de viscosidade observado foi 170,63 mPa.s. Lobato et al. (2013), que estudou o comportamento da suspensão de nanocápsulas de bixina que foi típico para um fluido newtoniano, uma vez que o aumento da tensão de cisalhamento foi proporcional ao aumento da taxa de deformação. A formulação ideal de nanocápsulas de bixina ( $16,92 \pm 0,16 \mu\text{g/mL}$ ) apresentou uma viscosidade de  $11,4 \pm 0,24 \text{ mPa.s.}$

## 5.3. Caracterização do produto encapsulado

O extrato de carotenoides de pequi encapsulado em pó foi seco a 150, 170 e 190 °C e no pó obtido foram realizadas análises para caracterizá-lo.

Na Tabela 7 encontram-se as médias e os testes de separação para os valores de  $L^*$  e demais características cromáticas ( $a^*$ ,  $b^*$ ,  $^{\circ}h$  e  $C^*$ ). Não houve diferença significativa para nenhuma característica de cor entre todos os tratamentos ( $p > 0,05$ ). Assim pode-se afirmar que as temperaturas avaliadas não afeta a cor do pó encapsulado. PINTO (2012), ao realizar secagem de extrato de pequi encapsulado em diferentes temperaturas, observou variação apenas para o parâmetro  $L^*$ . De acordo com os resultados obtidos, verificam-se valores positivos para  $a^*$  e  $b^*$ , significando que o pó obtido apresenta tonalidades tendendo para o vermelho e amarelo, respectivamente. O valor de  $b^*$  positivo apresentado deve-se principalmente à presença de carotenoides com tonalidade amarela, tal como o violaxantina, uma vez que são os principais pigmentos do extrato de pequi encapsulado. Já a tonalidade vermelha pode ser

proveniente da presença de outros carotenoides presente nesse mesmo extrato como licopeno.

Na Tabela 8 estão apresentadas as médias das variáveis teor de carotenoides, teor de água, atividade de água (Aa), pH, acidez total titulável (ATT), solubilidade e higroscopicidade dos extratos de carotenoides encapsulados em pó por secagem em camada de espuma nas temperaturas de 150 °C, 170 °C e 190 °C.

**Tabela 7-** Resultado das coordenadas de cor (L\*, a\*, b\*, °h, C\*) dos extratos de carotenoides encapsulados em pó em diferentes temperaturas de secagem

	Tratamentos					
	150 °C	DP	170 °C	DP	190 °C	DP
<b>L</b>	68,49a	1,27	68,83a	0,67	67,51a	0,72
<b>a*</b>	16,91a	2,04	19,53a	1,22	17,65 a	0,80
<b>b*</b>	42,11a	1,44	42,84a	1,18	44,22a	4,20
<b>°h</b>	68,15a	2,40	65,47a	1,90	68,18a	1,00
<b>C</b>	45,42a	1,63	47,10a	0,64	47,78a	4,00

Média e desvio padrão (DP). Significância ( $p < 0,05$ ): médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Os valores de atividade de água dos pós apresentaram diferença significativa, sendo estatisticamente semelhantes os tratamentos das temperaturas de 150 e 170 °C com valores de 0,13 e 0,12 respectivamente, diferindo do tratamento a 190 °C com 0,2. Santana (2013) encontrou valores semelhantes de atividade de água para polpa de pequi encapsulada, com valores variando de 0,06 a 0,3. Os valores encontrados neste trabalho estão dentro do limite de 0,30, que segundo Fennema (1996) é muito positivo para a estabilidade de pós. Porém, a velocidade de oxidação aumenta para valores inferiores e superiores a faixa de 0,20-0,30 de Aw (SILVA et al., 1999). Como a polpa de pequi apresentava cerca de 30 % de lipídeos, esta faixa de atividade de água pode afetar a estabilidade oxidativa dos lipídeos presentes nos produtos.

**Tabela 8** - Resultado de teor carotenoides, água, atividade de água (Aa), pH, acidez total titulável (acidez), teor de água, solubilidade (Sol) e higroscopicidade (Hig) dos extratos de carotenoides encapsulados em pó em diferentes temperaturas de secagem

	Tratamentos					
	150 °C	DP	170 °C	DP	190 °C	DP
<b>Carotenoides (<math>\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}</math>)</b>	23,41ab	2,37	20,61 b	2,37	25,59a	0,66
<b>Aa</b>	0,13b	0,01	0,12b	0,01	0,20a	0,03
<b>Teor de água (%)</b>	4,63a	0,17	3,78a	0,36	3,48a	1,01
<b>pH</b>	4,78a	0,01	4,82a	0,05	4,79a	0,01
<b>Acidez (<math>\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}</math>)</b>	2,76a	0,20	2,61a	0,09	2,81a	0,01
<b>Sol (%)</b>	93,14b	0,88	95,63a	0,63	96,52a	0,88
<b>Hig (<math>\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}</math>)</b>	10,43b	1,63	11,19a	0,64	10,43b	4,00

Média e desvio padrão (DP). Significância ( $p < 0,05$ ): médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Quanto ao teor de água pode-se observar que não houve diferença ( $p < 0,05$ ) para todos os extratos de carotenoides encapsulado em pó nas diferentes temperaturas. Como foi observado por Pinto (2012), houve uma maior atividade de água no extrato de carotenoides encapsulado em pó obtido por secagem na maior temperatura, em que obteve menor teor de água. Uma maior temperatura de secagem pode contribuir para uma maior aproximação das moléculas de maltodextrina e outros constituintes, favorecendo interações fortes com redução de sítios disponíveis para ligação com a água, acarretando em maior atividade de água mesmo com menor teor de água.

Neste trabalho, os valores de solubilidade variaram de 93,14 a 96,52 %. Os tratamentos a 170 e 190 °C não diferiram estatisticamente entre si, mas a 150 °C houve diferença. A maior solubilidade foi observada a 190 °C (96,52%). A melhora da solubilidade também ocorre devido a solubilidade dos agentes encapsulantes. Cano-Chauca et al. (2005), em seu trabalho sobre secagem por atomização de suco de manga, também observaram valores de solubilidade

em torno de 95% para os pós produzidos com maltodextrina e goma arábica. O pó constituído de microcápsulas de óleo de pequi obteve uma solubilidade igual a 79,35% (RODRIGUES et al., 2011). Segundo Rosa et al.(2010), a solubilidade dos produtos atomizados depende, entre outros fatores, da temperatura do ar de secagem, sendo quanto maior a temperatura, maior o tamanho das partículas, o que promove uma maior solubilidade do pó.

Pode-se observar também na Tabela 8 que não houve diferença significativa para acidez e estes se apresentam semelhantes aos obtidos para a polpa in natura. Como este resultado é obtido do extrato/maltodextrina/goma arábica essa acidez observada se deve aos componentes como ácidos graxos do extrato de carotenoides e dos materiais de parede utilizados. Em relação ao pH, não se observa diferença significativa entre os valores encontrados, esses valores podem ter ocorrido devido aos componentes citados.

Os valores de higroscopicidade dos pós obtidos oscilaram entre 10,43 a 11,19 g água adsorvida/100g sólidos, apresentando diferença significativa entre os tratamentos, sendo os tratamentos de 150 e 190 °C estatisticamente iguais e diferentes do tratamento de 170 °C. Santana (2013) encontrou valores semelhantes aos deste trabalho enquanto os relatados por Ruiz-Cabrera et al. (2009) em suco de maracujá em pó, produzido por spray dryer utilizando maltodextrina e lactose como carreadores, foram inferiores aos obtidos. Segundo Tonon et al. (2008), os valores de higroscopicidade apresentados pelos produtos elaborados por Ruiz-Cabrera et al. (2009) podem ser atribuídos à maior concentração de maltodextrina utilizada (10 % a 30 %), visto que a maltodextrina é um material que apresenta baixa higroscopicidade. Foi observado por Barbosa (2010) que os pós obtidos com maltodextrina 10 DE apresentaram menor ganho de água independente da temperatura utilizada, o que está relacionado com o número de ramificações com grupos hidrofílicos.

O teor de carotenoides foi maior no pó obtido na temperatura de 190 °C, em relação aos pós obtidos nas temperaturas de 150 °C e 170 °C, os quais não diferiram entre si.

O mesmo efeito foi observado por Wang et al. (2012), que testaram várias temperaturas no microencapsulamento de luteína e concluíram que a temperatura ótima para o processo foi a de 190 °C. Segundo os autores, com o aumento de temperatura, os materiais sobre a superfície do encapsulado (tais

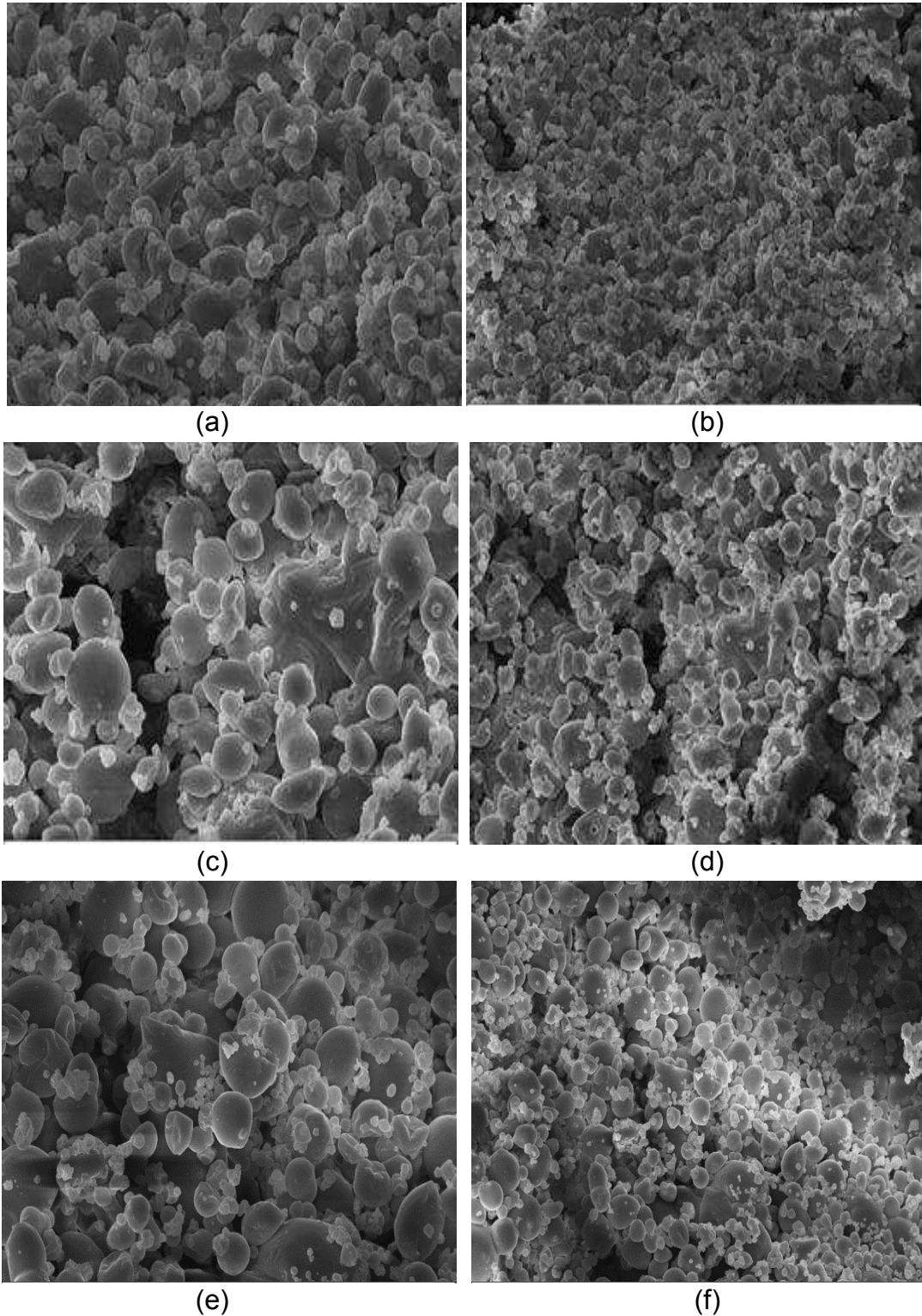
como água e alguns voláteis) podem ser volatilizados, o que acarretou o aumento do conteúdo de carotenoides. Além disso, o conteúdo de matéria sólida alimentado no spray foi aumentado, o que contribuiu para o rendimento de produto.

#### **5.4. Morfologia dos extratos de carotenoides encapsulados em pó**

Na Figura 6 estão apresentadas as fotomicrografias realizadas por MEV (microscopia eletrônica de varredura) sobre as estruturas dos extratos de carotenoides encapsulados em pó por secagem em spray dryer nas temperaturas de 150 °C, 170 °C e 190 °C.

As microesferas obtidas pelo processo de atomização (150 °C, 170 °C e 190 °C), revelaram semelhança quanto a morfologia, com os seguintes aspectos: formato irregular com predominância circular, superfície dentada, depressões irregulares e concavidades, sem fissuras, rachaduras ou rompimento. A ausência dos três últimos aspectos citados nas microesferas são características fundamentais para garantir uma maior proteção e retenção do extrato encapsulado. Outra característica importante das microesferas que pode ser visualizada na Figura 6 é a formação de aglomerados, ou seja, a ocorrência de partículas menores posicionadas na superfície das partículas maiores. Esta característica proporciona uma melhor estabilidade do composto encapsulado, pois as partículas externas do aglomerado protegem as partículas internas e, conseqüentemente, o corante presente nos mesmos (MENDES, 2012). As superfícies dentadas das amostras secas por pulverização foram atribuídas a sua contração durante o processo de secagem (JANISZEWSKA e WITROWA-RAJCHERT 2009).

A morfologia das microesferas depende de vários parâmetros envolvidos na secagem como a temperatura de entrada, solventes usados e outros fatores (KOSARAJU et al., 2006).



**Figura 7** - Micrografias eletrônicas de varredura de extrato de carotenoides microencapsulado com maltodextrina e goma arábica por atomização a (a)150°C (2000x) , (b)150 °C (1000x), (c) 170 °C (2000x), (d) 170 °C (1000x), (e)190 °C (2000x), (f)190 °C (1000x).

As microesferas obtidas pelo processo de atomização apresentaram tamanho médio de 20  $\mu\text{m}$  (Figura 6), cujo valor encontra dentro do limite de 0,2 a 5000  $\mu\text{m}$ , característico de micropartícula (BARROS e STRINGHETA, 2006). O diâmetro das micropartículas depende dos métodos de atomização, das propriedades dos materiais, da concentração, da viscosidade e da matéria-prima (CAI e CORKE, 2000).

A morfologia das microesferas de maltodextrina, apresentaram uma forma mais heterogênea, com maior quantidade de imperfeições da superfície, apesar de sua forma esférica com uma superfície lisa, típico de cápsulas de maltodextrina (DIB TAXI et al., 2003). Estas imperfeições também podem ter contribuído para a menor vida de prateleira da bixina microencapsulado quando exposta a iluminação no sistema- modelo (BARBOSA et al., 2005).

No trabalho de Janiszewska e Witrowa-Rajchert (2009), em que se avaliou o microencapsulamento de aroma utilizando maltodextrina e goma arábica pelo método de secagem por atomização, observa-se forma e tamanho das microcápsulas semelhantes aos deste trabalho. Esta morfologia também foi observada para as microcápsulas de goma arábica de bixina (BARBOSA et al., 2005). Independentemente da presença do licopeno, o tamanho de microcápsulas obtidas pelo secador por pulverização não era uniforme (NUNES e MERCADANTE, 2007).

As microcápsulas obtidas por Ascheri et al. (2003) contendo óleo essencial de laranja, apresentaram maior variação nos seus diâmetros e superfície predominantemente irregular, característica de gotículas (partículas) que sofrem intumescimento após o processo de secagem.

Ré (1998) relata que as imperfeições superficiais - como rugosidades, fissuras ou colapso - ocorrem quando há um lento processo de formação de filme durante a secagem das gotículas atomizadas. O aumento da temperatura de secagem, por sua vez, aumenta a taxa de formação de filme na superfície da gota. O autor associa a presença de dentes superficiais ao colapso sofrido pelas gotículas nos primeiros estágios do processo de secagem.

## 5.5. Cinética de degradação

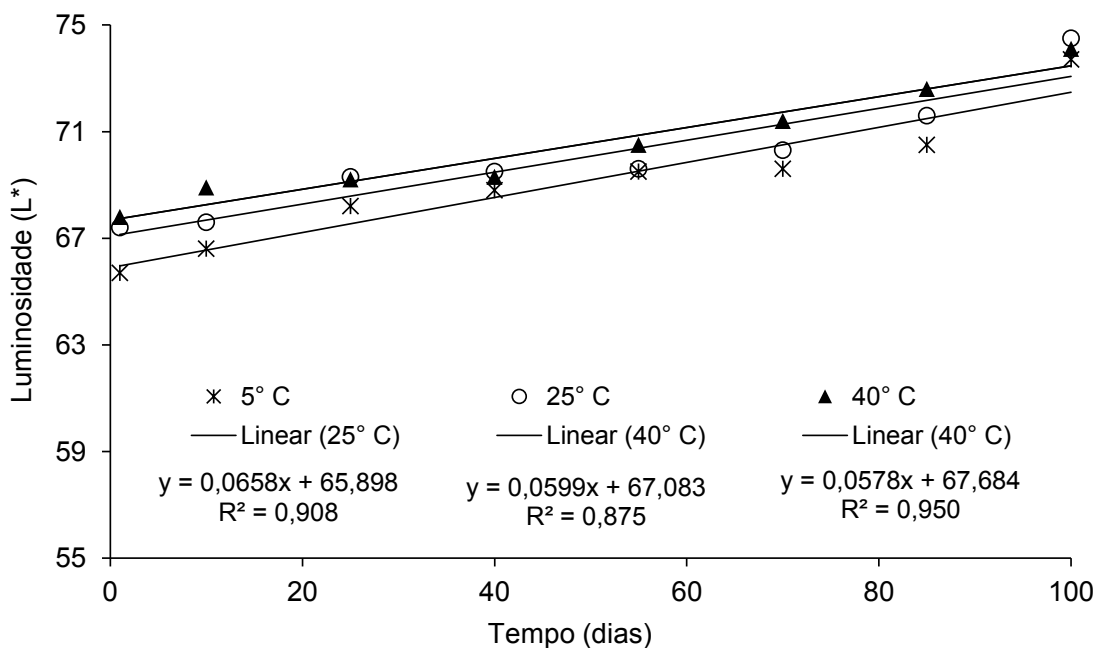
A cinética de degradação do extrato de carotenoides de pequi encapsulado foi realizada por meio do monitoramento das características de cor e teor de carotenoides em três temperaturas diferentes (5, 25 e 40 °C) durante 100 dias.

A degradação dos carotenoides leva a mudanças de cor como resultado de um rearranjo ou a formação de isômeros cis, epóxidos, produtos de cadeia curta e, em alguns casos, os compostos voláteis. Portanto, a medição da cor pode ser usada para monitorar a degradação desses compostos e para estimar rapidamente a geração de produtos de oxidação (SANT'ANNA et al, 2013).

Nas Figuras 7, 8, 9, 10 e 11 são apresentados os resultados do efeito do tempo e das diferentes temperaturas de armazenamento sobre a luminosidade ( $L^*$ ), coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ , cromaticidade e teor de carotenoides do extrato de pequi encapsulado. Observou-se, pela análise de regressão, efeito significativo ( $p < 0,05$ ) do tempo e da temperatura de armazenamento sobre a variação de todas as variáveis analisadas.

Para a luminosidade (Figura 7) observa-se aumento de seus valores com o tempo de armazenamento. Este comportamento pode estar relacionado com reações físico-químicas, como a oxidação que resulta na degradação de pigmentos responsáveis pela tonalidade do pó (BARBOSA, 2010).

As diferentes temperaturas de armazenamento apresentaram comportamento crescente semelhante, justificado pela proximidade de valores da inclinação das retas de regressão ajustadas aos dados. Diante disso é possível afirmar que, no intervalo avaliado, o efeito das temperaturas sobre as reações que ocorrem para a perda de pigmentação é equivalente.

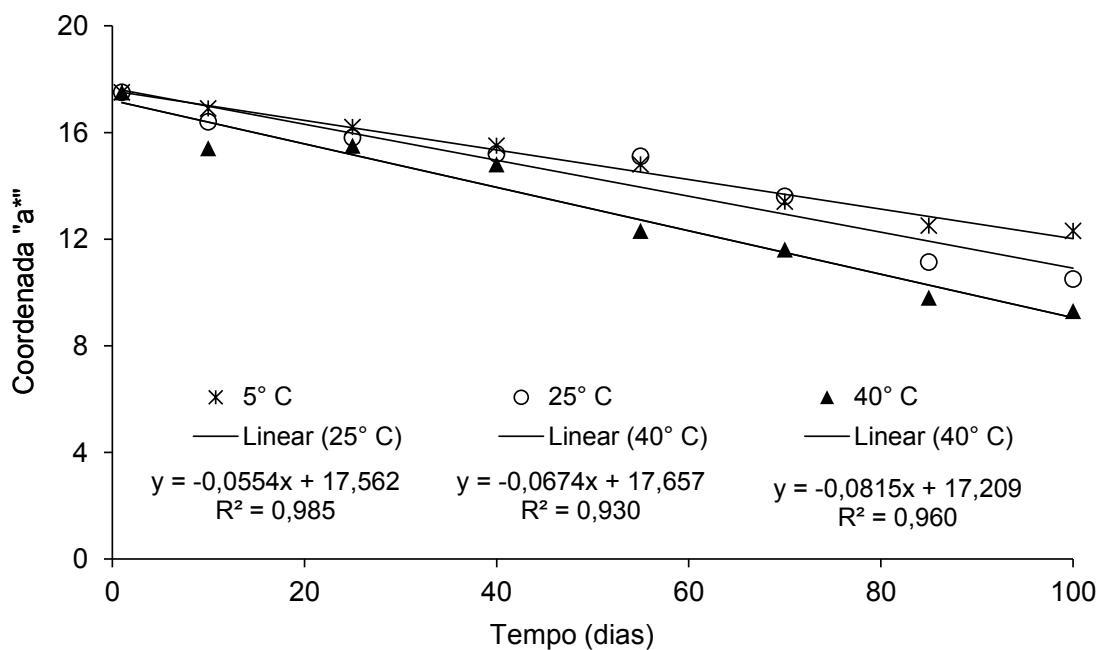


**Figura 8** - Cinética de degradação para característica Luminosidade, do extrato de pequi encapsulado e armazenado a temperatura de 5 °C, 25 °C e 40°C.

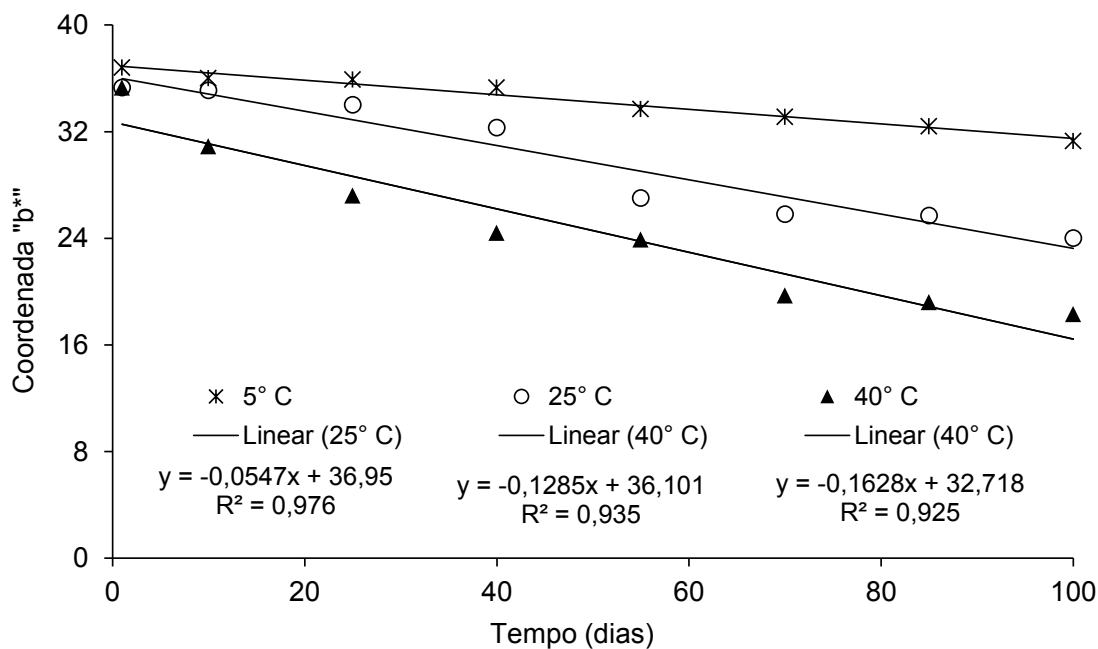
Como discutido anteriormente  $a^*$  e  $b^*$  apresentaram valores positivos, significando que o pó obtido apresenta tonalidades vermelha e amarela, respectivamente, conferindo coloração alaranjada ao extrato. Pode-se observar que os valores de  $b^*$  decrescem e, como sua tonalidade amarela se deve aos carotenoides, indica que houve degradação destes. Mesmo comportamento decrescente se observou para a tonalidade de vermelho ( $a^*$ ), indicando igualmente redução dos carotenoides presente no extrato.

No que tange às diferentes temperaturas de armazenamento, observa-se comportamento semelhante para as coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ , porém com maior diferença entre elas para a primeira coordenada e conseqüentemente menor para a segunda. Em linhas gerais pode-se dizer que nos dois casos as diferenças entre temperaturas se intensificam à medida que se elevou o tempo de estocagem. Logo, períodos maiores de armazenamento associados a temperaturas mais elevadas podem conduzir a menores valores destas coordenadas e conseqüentemente maiores perdas de coloração.

Observa-se que ao longo do tempo, independente da temperatura de armazenamento, uma maior perda proporcional de coloração amarela do que vermelha. Esse fato acontece, pois o extrato de pequi é mais rico em carotenoides amarelos do que vermelhos.

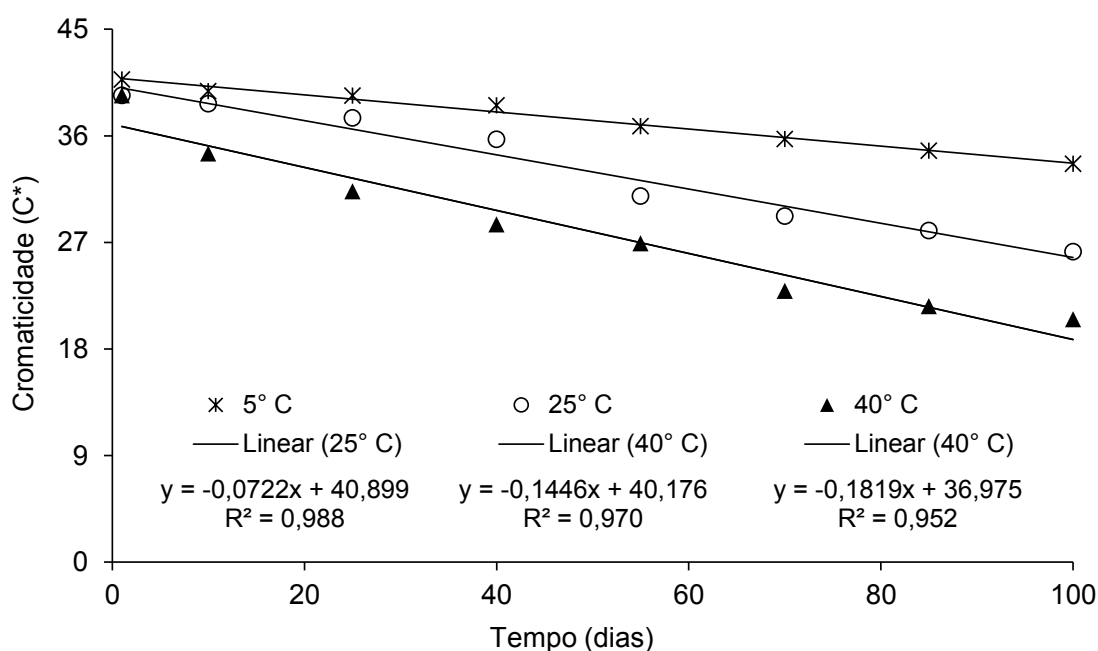


**Figura 9** - Cinética de degradação para Coordenada a\*, do extrato de pequi encapsulado armazenada a temperatura de 5 °C, 25 °C e 40 °C.



**Figura 10** - Cinética de degradação para Coordenada b\*, do extrato de pequi encapsulado armazenada a temperatura de 5 °C, 25 °C e 40 °C.

A cromaticidade ( $C^*$ ) indica a intensidade da cor ou a saturação, dessa forma, a redução nos valores de  $C^*$  ao longo do período de armazenamento, como observado na Figura 10, indicou que há uma redução na intensidade da cor ao longo do tempo. A temperatura de 5° C proporcionou a menor redução na intensidade da cor entre as avaliadas, enquanto que a temperatura de 40 °C a maior redução. De forma comparativa pode-se dizer que há uma tendência de maiores reduções ao longo do tempo à medida que se eleva a temperatura, e que esta redução está intimamente relacionada à coordenada  $b^*$ , corroborando os resultados observados e discutidos anteriormente.

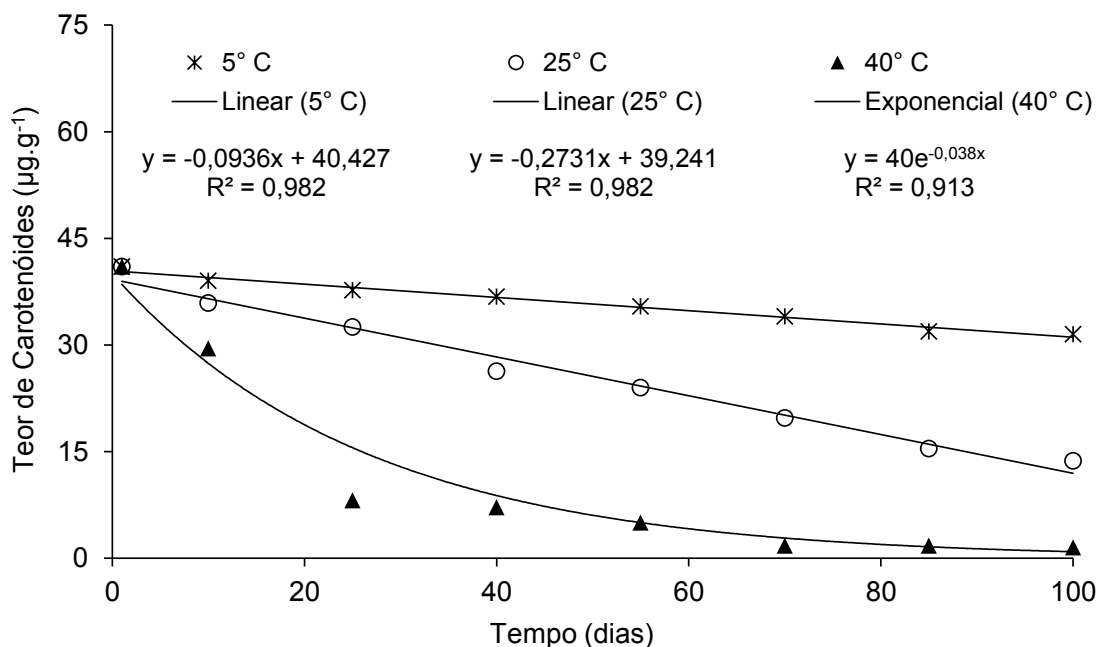


**Figura 11** - Cinética de degradação para Cromaticidade (Índice Chroma –  $C^*$ ), do extrato de pequi encapsulado armazenada a temperatura de 5 °C, 25 °C e 40 °C.

A redução nos valores de cromaticidade, coordenada  $a^*$  e  $b^*$  e o aumento na Luminosidade pode estar relacionado com reações de degradação dos carotenoides, que são os pigmentos encontrados nos pós analisados. Os sistemas alimentícios estão sujeitos às degradações físico-químicas mesmo a baixos níveis de atividade de água. A depreciação da estabilidade desses materiais com o tempo de estocagem pode ser acelerada pelo calor, teor de água ou pela permeabilidade da embalagem ao oxigênio do ambiente. A oxidação de pigmentos afetando a cor durante o armazenamento, muitas vezes está relacionada com a degradação de constituintes que têm valor nutricional e

que podem promover sabor e odor desagradável ao produto (BARBOSA, 2010).

Para o teor de carotenoides, com exceção da temperatura de 40° C cujo comportamento é exponencial, há um decréscimo linear à medida que se aumentam os dias de armazenamento, conforme se observa na Figura 11.



**Figura 12** - Cinética de degradação do teor de carotenoides, do extrato de pequi encapsulado armazenada a temperatura de 5 °C, 25 °C e 40 °C.

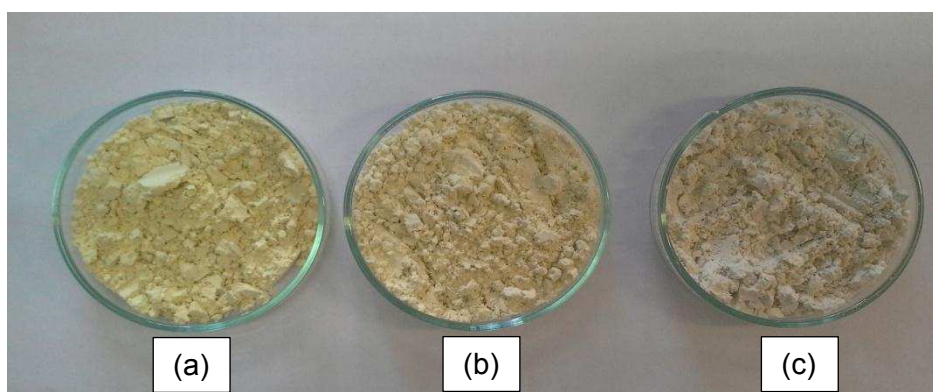
Com o aumento da temperatura de armazenamento, houve a degradação mais rápida dos carotenoides, o que era esperado, dada a sensibilidade destes pigmentos à temperatura (SANTANA, 2013). A 40 °C o teor de carotenoides sofre uma drástica redução atingindo níveis próximos de zero, sendo esta degradação superior a observada para as demais temperaturas em períodos posteriores de armazenamento.

O comportamento observado neste trabalho também foi relatado por Hojjati et al. (2012), após estudar a estabilidade de cataxantina microencapsulada, armazenada em três diferentes temperaturas (4, 25 e 45 °C). Esses autores observaram uma redução no teor de cataxantina nas três temperaturas, sendo que a 4 °C a redução foi muito pequena; a 25 °C, ocorreu até 58 % de redução; e, a 45 °C, houve redução total no teor de cataxantina encapsulada em 100 dias.

Os carotenoides são moléculas com a estrutura altamente insaturada, o

que os torna muito susceptíveis à oxidação e isomerização. Sua estabilidade depende da exposição à luz e alta temperatura e da matriz do alimento, pois a oxidação e a isomerização são promovidas pela presença de enzimas liberadas nos cortes e trituração dos mesmos, presença de radicais livres, metais, ácidos orgânicos e lipídeos insaturados (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008).

Na Figura 12, pode-se observar a diferença visual dos pós armazenados durante 100 dias nas temperaturas de 5 °C, 25 °C e 40 °C.



**Figura 13-** Extrato de carotenoides de pequi microencapsulado após 100 dias de armazenamento a (a) 5 °C, (b) 25 °C e (c) 40 °C.

Na Tabela 9 estão apresentados valores de alguns parâmetros cinéticos.

O melhor modelo que descreve a reação nos casos apresentados foi o de 1ª ordem, pois apresentou maiores valores de coeficientes de determinação que os obtidos nos modelos de ordem zero. Os melhores valores de  $R^2$  foram obtidos para as reações de 1ª ordem.

O tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) foi determinado como o tempo no qual a concentração de carotenoides presente nas amostras caiu pela metade. Com o aumento da temperatura de armazenamento, houve a degradação mais rápida dos carotenoides, o que era esperado dado a sensibilidade deste composto à temperatura.

O  $t_{1/2}$  para as coordenadas  $a^*$ ,  $b^*$  foi determinado como o tempo no qual os valores destas características cromáticas caíram pela metade.

**Tabela 9** - Parâmetros cinéticos dos pós de extrato de carotenoides de pequi microencapsulados

<b>Características</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Ordem de reação</b>	<b>K (dias<sup>-1</sup>)</b>	<b>t ½ (dias)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>L</b>	5°C	1	0,0008	855,74	0,999
	25°C	1	0,0009	805,99	0,999
	40°C	1	0,0010	729,63	0,999
<b>a*</b>	5°C	1	0,0037	187,34	0,983
	25°C	1	0,0046	152,01	0,988
	40°C	1	0,0061	113,07	0,983
<b>b*</b>	5°C	1	0,0016	433,22	0,998
	25°C	1	0,0043	160,82	0,994
	40°C	1	0,0068	101,49	0,991
<b>C*</b>	5°C	1	0,0019	364,81	0,998
	25°C	1	0,0043	160,45	0,996
	40°C	1	0,0067	103,92	0,993
<b>Carotenoides</b>	5°C	1	0,0026	264,56	0,998
	25°C	1	0,0108	64,18	0,993
	40°C	1	0,0496	13,97	0,982

Observa-se um comportamento diferente para luminosidade (L\*), pois esta característica cromática aumenta com o passar do tempo, sendo assim tem-se um comportamento inverso que é indicado pelo sinal negativo. O tempo de meia-vida da estabilidade de cor pelo L\* foi determinado como o tempo no qual a diferença total de cor presente nas amostras dobrou.

Como se pode observar na Tabela 9, os valores das constantes de degradação foram decrescendo com o aumento da temperatura. O que demonstra a maior degradação no teor de carotenoides e cor com o aumento de temperatura de armazenamento, exceto para L\*, que apresenta comportamento inverso, mas o aumento de L\* também indica degradação, resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de SANTANA (2013).

## 6. CONCLUSÕES

A polpa de pequi in natura apresentou alto teor de carotenoides totais, alta atividade antioxidante e concentração de compostos fenólicos semelhante ao observado na literatura.

A polpa de pequi desidratada apresentou maior teor de carotenoides, atividade antioxidante e compostos fenólicos do que a polpa in natura.

Dentre as temperaturas de secagem, a de 190 °C foi a que permitiu maior conservação dos carotenoides.

As temperaturas de secagem não influenciaram as características de cor e morfologia dos pós obtidos para o pequi, mas afetaram o teor de carotenoides e a avaliação da estabilidade durante armazenamento.

A melhor temperatura para o armazenamento do extrato microencapsulado foi a de 5 °C, sendo a que menos influenciou as características cromáticas e proporcionou menor degradação dos carotenoides totais. O teor de carotenoides do extrato encapsulado sofre drástica redução nos primeiros dias de armazenamento quando submetido à temperatura de 40 °C.

A metodologia utilizada permitiu o microencapsulamento do extrato de carotenoides sendo recomendada para tal finalidade, por melhorar as características do extrato, pois como pode-se observar melhorou algumas características como a solubilidade dos corantes carotenoides e reduziu a hidrofobicidade. Com essa técnica foi possível obter, a partir de uma fração lipossolúvel, um corante mais solúvel em água. Com benefício da obtenção de uma variedade de produtos com características distintas, aumentando a aplicabilidade do pigmento em diversos produtos existentes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMIEC, J.; MARCINIACK, E. Microencapsulation of oil/matrix/water system during spray drying process. In: DRYING 2004 – **Proceedings of the 14th International Drying Symposium**, v.C, p. 2043-2050, 2004.

ADHIKARI, B.; HOWESB, T.; BHANDARIC, B.R.; TROUNGC, V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying experiments and modelling. **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 53-68, 2004.

Agencia Minas. Criação de fundo dá novo fôlego à cadeia extrativista do pequi no Cerrado mineiro. 2013. Disponível em: < <http://www.agenciaminas.mg.gov.br/multimidia/galerias/criacao-de-fundo-da-novo-folego-a-cadeia-extrativista-do-pequi-no-cerrado-mineiro/> >. Acesso em: 14 de maio de 2013.

AHMED, J.; KAUR, A.; SHIVHARE, U. Color degradation kinetics of spinach, mustard leaves, and mixed puree. **Journal of Food Science**, v. 67, n.3, p.1088-1091, 2002.

ALMEIDA, S. P.; COSTA, T. S. A.; SILVA, J. A. Frutas Nativas do Cerrado: caracterização físico-química e fonte potencial de nutrientes. Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Cerrados, Embrapa Informação Tecnológica. p 351-381, 2008.

ALMEIDA, S.P.; PROENÇA, C.E.B.; SANO, S.M., RIBEIRO, J.F. Cerrado: espécies vegetais úteis. **EMBRAPACPAC**. Planaltina, DF, 464 p,1998.

ALVERNE, M. Subvenção direta ao produtor extrativista— SDPE Nota Técnica. **Fundação Araripe**. 2012.

ALVIM, I. D. Produção e Caracterização de Micropartículas Obtidas por Spray Drying e Coacervação Complexa e seu Uso para Alimentação de Larvas de Peixe. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 243 p, 2005.

AMAYA-FARFAN, J. Panorama de la investigación sobre carotenoides en el Brasil. Perspectiva y necesidades. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 49, n. 3, p. 92-97, 1999.

AMBRÓSIO, C. L. B.; CAMARA, F. A.; CAMPOS, S.; FARO, Z. P. Carotenoides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, v.19, n. 2, Campinas, 2006.

AQUINO, L. P.; FERRUA, F. Q.; BORGES, S. V.; ANTONIASSI, R.; CORREA, J. L.G.; CIRILLO, M. A. Influência da secagem do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na qualidade do óleo extraído. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 29, n.2, p.354-357, 2009.

ARÉVALO-PINEDO, A.; MACIEL, V. B. V.; CARVALHO, K. M.; COELHO, A. F. S.; GIRALDO-ZUÑIGA, A. D.; ARÉVALO, Z. D. S.; ALVIM, T. C. Processamento e estudo da estabilidade de pasta de pequi (*Caryocar brasiliense*). **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.3, p. 664-668, 2010.

ARSHADY, R. Microcapsules for food. **Journal of Microencapsulation**, v.10, p.413-435, 1993.

ASCHERI, D. P. R.; MARQUEZ, M. O. M.; MARTUCCI, E. T.; Microencapsulação de óleo essencial de laranja: Seleção de material de parede. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 1-6, 2003.

ARTÉS, I.; MINGUÉZ, M.I.; HORNERO, D. Analysing changes in fruit pigments. In: MACDOUGALL, D.B. **Color in food**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 379p. 2002.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS – AOAC. Official Methods of Analysis of the AOAC. 16. ed. Washington, DC, 2000.

ASSUNÇÃO, P. E. V. Extrativismo e comercialização de pequi (*Cariocar brasiliense camb.*) em duas cidades no estado de Goiás. **Revista de Economia**, v.8, n.2, p. 17-26, 2012.

ASTUDILLO, M. J. P. Extracción de capsantina a partir de hojuelas de pimentón (*Capsicum annum* L.) y estabilización por microencapsulación.

Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidad de Chile Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Santiago, Chile, 2013.

AUGUSTIN, M.A.; ABEYWARDENA, M.Y.; PATTEN, G.; HEAD, R.; LOCKETT, A.; DE LUCA, A.; SANGUANSRI, L. Effects of microencapsulation on the gastrointestinal transit and tissue distribution of a bioactive mixture of fish oil, tributyrin and resveratrol. **Journal of Functional Foods**, v.3, n. 1, p. 25-37, 2011.

AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: Aplicação à Tecnologia de Alimentos. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v.16, n.1, p.89-97. 2005.

AZEVEDO-MELEIRO, C.H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v.117, p.385-396, 2004.

BAE, E. K.; LEE, S. J. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. **Journal of Microencapsulation**, v. 25, n. 8, p. 1-12, 2008.

BAKER, R. Controlled release of biologically active agents. New York: John Wiley & Sons, p.206-214. 1986.

BARBOSA, M.I.M.J.; BORSARELLI C.D.; MERCADANTE, A.Z. Light stability of spray-dried bixin encapsulated with different edible polysaccharide preparations. **Food Research International**, v. 38, p. 989-994, 2005.

BARBOSA, S. J. Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por Spray drying. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES, 2010.

BARROS, F.A.R, STRINGHETA, P. C. Microencapsulação de Antocianinas. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, ano IX, p. 18-24, 2006.

BEIRÃO-DA-COSTA, S.; DUARTE, C.; BOURBON, A.I.; PINHEIRO, A.C.; SERRA, T.A.; MOLDÃO-MARTINS, M.; JANUÁRIO, M.I.N.; VICENTE, A.A.; DUARTE, C.M.M., BEIRÃO-DA-COSTA, M.L. Effect of the matrix system in the

delivery and in vitro bioactivity of microencapsulated Oregano essential oil. **Journal of Food Engineering**, v.110, n.2, p. 190 -199, 2012.

BRANDÃO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P.; PARENTE, E. J. S.; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P. H. M. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico-solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 38-41, 2003.

BRITTON, G. Structure and properties of carotenoids in relation to function. **Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology**. v. 9, p. 1551–1558, 1995.

CABRAL, P. K. A. Sistemas de liberação Controlada de drogas: uma revisão. 46f. Monografia (Graduação em Medicina Veterinária) – Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2004.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v.65, n.6, p. 1248-1252, 2000.

CAMPOS, F. M. Avaliação das práticas de manipulação de hortaliças visando à preservação de vitamina C e carotenoides. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) – Universidade Federal de Viçosa. 2006.

CARDOSO, F. S. N. Produção de Microencapsulados de Amido com Recobrimento em Leito Fluidizado. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p.65, 2000.

CARRILHA F, GUINÉ R. Avaliação da cor de peras secadas por diferentes métodos. Livro de Resumos e CD-Rom das Actas do 1º Encontro Português de Secagem de Alimentos, p. 9-18, 2010.

CERCHIARA, T.; LUPPI, B.; CHIDICHIMO, G.; BIGUCCI, F.; ZECCHI, V. Chitosan and poly(methyl vinyl ether-co-maleic anhydride) microparticles as nasal sustained delivery systems. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 61, p. 195 –200, 2005.

CHANG, S.; ERDMAN, J. W., JR.; CLINTON, S. K.; VADIVELLOO, M.; STROM, S. S., YAMAMURA, Y.; DUPHORNE, C. M.; SPITZ, M. R.; AMOS, C. I.; CONTOIS, J. H.; GU, X.; BABAIA, R. J.; SCARDINO, P. T.; HURSTING, S. D. Relationship between plasma carotenoids and prostate cancer. **Nutrition and Cancer**, v. 53, n.2, p.127-134, 2005.

CHEN, L.; STACEWICZ-SAPUNTZAKIS, M.; DUNCAN, C.; SHARIFI, R.; GHOSH, L.; BREEMEN, R. V.; ASHTON, D.; BOWEN, P. E. Oxidative DNA damage in prostate cancer patients consuming tomato sauce-based entrees as a whole-food intervention. **Journal of the National Cancer Institute**, v.93, n. 24, p. 1872-1879, 2001.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005.

CHOUDHARI, S.; BAJAJ, I.; SINGHAL, R.; KARWE, M. Microencapsulated lycopene for pre-extrusion coloring of foods. **Journal of Food Process Engineering**, v.35, p. 91–103, 2012.

CIE PUBLICATION. Colorimetry, 2. ed. Available from U.S National Committee, n. 15.2, 1986.

CLARK, J.P. Food encapsulation: capturing one substance by another. **Food Technology**, v.56, n.11, p.63-65, 2002.

COLLINS, A. R. Carotenoids and genomic stability. **Mutation Research**, v. 475, n. 1, p. 21-28, 2001.

CONSTANT, P. B. L. Microencapsulamento de bixina: agentes encapsulantes, avaliação da qualidade e aplicações. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1999.

CONSTANT, P.B.L.; STRINGHETA, P.C. Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.36, n.1, p.12-18, 2002.

CORRÊA, R. M. Produção de micropartículas por gelificação iônica para alimentação de larvas de peixe: estudos em sistema-modelo com inclusão de

micropartículas lipídicas ou emulsão lipídica e testes in vivo. 151f. Tese (Doutorado em Alimentação e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

COSTA, A. M.; ROQUE-SPECHT, V. F.; CELESTINO, S. C.; CABRAL, Y. O. E.; CABRAL, D. O. E.; DINIZ, J. D. A. S. Estabilidade de compostos fenólicos e flavóides nas farinhas de jatobá e pequi processadas em diferentes temperaturas. **XXIV Congresso Brasileiro de Fruticultura**, p. 5127-5131, 2012.

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

DAWSON, T. L. It must be green: meeting society's environmental concerns. **Coloration Technology**, v. 124, p. 67-78, 2008.

DEL-VALLE, E. M. M. Cyclodextrins and their uses: a review. **Process Biochemistry**, v. 39, p. 1033- 1046, 2004.

DEPYPERE, F.; DEWETTINCK, K.; RONSSE, F.; PIETERS, J.G. Food powder microencapsulation: principles, problems and opportunities. **Applied Biotechnology, Food Science and Policy**, v.1, n.2, p.75-94, 2003.

DESAI, K. G. H.; PARK, H. J. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technology**, v. 23, p. 1361 – 1394, 2005.

DIB TAXI, C. M. A.; MENEZES, H. C.; SANTOS, A. B.; GROSSO, C. R. F. Study of the microencapsulation of camu-camu (*Myrciaria dubia*) juice. **Journal of Microencapsulation**, v. 20, p.443–448, 2003.

DONADIO, J.L. Frutos exóticos brasileiros. Ed. FUNESP, p. 120, 2000.

DOWNHAM, A.; COLLINS, P. Colouring our foods in the last and next millennium. **International of Journal Food Science e Technology**, v. 35, p. 5-22, 2000.

DRUSCH, S.; SEFERT, Y.; VAN DEN HEUVEL, A.; SCHWARZ, K. Physicochemical characterization and oxidative stability of fish oil encapsulated in an amorphous matrix containing trealose. **Food Research International**, v.

39, n. 7, p. 807-815, 2006.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. Cold water soluble granular starch for gelled food composition. U.S. Patent 4465702. 1984.

ELIAS, N. F.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; VIANA, A. P.; DIONELLO, R. G.; QUEIROZ, V. A. V. Avaliação nutricional e sensorial de caqui cv Fuyu submetido à desidratação osmótica e secagem por convecção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 322-328, 2008.

ELNAGGAR, Y. S. R.; EL-MASSIK, A. M.; ABDALLAH, O. Y.; EBIAN, A. E. R. Maltodextrin: a novel excipient used in sugar-based orally disintegrating tablets and phase transition process. **AAPS Pharm Sci Tech**, v. 11, p. 645–651, 2010.

FENNEMA, O. R. Water and ice. In: FENNEMA, O. R. (Ed.). **Food Chemistry**. New York, Marcel Dekker, p. 17-94, 1996.

FRASCARELI, E. C.; SILVA, V. M.; HUBINGER, M. D. Determination of critical storage conditions of coffee oil microcapsules by coupling water sorption isotherms and glass transition temperature. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n.5, p. 1044-1054, 2012.

GEÓCZE, K. C. Análise exploratória de carotenóides, óleos essenciais e triacilglicerídios do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) de municípios brasileiros situados no bioma cerrado. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, 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.

GIOVANNUCCI, E. A review of epidemiologic studies of tomatoes, lycopene and prostate cancer. **Experimental Biology and Medicine**, v. 227, n. 10, p. 852-59, 2002.

GODOY, H.T. Estudos de carotenóides e pró-vitamina A em alimentos. 1993. Tese (Doutorado em Ciências de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

GONÇALVES, G. A. S.; VILAS BOAS, E. V. DE B.; RESENDE, J. V. DE; MACHADO, A. L. DE L.; VILAS BOAS, B. M. Qualidade do pequi submetido ao cozimento após congelamento por diferentes métodos e tempos de armazenamento. **Revista Ceres**, v. 57, n.5, p. 581-588, 2010.

GOUIN, S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. **Trends in Food Science and Technology**, v. 15, 330-347, 2004.

GUADARRAMA-LEZAMA, A. Y.; DORANTES-ALVAREZ, L.; JARAMILLO-FLORES; M. E.; PÉREZ-ALONSO, C.; NIRANJAN, K.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F.; ALAMILLA-BELTRÁN, L. Preparation and characterization of non-aqueous extracts from chilli (*Capsicum annum* L.) and their microencapsulates obtained by spray-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 112, p. 29–37, 2012.

GUO, H.; HUANG, Y.; QIAN, J; GONG, Q.; TANG, Y. Optimization of technological parameters for preparation of lycopene microcapsules. **Journal of Food Science and Technology**. DOI: 10.1007/s13197-011-0600-0 in press. 2012.

HUNTERLAB. CIE L\*a\*b\* color scale. **Applications note**, v. 8, n. 7, July 1-15, 1996.

HIGUERA-CIAPARA, I.; FELIX-VALENZUELA, L.; GOYCOOLEA, F.M.; ARGUËLLES-MONAL, W. Microencapsulation of astaxanthin in a chitosan matrix. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 41–45, 2004.

HOJJATI, M.; RAZAVI, S.H.; REZAEI, K.; GILANI, K. Stabilization of canthaxanthin produced by *Dietzia natronolimnaea* HS-1 with spray drying microencapsulation. **Journal Food Science Tecnology**, 2012.

IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1. Métodos físico-químicos para análise de alimentos, 4ª ed., São Paulo, 1004p, 2008.

JACKSON, L.S.; LEE, K. Microencapsulation and the food industry. **Wiss Technology**, v.24, p.289-297, 1991.

JAFARI, S. M. et al. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. **Drying Technology**, v. 26, n. 7, p. 816-835, 2008.

JANISZEWSKA, E.; WITROWA-RAJCHERT, D. The influence of powder morphology on the effect of rosemary aroma microencapsulation during spray drying. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, p.2438–2444, 2009.

JUN-XIA, X; YANG JIAN, Y. H.-Y. Microencapsulation of sweet orange oil by complex coacervation with soybean protein isolate/gum Arabic. **Food Chemistry**, v. 125, p. 1267–1272, 2011.

KALIORA, A. C.; DEDOISSIS, G. V. Z. Dietary antioxidants in preventing atherogenesis. **Atherosclerosis**, v. 187, n. 1, p. 1-17, 2006.

KANDANSAMY, K.; SOMASUNDARAM, P. D. Microencapsulation of Colors by Spray Drying – A Review. **International Journal of Food Engineering**, v. 8, n.2, p. 1-17, 2012.

KENYON, M.M. Modified starch, maltodextrin. and corn syrup solids as wall materials for food encapsulation. In: RISCH, S.J.; REINECCIUS, G.A. Encapsulation and controlled release of food ingredients. **ACS Symposium Series**, **590**. Washington. DC: ACS, p.42-50, 1995.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**, v.98, n.3, p.385-392, 2010.

KILMARTIN, P. A.; REID, D. S.; SAMSON, I. Dielectric properties of frozen maltodextrin solutions with added NaCl across the glass transition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 1277–1284, 2004.

KOSARAJU, S.L., D'ATH, L., LAWRENCE, A. Preparation and characterization of chitosan microspheres for antioxidant delivery. **Carbohydrate Polymers**, v. 64, p.163-167, 2006.

KRISHNAN, S.; BHOSALE, R.; SINGHAL, R. Microcapsulation of cardomon oleoresin: evaluations of blends of gum Arabic, maltodextrin and modified starch as wall materials. **Carbohydrate Polymers**, v. 61, n. 1, p. 95-102, 2005.

LEE-SIE, A., TEOH, S. Novel modified ultrasonication technique for the extraction of lycopene from tomatoes. **Ultrasonics Sonochemistry**, 19, 151-159, 2012.

LEIMANN, F.V., Microencapsulação de óleo essencial de capim limão utilizando o processo de coacervação simples. 98f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

LIMA, A.; SILVA, A. M. O.; TRINDADE, R. A., TORRES, R. P.; MANCINI-FILHO, J. Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e na amêndoa o pequi (*Caryocar brasiliense*, Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 695-698, 2007.

LINS, L. C. V. Obtenção e caracterização de micropartículas de PHB/Qt/Cetoprofeno. Relatório de Estágio Supervisionado II (Bacharelado em Química). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2010.

LOBATO, K. B. de S.; PAESE, K.; FORGEARINI, J. C.; GUTERRES, S. S.; JABLONSKI, A.; RIOS, A. de O. Characterisation and stability evaluation of bixin nanocapsules. **Food Chemistry**, v.141, p. 3906–3912, 2013.

LORENZI, H.; SARTORI, S.; BACHER, L. B.; LACERDA, M. Frutas brasileiras e exóticas cultivadas (de consumo in natura). São Paulo: Instituto plantarum de Estudos da Flora, p. 640, 2006.

MACEDO, J. F. Pequi: do plantio à mesa. EPAMIG. **Boletim Técnico**, n. 76, 2005.

MACHADO, M. T. C.; MELLO, B. C.B.S.; HUBINGER, M. D. Study of alcoholic and aqueous extraction of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) natural antioxidants and extracts concentration by nanofiltration. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 450-457, 2013.

MADENE, A., JACQUOT, M., SCHER, J., DESOBRY, S. Flavour encapsulation and controlled release – a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, p. 1 –21, 2006.

MARCO, G. J. A rapid method fo evaluation of antioxidants. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 45, n. 9, p. 594-98, 1968.

MARIANO-DA-SILVA, S; BRAIT, J. D. DE A.; FARIA, S. M. da S.; OLIVEIRA, S. L. de; BRAGA, P. F., MARIANO-DA-SILVA, F. M. de S. Caracterização química de frutos de pequi (Caryocar brasiliense Camb.) oriundos de três municípios do Estado de Goiás. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n.4, p. 771-777, 2009.

MATIOLI, G., RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Licopeno encapsulado em goma arábica e maltodextrina: estudo da estabilidade. **Brazilian Journal of Food Technology**, Preprint Serie, n.99, 2002.

MATIOLI, G.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Microencapsulação do licopeno com ciclodextrinas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 102-105, 2003.

MAY, P.H.; POZO, O. C.; REYDON, B. P.; ANDRADE, A. G. Compilación y Analisis sobre los Productos Florestales no Madereros (PFNM) en el Brasil. FAO. Santiago, Chile, 2001.

MENDES, L. G. Microencapsulação do corante natural de urucum: uma análise da eficiência da goma do cajueiro como material de parede. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2012.

MILLER, H. E. A. Simplified method for the evaluation of antioxidants. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v. 48, p.91, 1971.

MONTEIRO, S. S. Caracterização química da casca de pequi (Caryocar brasiliense Camb.), avaliação de seus extratos e aplicação em linguiça de frango para aumento do shelf life. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Área de Concentração em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Santa Maria - RS, 2013.

MORAES, M.; CARVALHO, J. M. P.; SILVA, C. R.; CHO, S.; SOLA, M. R.; PINHO, S. C. Liposomes encapsulating beta-carotene produced by the proliposomes method: characterisation and shelf life of powders and phospholipid vesicles. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 274–282, 2013.

MOREIRA, G. E. G. Obtenção e caracterização de extrato microencapsulado de resíduo agroindustrial de acerola. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2007.

MURUGESAN, R.; ORSAT, V. Spray drying for the production of nutraceutical ingredients – A review. **Food and Bioprocess Technology**, v.5, n. 1, p. 3-14, 2012.

NUNES, I. L.; MERCADANTE, A. Z. Encapsulation of Lycopene Using Spray-Drying and Molecular Inclusion Processes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.50, n. 5, p. 893-900, 2007.

OLIVEIRA, A.C. Viabilidade de *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium lactis*, microencapsulados por coacervação, seguida de secagem por spray drying e leite de jorro. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto. p. 77, 2006.

OLIVEIRA, M. E. B. de; GUERRA, N. B.; BARROS, L. de M; ALVES, R. E. Aspectos Agronômicos e de qualidade do pequi. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**. Documentos, v. 113, p. 32, 2008.

OLIVEIRA, M. E. B. DE; GUERRA, N. B.; MAIA, A. DE H. N.; ALVES, R. E.; MATOS, N. M. S.; SAMPAIO, F. G. M.; LOPES, M. M. T. Características químicas e físico-químicas de pequis da Chapada do Araripe, Ceará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 114-125, 2010.

OLIVEIRA, M. N. S.; GUSMÃO, E.; LOPES, P. S. N.; SIMÕES, M. O. M.; RIBEIRO, L. M.; DIAS, B. A. S. Estádio de maturação dos frutos e fatores relacionados aos aspectos nutritivos e de textura da polpa de pequi (*Caryocar*

*brasiliense* Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, p. 380-386, 2006.

OLIVEIRA, M.E.B. Características físicas, químicas e compostos bioativos em pequi (*Caryocar coriaceum* Wittm.) nativos da Chapada do Araripe - CE. 2009. Tese (Doutorado em Nutrição). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

OLIVEIRA, W. L.; SCARIOT, A. Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do pequi. Brasília: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, p. 84, 2010.

PAZ, J. G. DA; PACHECO, P.; SILVA, C. O. DA; PASCOAL, G. B. Análise físico-química e avaliação da atividade antioxidante do pequi (*caryocar brasiliense*) *in natura*. **Nutrire**, vol.38, n.Suplemento, p.200-200, 2013.

PELISSARI F. M.; RONA MSS, MATIOLI G. O licopeno e suas contribuições na prevenção de doenças. **Arquivos Do Mudi**, v. 12, n.1, p. 5-11, 2008.

PINTO, M. R. M. R. Obtenção de extratos de carotenoides de polpa de pequi (*caryocar brasiliense* camb.) encapsulados pelo método de secagem em camada de espuma. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2012.

POLYAKOV, N. E.; LESHINA, T. V. Certain aspects of the reactivity of carotenoids. Redox processes and complexation. **Russian Chemical Reviews**, v. 75, n. 12, p.1049–1064, 2006.

QU, W.; PAN, Z.; MA, H. Extraction modeling and activities of antioxidants from pomegranate marc. **Journal Food Engineering**, v.99, n.1, p.16–23, 2010.

RAMOS, M. I. L.; UMAKI, M. C. S.; HIANE, P. A.; RAMOS FILHO, M. M. Efeito do cozimento convencional sobre os carotenoides pró-vitamínicos “A” da polpa do piqui (*Caryocar brasiliense* Camb). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 19, n. 1, p. 23-32, 2001.

RASCÓN, M. P.; BERISTAIN, C.I.; GARCÍA, H. S.; SALGADO, M. A. Carotenoid retention and storage stability of spray-dried encapsulated paprika

oleoresin using gum Arabic and Soy protein isolate as wall materials. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 2, p. 549-557, 2011.

RÉ, M. I. Formulating drug delivery system by spray drying. **Drying Technology**, v. 24, p. 433 – 446, 2006.

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

RÉ, M.I. Microencapsulação – em busca de produtos ‘inteligentes’. **Ciência hoje**, v.27, n.162, p.24-29, 2000.

REINECCIUS, G. A. Flavor encapsulation. **Food Reviews International**, v.5, n. 2, p.147-176, 1989.

RIBEIRO, D. M. Propriedades físicas, químicas e bioquímicas de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) de diferentes regiões do Cerrado. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana). Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2011.

RIBEIRO, R. F. Pequi: o rei do cerrado. Belo Horizonte: Rede Cerrado, 62p. 2000.

ROBERT, P.; CARLSSON, R.M.; ROMERO, N.; MASSON, L. Stability of Spray-Dried Encapsulated Carotenoid Pigments from Rosa Mosqueta (*Rosa rubiginosa*) Oleoresin. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 80, n. 11, 2003.

ROCHA, G.A; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; GROSSO, C. R. F. Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 1, p. 37-42, 2012.

RODRIGUES, J. F.; COSTA, J. M. G. DA; BORGES, S. V.; MARQUES, G. R.; HIJO, A. A. C. T. Instantaneização de microcápsulas de óleo de pequi produzidas por atomização. **Revista Higiene Alimentar**, v.25, n. 194/195, 2011.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. A **Guide to Carotenoids Analysis in Food**. Washington: International Life Sciences Institute Press, p. 64, 2001.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. Fontes brasileiras de carotenoides: tabela brasileira de composição de carotenoides em alimentos. **Brasília: MMA/SBF**, v. 2, p. 8-45, 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Some considerations in generating carotenoid data for food composition tables. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 13, n.4, p. 641-647, 2000.

ROESLER, R.; CATHARINO, R. R.; MALTA, L. G.; EBERLIN, M. N.; PASTORE, G. Antioxidant activity of *Caryocar brasiliense* (pequi) and characterization of components by electrospray ionization mass spectrometry. **Food Chemistry**, v.110, n.3, p.711-717, 2008.

ROSA, E. D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L. A. P. Secagem por atomização na indústria alimentícia: Fundamentos e Aplicações. P.12, 2010. Disponível: <http://www.fcf.usp.br/Ensino/Graduacao/Disciplinas/Exclusivo/Inserir/Anexos/LinkAnexos/secag%20de%20materiais.pdf>. Acesso em: 13 de maio de 2013.

ROSENBERG, M., KOPELMAN, I.J. & TALMON, Y. Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 38, p. 1288 – 1294, 1990.

RUFINO, M.S.M. ; ALVES, R.E.; Brito, E.S.; Silveira, M.R.S.; MOURA, C.F.H. Quality for fresh consumption and processing of some non-traditional tropical fruits from Brazil. **Fruits** (Paris. Imprimé), v. 64, p. 361-370, 2009.

RUIZ-CABRERA, M. A. et al. Spray-Drying of Passion Fruit Juice Using Lactose-Maltodextrin Blends as the Support Material. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 4, p.1011-1018, 2009.

SANSONE, F.; MENCHERINI, T.; PICERNO, P.; D'AMORE, M.; AQUINO, R. P.; LAURO, M. R. Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. **Journal of Food Engineering**, v.105, p.468-476, 2011.

SANT'ANNA, V.; GURAK, P. D.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. Tracking bioactive compounds with colour changes in foods – A review. **Dyes and Pigments**, v. 98, n. 3, p. 601-608, 2013.

SANTANA, A. A. Obtenção da polpa de pequi e do leite de coco babaçu microencapsulados através da secagem por aspersão. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2013.

SANTOS, A. B.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; GROSSO, C. R. F. Preparo e caracterização de microcápsula de oleoresina de páprica obtidas por atomização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 322-326, 2005.

SANTOS, A. B.; FERREIRA, V. P.; GROSSO, C. R. F. Microcápsulas: uma alternativa viável. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, ano 3, n. 16, 2000.

SHAHID, M.; ISLAM, S.; MOHAMMAD, F. Recent advancements in natural dye applications: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 53, p. 310-331, 2013.

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

SHEN, Q.; QUEK, S.Y. Microencapsulation of astaxanthin with blends of milk protein and fiber by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 165-171, 2014.

SHIRSATH, S. R., SONAWANE, S. H., GONATE, P. R. Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations – a review of current status. **Chemical Engineering and processing: Process Intensification**, v. 53, p. 10-23, 2012.

SILVA, A. L. A. A.; DIAS, J. A.; FIGUEIRINHA, M. O.; SILVA, C. P. Benefícios do pequi brasileiro (*Cariocar brasiliensis* L.), uma fruta nativa das regiões de cerrado do centro-oeste. 2012b. Disponível em: <<http://www.aems.com.br/conexao/edicaoatual/Sumario/downloads/2012/saude>>. Acesso em 27 maio 2013.

SILVA, C.; RIBEIRO, A.; FERREIRA, D.; VEIGA, F. Administração oral de peptídeos e proteínas: II. Aplicação de métodos de microencapsulação. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, n. 1, p. 1-20, 2003.

SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

SILVA, F. H. DE L. E. Populações, matrizes e idade da planta na expressão de variáveis físicas, químicas e físico-químicas em frutos do pequi (Caryocar brasiliense Camb.). Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação Stricto Sensu em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina – MG, 2011.

SILVA, F. H. de L.; FERNANDES, J. S. C.; ESTEVES, E. A.; TITON, M.; SANTANA, R. C. Populações, matrizes e idade da planta na expressão de variáveis físicas em frutos do pequi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 806-813, 2012a.

SILVA, I. M. C., SÁ, E. Q. C. Alimentos funcionais: um enfoque gerontológico. **Revista Brasileira Clínica Médica**, v. 10, n. 1, p. 24-28. 2012b.

SILVEIRA, M. Preparo de amostras biológicas para microscopia eletrônica de varredura. In: SOUZA, W.; HADDAD, A.; SESSO, A.; SILVEIRA, M.; BARTH, O. M.; MACHADO, R. D.; SOUTO-PADRÓN, T. Manual sobre técnicas básicas em microscopia eletrônica. **Sociedade Brasileira de Microscopia Eletrônica**, v. 1, p. 71-79, 1989.

SIVAKUMAR, V.; VIJAEESWARRI, J.; ANNA J. L. Effective natural dye extraction from different plant materials using ultrasound. **Industrial Crops and Products**, v. 33, n. 1, p. 116-122, 2011.

SOARES JR., M. S.; REIS, RC., BASSINELLO, P. Z.; LACERDA, D. B. C.; KOAKUZU, S. N.; CALIARI, M. Qualidade de biscoitos formulados com diferentes teores de farinha de casca de pequi. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n.2, p. 98-110, 2009.

SOUSA, F. C.; SILVA, L. M. M.; SOUSA, E. P.; LIMA, A. K. V. O.; FIGUEIREDO, R. M. F. Parâmetros físicos e físico-químicos da polpa de pequi. **Revista Verde**, v.6, n.1, p. 12 – 15, 2012.

SPADA, J. C.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C.; NOREÑA, C. P. Z. Microencapsulation of  $\beta$ -carotene using native pinhão starch, modified pinhão starch and gelatin by freeze-drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v., 47, p. 186–194, 2012.

SPIGNO, G.; DE FAVERI, D.M. Antioxidants from grape stalks and marc: influence of extraction procedure on yield, purity and antioxidant power of the extracts. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.3, p. 793–801, 2007.

STRINGHETA, P.C.; NACHTIGALL, A. M.; OLIVEIRA, T. T. de; RAMOS, A. M.; SANT'ANA, H. M. P.; GONÇALVES, M. P. J. C. Luteína: propriedades antioxidantes e benefícios à saúde. **Revista Alimentos e Nutrição**, v.17, n.2, p.229-238, 2006.

SUAVE, J.; DALL'AGNOL, E.C.; PEZZIN, A.P.T.; SILVA, D.A.K.; MEIER, M.M.; SOLDI, V. Microencapsulação: Inovação em diferentes áreas. **Revista Saúde e Ambiente**, v.7, p.12-20, 2006.

SWAIN, T.; HILLS, W.E. The phenolic constituents of *Punus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.19, p. 63-68, 1959.

TACO, Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, Núcleo de estudos e pesquisa em alimentação (NEPA), UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 2011.

TANG, Y.C.; CHEN, B.H. Pigment change of freeze-dried carotenoid powder during storage. **Food Chemistry**, v. 69, n. 1, p. 11-17, 2000.

THEVENET, F. Acacia gums: natural encapsulation agent for food ingredients. In: RISCH, S.J.; REINECCIUS, G.A. Encapsulation and controlled release of food ingredients. **ACS Symposium Series**, 590. Washington: ACS, p.51-90, 1995.

TODD, R. D. Microencapsulation and flavour industry. **Flavour Industry**, v. 1, n.11, p. 768-771, 1970.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder

produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p.411-418, 2008.

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

TORRES, D.E.G.; MANCINI, D.A.P.; TORRES, R.P.; MANCINI- FILHO, J. Antioxidant activity of macambo (*Theobroma bicolor* L.) extracts. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 104, p. 278- 281, 2002.

VILAS BOAS, B. M.; GONÇALVES, G. A. S.; ALVES, J. A.; VALÉRIO, J. M.; ALVES, T. C.; RODRIGUES, L. J.; PICCOLI, R. H.; VILAS BOAS, E. V. B. Qualidade de pequis fatiados e inteiros submetidos ao congelamento. **Ciência Rural**, v.42, n.5, p.904-910, 2012.

VILAS BOAS, E.V. de B. Frutas minimamente processadas: pequi. In: Encontro nacional sobre processamento mínimo de frutas e hortaliças, 3., 2004, Viçosa. Palestras, Resumos e Oficinas... Viçosa: UFV, p.122-127, 2004.

VOLP, A. C. P.; RENHE, I.R.T.; STRINGUETA, P.C. Pigmentos naturais bioativos. **Alimentos e Nutrição**, v.20, p. 157-166, 2009.

WANG, Y.; YE, H.; ZHOU, C.; LV, F.; BIE, X.; LU, Z. Study on the spray-drying encapsulation of lutein in the porous starch and gelatin mixture. **European Food Research**, v. 234, n. 1, p.157-163, 2012.

WENDEL, S.; CELIK, M. Uma visão geral sobre o uso da tecnologia de spray-drying. **Pharmaceutical Technology**, v.2, n.2, p.129-134, 1998.

YADAV, M.P., IGARTUBURU, J.M., YAN, Y., NOTHNAGEL, E.A. Chemical investigation of the structural basis of the emulsifying activity of gum arabic. **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 2, p. 297–308, 2007.

YUAN, C.; DUA, L.; JIN, Z.; XUB, X. Storage stability and antioxidant activity of complex of astaxanthin with hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin. **Carbohydrate Polymers**, v. 91, p. 385– 389, 2013.

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

## **ANEXO**

Tabela 1- Resumo da ANOVA para as variáveis das coordenadas de cor (L\*, a\*, b\*, h°, C\*) dos extratos de carotenoides encapsulados em pó em diferentes temperaturas de secagem

QM						
Coordenadas de cor						
Fonte de variação	GL	L*	a*	b*	h°	C*
Tratamento	2	1.87610	7,29255	4.60846	9.67276	5.93889
Resíduo	6	0.85701	2.09948	7.04693	3.46155	6.34424

Tabela 2- Resumo da ANOVA para as variáveis carotenoides, água, atividade de água (Aa) e teor de água, dos extratos de carotenoides encapsulados em pó em diferentes temperaturas de secagem

QM				
FV	GL	Carotenoides	Aa	teor de água
<b>Tratamento</b>	2	24,89125	0,00527	1,43
<b>Resíduo</b>	6	4,07295	0,00043	0,39

Tabela 3- Resumo da ANOVA para as variáveis pH, acidez total titulável (acidez), solubilidade e higroscopicidade dos extratos de carotenoides encapsulados em pó em diferentes temperaturas de secagem

QM					
FV	GL	pH	acidez	Solub	Higros
<b>Tratamento</b>	2	0,00197	0,04404	12,23	0,75668
<b>Resíduo</b>	6	0,00078	0,01526	0,65	0,08904