

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
NÚCLEO DE ALIMENTOS  
CURSO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANDRESSA CAROLINE MAZZUCHELLO ALBERTON

**CARACTERIZAÇÃO DA MANGA TOMMY ATKINS *IN NATURA* E  
APÓS A LIOFILIZAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2014

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

NÚCLEO DE ALIMENTOS

CURSO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANDRESSA CAROLINE MAZZUCHELLO ALBERTON

**CARACTERIZAÇÃO DA MANGA TOMMY ATKINS *IN NATURA* E  
APÓS A LIOFILIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia de Alimentos do Núcleo de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus Medianeira, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carolina Castilho Garcia

Co-orientador: Prof. Dr. Ilton José Baraldi

MEDIANEIRA  
2014

## TERMO DE APROVAÇÃO

O TERMO DE APROVAÇÃO ASSINADO ENCONTRA-SE NA COORDENAÇÃO DE CURSOS.

## RESUMO

ALBERTON C. M. ANDRESSA. **Caracterização da Manga Tommy Atkins *in natura* e após a Liofilização**. TCC. Curso Engenharia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Medianeira, 2014.

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta muito consumida no Brasil e no mundo, possui polpa carnosa, suculenta com sabor e aroma característicos e apreciados, porém deteriora rapidamente. Para agregar valor à fruta e aumentar sua durabilidade, vêm sendo realizados estudos para desenvolver produtos, sem muitas alterações em suas características físicas, químicas, nutricionais e sensoriais. A liofilização tem se mostrado promissora na conservação das características da fruta. Por esse motivo o objetivo do presente trabalho foi caracterizar a manga da variedade Tommy Atkins antes e após a liofilização. A fruta foi cortada em fatias quadradas (5 cm) com três espessuras diferentes (0,5; 1,0; 1,5 cm), congeladas em freezer a -22 °C e submetidas à liofilização. Determinou-se a umidade (U, em triplicata em estufa a 105 °C), a atividade de água ( $a_w$ , em triplicata, a 25 °C), a cor (em replicata, sendo registrados os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), teor de vitamina C (em triplicata, por metodologia titulométrica) e dureza (em quintuplicata, em N). Verificou-se que a U média das frutas frescas foi de  $85,05 \pm 0,02\%$ ; e das mangas liofilizadas de espessuras 0,5, 1,0 e 1,5 cm foram de  $2,600 \pm 0,004\%$ ,  $3,800 \pm 0,007\%$  e  $3,420 \pm 0,002\%$ , respectivamente. As frutas liofilizadas apresentaram significativa redução de sua  $a_w$ , atingindo valores de  $0,24 \pm 0,02$  (0,5 cm),  $0,278 \pm 0,009$  (1,0 cm) e  $0,23 \pm 0,02$  (1,5 cm), evidenciando a sublimação significativa da água livre do alimento. Esses valores de atividade de água tão reduzidos garantem o não crescimento microbiano e a não ocorrência de reações químicas e enzimáticas no produto devido à escassez de água livre. Após a liofilização ocorreu uma redução significativa nos valores de  $a^*$  independente da espessura das amostras, mostrando que as frutas liofilizadas apresentam-se mais amarelas (menos vermelhas) que as frescas. Fato esperado, uma vez que a retirada da água modifica a coloração da fruta. As amostras apresentaram uma redução de 94,48 % (0,5 cm), 93,27 % (1,0 cm) e 91,81 % (1,5 cm) nos teores de vitamina C após a liofilização, que pode estar relacionada à formação de grandes cristais de gelo durante o congelamento, resultando em grande destruição do tecido celular e exposição do nutriente ao oxigênio, uma vez que o processo resulta em alta porosidade do produto final. A dureza das frutas liofilizadas mostrou-se proporcional à sua espessura, ou seja, quanto maior a espessura das fatias, maior a dureza. Concluiu-se que a liofilização foi eficiente para garantir o não crescimento microbiano no alimento, no entanto, resultou em severa redução no teor de vitamina C da manga e possivelmente uma redução no conteúdo de carotenoides.

**Palavras-chave:** *Mangifera indica* L., Liofilização, Vitamina C, Dureza.

## ABSTRACT

ALBERTON C. M. ANDRESSA. **Characterization of mango cv. Tommy Atkins before and after freeze drying.** TCC. Curso Engenharia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Medianeira, 2014.

Mango (*Mangifera indica* L.) is a greatly consumed fruit worldwide, it presents tasty fleshy pulp which is highly appreciated, however the fruit suffers quickly deterioration. In order to add value and enhance the shelf life of mangoes, studies have been conducted aiming to develop products without changings in physical, chemical, nutritional and sensorial characteristics. Freeze drying has shown potential maintaining the fruit characteristics. Therefore, the objective of the present work was to characterize mangoes of Tommy Atkins cultivar before and after freeze drying. The fruit was cut in square (5 cm) slices with three different thickness (0.5, 1.0 and 1.5 cm), frozen at -22 °C and freeze dried. Moisture ( $U$ , in triplicate, in an oven at 105 °C), water activity ( $a_w$ , in triplicate, at 25 °C), color (in replicate, reading the values of  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ), vitamin C content (in triplicate, by titration) and hardness (in replicate, in N) were determined. It was verified that the average moisture of fresh mango was  $85.05 \pm 0.02\%$ ; and the average moisture of freeze dried with 0.5, 1.0 and 1.5 cm thickness were  $2.600 \pm 0.004\%$ ,  $3.800 \pm 0.007\%$  and  $3.420 \pm 0.002\%$ , respectively. Freeze dried fruits presented significant decrease of  $a_w$ , which values were  $0.24 \pm 0.02$  (0.5 cm thickness),  $0.278 \pm 0.009$  (1.0 cm thickness) and  $0.23 \pm 0.02$  (1.5 cm thickness), pointing the significant free water evaporation from the food. Low values of  $a_w$  ensure microbiological security and the absence of chemical and enzymatic reactions in the fruit. After freeze drying it was verified a significant decrease in the  $a^*$  values of the samples, independently of their thickness, showing that freeze dried fruits were less yellow (less red) than fresh fruits, which was expected since the water remove changes the fruits color. The samples presented losses of 94.48% (0.5 cm), 93.27% (1.0 cm) e 91.81% (1.5 cm) of the vitamin C after freeze drying, which could be related to the formation of large ice crystals during frozen, resulting in great destruction of the cellular structure and exposure of the nutrient to oxygen, since the processing results in high porosity of the final product. The hardness of the freeze dried fruits showed proportional to its thickness, ie, as higher the thickness, as higher the hardness. It was concluded that freeze drying was efficient ensuring the microbiological safety of the food, however resulted in severe reduction of the vitamin C content of the mango and possibly in decrease of the carotenoids content.

**Keywords:** *Mangifera indica* L., Freeze Drying, Vitamin C, Hardness.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Sistema CIEL*a*b.....   | 17 |
| Figura 2: Relação entre atividade de água e preservação de alimentos.....                     | 22 |
| Figura 3: Liofilizador Labconco.....  | 33 |
| Figura 4: Analisador AquaLab 4TE. ....  | 36 |
| Figura 5: Curva experimental da liofilização de fatias de manga em diferentes espessuras..... | 44 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Composição química da manga Tommy Atkins. ....  | 15 |
| Tabela 2: Média $\pm$ erro padrão da umidade, em base úmida, da atividade de água e do teor de cinzas das mangas <i>in natura</i> 1 e liofilizadas (0,5 e 1,5 cm). ....   | 40 |
| Tabela 3: Média $\pm$ erro padrão da umidade, em base úmida, da atividade de água e do teor de cinzas das mangas <i>in natura</i> 2 e liofilizada (1,0 cm). ....  | 40 |
| Tabela 4: Média $\pm$ erro padrão do teor de vitamina C, dos parâmetros de cor L*, a* e b da amostra <i>in natura</i> 1 e liofilizadas (0,5 e 1,5 cm), dureza e retenção de vitamina C das amostras liofilizadas (0,5 e 1,5 cm). .... | 42 |
| Tabela 5: Média $\pm$ erro padrão do teor de vitamina C, dos parâmetros de cor L*, a* e b da amostra <i>in natura</i> 2 e liofilizada (1,0 cm), dureza e retenção de vitamina C da amostra liofilizada de 1,0 cm. ....                | 43 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                         | <b>10</b> |
| <b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....                      | <b>11</b> |
| <b>3 OBJETIVOS</b> .....                          | <b>12</b> |
| 3.1 Objetivo geral.....                           | 12        |
| 3.2 Objetivos específicos .....                   | 12        |
| <b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....              | <b>13</b> |
| 4.1 Manga.....                                    | 13        |
| 4.1.1 Cor.....                                    | 15        |
| 4.1.2 Textura.....                                | 18        |
| 4.1.3 Atividade de água ( $a_w$ ) .....           | 20        |
| 4.1.4 Umidade .....                               | 22        |
| 4.1.5 Vitamina C .....                            | 25        |
| 4.1.6 Desidratação.....                           | 26        |
| 4.2 Estudos realizados com secagem de frutas..... | 30        |
| <b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....                 | <b>33</b> |
| 5.1 Matéria-prima.....                            | 33        |
| 5.2 Tipo de pesquisa.....                         | 33        |
| 5.3 Metodologia .....                             | 33        |
| 5.3.1 Preparo da matéria-prima.....               | 33        |
| 5.3.2 Processo de liofilização .....              | 34        |
| 5.3.3 Cinética de secagem .....                   | 34        |
| 5.3.4 Determinação da umidade.....                | 36        |
| 5.3.5 Determinação de cinzas .....                | 36        |
| 5.3.6 Determinação da atividade de água .....     | 36        |
| 5.3.7 Determinação da cor.....                    | 37        |



|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 5.3.8    | Determinação da textura.....           | 37        |
| 5.3.9    | Determinação da vitamina C.....        | 38        |
| 5.3.10   | Análise estatística.....               | 39        |
| <b>6</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>    | <b>40</b> |
| 6.1      | Características físico-químicas.....   | 40        |
| 6.2      | Vitamina C, cor e textura.....         | 42        |
| 6.3      | Cinética de Secagem.....               | 45        |
| <b>7</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>                  | <b>47</b> |
| <b>8</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b> | <b>48</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta muito consumida no Brasil e no mundo, por possuir polpa carnosa, suculenta com sabor e aroma característicos e apreciados. A forma mais comum de consumo é a fruta *in natura*, mas ela pode ser encontrada em outras formas tais como suco integral, polpa congelada, ingrediente de sorvetes, doces, produtos lácteos e vários outros (AZOUBEL et al., 2010).

Devido ao consumo elevado, vêm sendo realizados estudos para aumentar a vida de prateleira da fruta (SILVA e CALISTO, 2013), sendo a desidratação da manga uma das maneiras possíveis para alcançar esse objetivo, utilizando secadores de bandeja, liofilizadores, *foam-mat*, ondas ultrassônicas, entre outros. Além de conceder maior durabilidade para a fruta, espera-se que o processamento preserve ao máximo as características físico-químicas e nutritivas da manga, principalmente a quantidade de vitamina C.

A liofilização tem se mostrado promissora para a conservação da vitamina C e outros componentes relacionados à qualidade de frutas (MARQUES, 2008). Por esse motivo, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar a manga da variedade Tommy Atkins antes e após a liofilização, avaliando a influência desse processo de secagem em sua cor, dureza e teor de vitamina C.

## 2 JUSTIFICATIVA

O consumo de alimentos práticos e prontos para consumo vem aumentando nos últimos tempos, assim como a preocupação com a qualidade e a “naturalidade” desses produtos. Desta forma, os sucos prontos para beber, frutas minimamente processadas ou desidratadas, e outros produtos industrializados se tornaram-se uma boa opção para o consumidor (FERRAZ; SILVA; VILELA, 2002 *apud* MARTIM, 2006).

Observando essa necessidade, vários estudos são realizados para desenvolver novos produtos a partir de frutas, sem que suas características físicas, químicas, nutricionais e sensoriais sofram muitas alterações, além de fornecerem praticidade na hora de consumir e aumentar sua vida útil (SILVA e CALISTO, 2013). A liofilização tem se mostrado promissora nesse sentido, por não utilizar altas temperaturas durante o processamento do alimento (MARQUES, 2008). Esse processo aumenta a vida útil do alimento, já que diminui sua umidade e atividade de água e, conseqüentemente, a deterioração decorrente do crescimento de micro-organismos.

A manga é uma fruta largamente produzida no Brasil, porém, assim como outras frutas, sofre rápida deterioração. A variedade Tommy Atkins é a mais produzida no país e apresenta disponibilidade no mercado brasileiro durante todo o ano (FONSECA, 2014). Além disso, essa variedade é mais resistente ao transporte e armazenamento e apresenta boa aceitação pelo consumidor (AGRA, 2006). Assim, esse estudo avaliou a influência do processo de secagem por liofilização em características físicas, químicas e nutritivas da manga da variedade Tommy Atkins, avaliando teor de sólidos totais, cor, dureza e teor de vitamina C.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo geral

Caracterizar a manga da variedade Tommy Atkins antes e após a liofilização.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a manga Tommy Atkins *in natura* através da determinação do teor de sólidos totais, atividade de água, cor, textura e teor de vitamina C;
- Liofilizar fatias quadradas da fruta cortadas em três diferentes espessuras;
- Caracterizar a manga Tommy Atkins liofilizada através da determinação do teor de sólidos totais, atividade de água, cor, textura e teor de vitamina C;
- Estudar a cinética de secagem por liofilização da manga.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Manga

A manga (*Mangífera indica* L.) é uma fruta tipicamente asiática, natural do sudeste do país, e umas das principais fontes de vitamina C e provitamina A entre as frutas. É climatérica, podendo amadurecer fora da planta mãe, e leva de três a oito dias para isso, sendo esse um dos motivos de sofrer muitas perdas durante a pós-colheita (COSTA; SANTOS, 2004 *apud* SILVA; CALISTO, 2013).

A fruta chegou ao Brasil no século XVI trazida pelos portugueses, onde se espalhou por todo o território nacional, tornando o Brasil um dos dez maiores produtores de manga do mundo (SOUZA NETO et al., 2004 *apud* CASELLI et al., 2009). A região responsável por grande parte dessa produção é o Nordeste, devido às características de clima e irrigação e sua localização, que favorece o transporte de frutos para a América do Norte e Europa, deixando os custos de exportação menores (CASELLI et al., 2009).

O Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking mundial de produção de frutas segundo a FAO (2013). O Brasil ocupa um lugar importante, em âmbito mundial, na produção de manga chegando a 1.249.521 toneladas produzidas no ano de 2011, mantendo essa perspectiva para o ano de 2012 (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2013). No entanto, cerca de 30% desta produção é perdida antes de chegar ao consumidor final (TAVARES, 2004 *apud* XAVIER et al. 2009). Essa perda representa prejuízos financeiros e diminuição da oferta de produto com qualidade, que chegarão até o consumidor com valor elevado e com aparência inferior à esperada (VARIYAN; JORDAN, 1988 *apud* BORGES, 1991 *apud* CHOUDHURY; COSTA, 2004).

Para o melhor aproveitamento da manga, ela não é apenas produzida para consumo *in natura*, busca-se agregar valor ao fruto através da industrialização, para isso é transformada em polpas, sucos, sorvetes, geléias, entre outros

(SIMÕES, 1997 apud AGRA, 2006). A manga da variedade Tommy Atkins foi criada na Flórida (EUA), proveniente de um cruzamento de duas espécies, a *Haden* e uma variedade desconhecida. Esse fruto tem grande aceitabilidade devido à sua coloração atrativa, sabor agradável, presença de poucas fibras, polpa firme e suculenta e um caroço pequeno (SILVA; CALISTO, 2013).

No ano de 1980, a manga Tommy Atkins ganhou grande destaque nacionalmente, devido ao aumento da demanda interna e ao crescimento do interesse por exportações, já que a fruta mostrou-se muito tolerante à antracnose. Com isso essa variedade tem sido a mais plantada no país, juntamente com a *Keitt*, *Palmer* e *Haden* (PIZA JÚNIOR, 1989 apud DONADIO, 1996 apud FREITAS, 2009).

Essa variedade possui frutos com comprimento aproximado de 12 cm, largura de 10 cm, espessura de 9 cm e com peso entre 400 e 700 g, tem um formato oval alongado, sua casca é grossa, lisa com coloração amarela alaranjada contendo manchas nos tons vermelho claro ou escuro. A fruta também é muito resistente ao transporte e armazenamento. Quando em processo de maturação sua coloração se torna arroxeadopúrpura, e vermelho-amarelo-brilhante, quando madura. Sua polpa é amarela-escura com textura firme, e representa 80% do peso da fruta, sendo destes, 15% de sólidos solúveis (SANTOS, 2003 apud MARTIM, 2006).

As condições da cultura, variedade, estágio de maturação influenciam na composição química da fruta, que apresenta alto teor de sólidos solúveis, baixa concentração de minerais e alto teor de açúcares em relação a outras frutas (SANTOS, 2003 apud MARTIM, 2006).

A manga Tommy Atkins apresenta um teor de aproximadamente 12% de sólidos solúveis no início da maturação. Quando comparada com outras variedades de manga esse teor é considerado baixo, já que algumas variedades apresentam até 21,9% de sólidos solúveis (COCOZZA, 2003 apud MARTIM, 2006).

Em seu estudo SILVA e CALISTO (2013) apresentaram a composição química da manga Tommy Atkins (Tabela 1).

Tabela 1: Composição química da manga Tommy Atkins.

| Descrição           | Em 100 g de parte comestível |
|---------------------|------------------------------|
| Umidade (%)         | 85,8                         |
| Calorias (kcal)     | 51                           |
| Calorias (KJ)       | 212                          |
| Proteínas (g)       | 0,9                          |
| Lipídios (g)        | 0,2                          |
| Colesterol (mg)     | NA                           |
| Carboidratos (g)    | 12,8                         |
| Fibra Alimentar (g) | 2,1                          |
| Cinzas (g)          | 0,3                          |
| Cálcio (mg)         | 8                            |
| Magnésio (mg)       | 7                            |
| Manganês (mg)       | 0,34                         |
| Fósforo (mg)        | 14                           |
| Ferro (mg)          | 0,1                          |
| Sódio (mg)          | Tr                           |
| Potássio (mg)       | 138                          |
| Cobre (mg)          | 0,06                         |
| Zinco (mg)          | 0,1                          |
| Retino I ( $\mu$ g) | NA                           |
| Tiamina ( $\mu$ g)  | Tr                           |
| Riboflavina (mg)    | 0,04                         |
| Piridoxina (mg)     | 0,03                         |
| Niacina (mg)        | Tr                           |
| Vitamina C (mg)     | 7,9                          |

NA: não aplicável; Tr: traços

Fonte: Adaptada TACO (2011) *apud* SILVA; CALISTO (2013)

Para a caracterização da manga algumas análises são necessárias, como a determinação da cor, textura, atividade de água, sólidos totais, vitamina C, umidade, calorias, fibra alimentar, sais minerais, proteína, entre outros. No presente estudo as análises realizadas foram: determinação de cor, textura (para a manga liofilizada), atividade de água, sólidos totais e vitamina C.

#### 4.1.1 Cor

O atributo que mais chama atenção do consumidor é a cor, e esta pode ser afetada quando um alimento é termicamente processado, podendo ocorrer a degradação de pigmentos, tais como carotenóides e clorofila, e escurecimento

enzimático ou não enzimático. O pH, a acidez, o tempo e a temperatura do processo também têm influência sobre este atributo (FANTE, 2011).

A avaliação das alterações de cor nos alimentos é realizada por aparelhos específicos que ao iluminar a amostra medem a energia luminosa transmitida ou refletida pela superfície, como em um espectrofotômetro e em um colorímetro *tristímulo*, os quais descrevem a deterioração visual da cor (FANTE, 2011).

Ao se avaliar a cor de uma amostra por um colorímetro a resposta fornecida pelo equipamento obedece a um sistema tridimensional CIELab de cores, o qual fornece três coordenadas retangulares ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) permitindo a exatidão da cor. O eixo x do sistema corresponde às cores que variam do verde ( $- a^* = - 60$ ) ao vermelho ( $+ a^* = + 60$ ), o eixo y corresponde às cores que variam de azul ( $- b^* = - 60$ ) ao amarelo ( $+ b^* = + 60$ ) e o eixo z corresponde à luminosidade expressa pela variável  $L^*$ , que assume o valor zero para preto absoluto e 100 para branco total (WENDT, 2006). A Figura 1 apresenta as coordenadas do sistema CIELab.

Não existe uma recomendação geral quanto ao procedimento de mensuração da cor, pois os instrumentos de medida (colorímetros e espectrofotômetros) podem ter características diferenciadas quanto ao diâmetro de abertura (10 – 22 mm), tipo de iluminante (fonte C, que simula a luz média do dia, ou D65, que simula a luz do entardecer) e ângulo de observação (2° e 10°, por exemplo), com resultados semelhantes, mas não iguais. Em 1986, a Comissão Internacional de Iluminação recomenda o uso da fonte D65 e angulo de 10° (GARCIA, 2012).



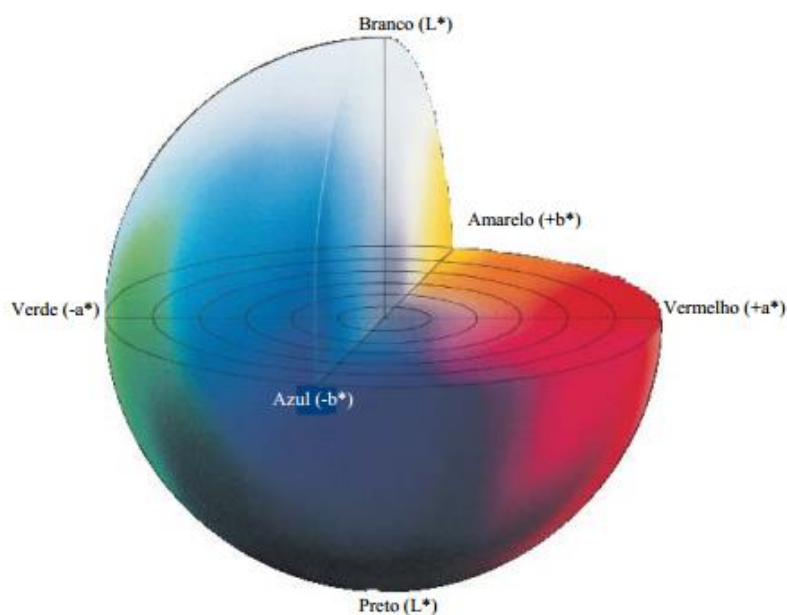


Figura 1: Sistema CIELab.

Fonte: MINOLTA, 1998 apud WENDT, 2006.

MARTIM (2006), estudando as características de processamento da manga Tommy Atkins desidratada, realizou a determinação da cor, por meio do sistema de três parâmetros CIELAB, da manga *in natura* e após a desidratação osmótica e secagem convectiva (60 °C, até  $a_w$  0,6-0,7). A autora verificou que os valores de luminosidade após a desidratação osmótica em soluções de sacarose e sorbitol foram significativamente menores que os da fruta *in natura*, caracterizando um escurecimento devido ao tratamento. A autora verificou escurecimento de todas as amostras (frescas e pré tratadas osmoticamente nas duas soluções) após a secagem convectiva, porém as frutas *in natura* resultaram mais escuras que as demais.

ZOTARELLI (2014) estudou a caracterização de manga Tommy Atkins em pó obtida pelos processos de secagem em tambor (drum drying), secagem por atomização (spray drying), liofilização e secagem por Refractance Window®. O autor determinou a cor com escala CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). Para a manga liofilizada, os seguintes resultados foram obtidos:  $79,20 \pm 0,05$  ( $L^*$ ),  $7,93 \pm 0,24$  ( $a^*$ ) e  $55,40 \pm 1,09$  ( $b^*$ ). Os autores verificaram que o processo de secagem por Refractance Window® foi o que causou maiores danos à cor das mangas.

MOREIRA et al. (2013) estudaram o comportamento higroscópico dos pós da polpa de manga Tommy Atkins liofilizada através das isotermas de adsorção obtidas pelo ajuste dos modelos de GAB (Guggenheim, Anderson e de Boer), BET (Brunauer-Emmett- Teller), Henderson e Oswin. Além disto, caracterizaram físico-quimicamente o pó e a polpa *in natura* de manga. Para a caracterização realizaram a análise de cor. Os valores encontrados para a polpa de manga *in natura* foram de  $65,80 \pm 0,075$  ( $L^*$ ),  $9,16 \pm 0,110$  ( $a^*$ ) e  $40,20 \pm 0,092$  ( $b^*$ ), e para polpa desidratada por liofilização foram  $52,20 \pm 0,7400$  ( $L^*$ ),  $-2,51 \pm 0,5300$  ( $a^*$ ) e  $19,20 \pm 0,2300$  ( $b^*$ ). Os autores verificaram que a cor amarela ( $b^* = 40,20$ ) predominou sobre a vermelha ( $a^* = 9,16$ ) na polpa fresca, e no pó obtido a cor amarela ( $b^* = 19,20$ ) predominou sobre a verde ( $a^* = -2,01$ ). Houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) nos parâmetros de cor para polpa *in natura* e o pó, sendo que a luminosidade e a cor amarela diminuíram de intensidade com o processamento e a cor vermelha desapareceu após a secagem.

#### 4.1.2 Textura

Segundo Ferreira et al. (2007) “a textura de um alimento diz respeito a um grupo de características físicas relacionadas com a estrutura do alimento, que são avaliadas pelo tato e relacionadas com a deformação, desintegração e fluidez do alimento quando se submete a uma força. Este grupo de características pode ser medido objetivamente através de funções de massa, tempo e distância.” Assim, essas características, ou parâmetros de textura, são quantificados através das análises de textura, que podem ser sensoriais ou instrumentais (KOWALSKI; CARR; TADINI, 2002).

A textura está diretamente relacionada com o estado físico do produto final e pode ser considerado um atributo de grande importância nos alimentos, funcionando como um indicador de frescor e qualidade.

É desejável que alimentos no estado vítreo, como biscoitos, cereais, batata frita e alimentos desidratados, apresentem crocância, e alimentos no estado

gomoso, como damasco e banana desidratados e biscoitos recheados, apresentem maciez. No entanto, alimentos desidratados com alta concentração de açúcar sofrem uma transição do estado vítreo para o borrachoso, quando expostos à umidade devido ao efeito plasticizante da água. Essa transição ocorre após o processamento, quando os açúcares amorfos vítreos são altamente higroscópios (MARQUES, 2008).

A textura pode ser avaliada sensorialmente ou através de um equipamento chamado de texturômetro, que mensura a força exercida para compactar, perfurar, romper, cortar e separar os produtos. Texturômetros de alta qualidade funcionam através da combinação de uma célula de carga sensivelmente calibrada, um motor de passo de precisão com instruções de máquinas programáveis e a análise inteligente dos dados. À célula são acoplados acessórios e probes (ponta de prova) e estes conduzidos até produto a fim de imitar as experiências dos consumidores. O equipamento apresenta uma curva da força resultante, que representa a força crescente desde o encontro da lâmina com a superfície do produto até a invasão do mesmo (STABLE MICRO SYSTEM, 2014).

CORRÊA (2013) estudou a influência das diferentes taxas de congelamento sobre as cinéticas de liofilização e de reidratação e sobre os parâmetros de cor e textura de fatias de maçã liofilizadas. Para determinar a textura das amostras a autora realizou uma Análise de Perfil de Textura (TPA), avaliando os seguintes atributos: dureza, coesividade, adesividade, elasticidade e mastigabilidade. Os experimentos foram realizados para amostras liofilizadas sob diferentes condições de congelamento (-22, -27, -32 e -196 °C (em nitrogênio líquido e vapor de nitrogênio) e espessura (0,5, 1,0 e 1,5 cm) da fatia, bem como para fatias de 1 cm de espessura desidratadas em ar aquecido à temperatura de 60 °C e velocidade de 1,22 m/s. A autora verificou que não houve diferença significativa entre a dureza das amostras liofilizadas nas diferentes espessuras e temperaturas de congelamento. Por outro lado, a adesividade foi influenciada significativamente pela variação da espessura da fatia, sendo os maiores valores encontrados para a maçã com espessura de 1,0 cm. A coesividade foi influenciada significativamente pela temperatura de congelamento e espessura da fatia, sendo os maiores valores encontrados para maçãs com espessura de 0,5 cm congeladas nas temperaturas de -22 e -32 °C. A elasticidade também foi influenciada por esses parâmetros (temperatura de congelamento e espessura da fatia), sendo os maiores valores

verificados na espessura de 0,5 cm e nas temperaturas de -22 e -32 °C. A mastigabilidade não foi influenciada significativamente pela temperatura de congelamento e espessura da maçã. Comparando amostras de 1,0 cm liofilizadas com a amostra seca (1,0 cm) por secagem convectiva, a autora verificou que a dureza das amostras após os processos de secagem foi significativamente diferente para cada operação de secagem utilizada, sendo a maior dureza encontrada na maçã liofilizada, congelada a -27 °C. A adesividade das fatias liofilizadas e congeladas a -32 °C foi significativamente maior que as demais, dentre as quais não foi verificada diferença significativa entre as adesividades. As maiores coesividade e elasticidade ( $p < 0,05$ ) foram verificadas para as fatias secas em ar quente. A mastigabilidade das amostras liofilizadas congeladas a -27 °C e -32 °C e das fatias secas com ar aquecido foi significativamente maior que as demais.

Ferreira et al. (2007) correlacionaram os dados de textura instrumental com os dados da avaliação sensorial da textura de ameixas. Os atributos mecânicos avaliados graficamente foram a força máxima de penetração e a força de deformação, ambas em N. Os atributos sensoriais avaliados foram aspecto exterior, cor da pele, cor da polpa, dulçor, acidez, aromas, firmeza, suculência e avaliação global dos frutos, utilizando um painel de 10 provadores semi treinados. Foram verificadas correlações significativas ( $p < 0,05$ ) entre a suculência e a força máxima de penetração do probe na polpa (firmeza) e entre a firmeza e a força máxima de penetração do probe na casca da ameixa. Os autores determinaram equações para prever os parâmetros sensoriais obtidos para a ameixa como função dos instrumentais, concluindo ser possível prever para estes dois atributos (Suculência e Firmeza) qual será a percepção sensorial, partindo da análise instrumental de textura.

#### 4.1.3 Atividade de água ( $a_w$ )

Nos alimentos a água se apresenta de duas formas: água na forma ligada, que interage diretamente com as moléculas, é difícil de ser eliminada e não pode ser utilizada para nenhuma reação química ou enzimática; e água na forma

não ligada, que está disponível para reações químicas, biológicas e físicas, o que a torna o principal agente de deterioração de alimentos, a qual é facilmente removida dos alimentos (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

O valor máximo para atividade de água é 1, para água pura. Nos alimentos com grande quantidade de água, com  $a_w$  acima de 0,90, são formadas soluções diluídas dos componentes do alimento, que irão servir de substrato para o crescimento microbiano. As reações químicas e enzimáticas são diminuídas nessas diluições devido às baixas concentrações de reagentes, facilitando a contaminação microbiana. Quando a atividade de água é reduzida para 0,40-0,80, poderão ocorrer reações químicas e enzimáticas rápidas devido ao aumento das concentrações de reagentes, e, quando próxima a 0,60 o crescimento microbiano é mínimo ou nenhum. Quando  $a_w$  atinge valor inferior a 0,3 é atingida a zona de absorção primária, na qual as moléculas de água poderão estar ligadas a pontos de absorção primários (ex. grupos  $-COOH$ ), logo poderão ligar-se com outras moléculas de água por pontos de hidrogênio. Pode-se dizer que está água é fortemente ligada ao alimento, formando uma fina camada que recobre o alimento, que não é utilizada para dissolver componentes do alimento, de maneira que a velocidade de reações tende a zero e não ocorre desenvolvimento microbiano (BOBBIO; BOBBIO, 2001). A relação entre a atividade de água e a preservação dos alimentos está descrita na Figura 2.

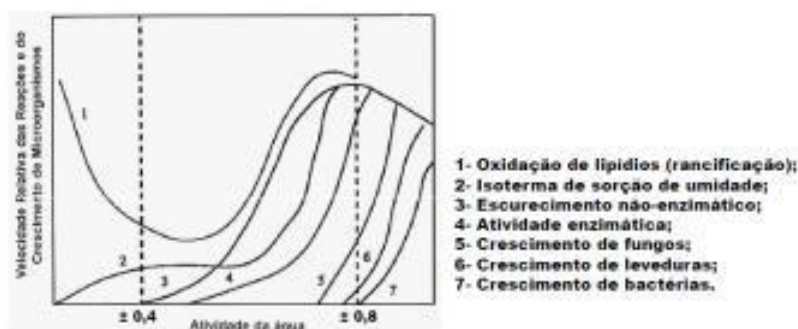


Figura 2: Relação entre atividade de água e preservação de alimentos.

**Fonte: Bobbio; Bobbio (2001).**

A atividade de água pode ser determinada por diversas técnicas, no entanto, todas necessitam de fontes padrões de referência para a calibração dos equipamentos, sendo utilizadas soluções saturadas de sais com  $a_w$  na faixa de 0,1 a 1,0 para essa calibração (GARCIA, 2004).

FILHO et al. (2012) avaliaram características físico-químicas da polpa da manga cv. Espada, determinando a atividade de água da polpa de manga em equipamento Aqualab a 25 °C. Os autores encontraram atividade de água de  $0,991 \pm 0,003$  para a polpa da fruta.

AGRA (2006) determinou a atividade de água da manga Haden *in natura*, liofilizada (congeladas a -24, -41, -100 e -196 °C) e passa (secagem convencional a 55 °C, até teor de água de 10 %) com o auxílio do equipamento Aqualab a 28 °C. A  $a_w$  da manga *in natura* foi de  $0,991 \pm 0,010$ , para manga liofilizada foi de  $0,335 \pm 0,0191$  e para manga passa de  $0,585 \pm 0,0150$ .

#### 4.1.4 Umidade

A umidade, ou teor de água, de um alimento é um dos índices mais avaliados e importantes em alimentos. Tem uma grande importância econômica, pois reflete o teor de sólidos de um produto e sua perecibilidade. Quando a umidade estiver fora dos padrões técnicos, o resultado é uma grande perda na estabilidade química, na deterioração microbiana, nas alterações fisiológicas e na qualidade geral do alimento. A determinação desse índice é realizada pela secagem da amostra (método gravimétrico), avaliando sua perda de peso, resultado da remoção de água por evaporação (GOMES, 2012).

Ao retirar a água de um alimento, a matéria seca que sobra é chamada de sólidos totais. Alguns autores citam que os teores de sólidos totais da polpa de manga, mantêm-se constantes em todos os estágios de maturação da fruta (AGRA, 2006).

AGRA (2006) caracterizou físico-química, nutricional e sensorialmente a manga Haden *in natura*, liofilizada (-24, -41, -100 e -196 °C) e passa (secagem convencional a 55 °C, até teor de água de 10 %). O autor verificou que o teor de água da manga *in natura* foi 83,23 % (bu), para mangas liofilizadas foi de 10,85 % (bu) e para manga passa foi de 9,87 % (bu).

FREITAS (2009) estudou o processo de desidratação osmótica como pré-tratamento à secagem convencional e liofilização da manga Tommy Atkins, caracterizando físico-quimicamente a fruta. A umidade das amostras *in natura* e das amostras desidratadas, que foram quantificadas pelo método proposto por IAL (1985), resultou em 84,9 % (bu) para manga *in natura*. A autora expressou a perda de umidade e ganho de sólidos das amostras desidratadas em função das variáveis independentes tempo de processo, concentração da solução e tipo de soluto, através de um planejamento fatorial 2<sup>3</sup>. Os resultados obtidos através do planejamento mostraram que as soluções mais concentradas e o maior tempo de processamento osmótico favorecem a perda de umidade pela amostra, sendo que, para o intervalo estudado, a adição de NaCl não interferiu na perda de água durante o processamento osmótico. Por outro lado, foi verificado que o aumento da concentração da solução osmótica influenciou negativamente o ganho de sólidos, porque o aumento da viscosidade da solução dificultou a transferência de massa para dentro da célula da fruta. Já a adição de NaCl teve um efeito positivo sobre o ganho de sólidos. A autora concluiu que o tratamento osmótico mais adequado (menor ganho de sólidos e maior perda de umidade) foi em solução de sacarose a 65 °Brix, por 5 h, a 55 °C. Ainda, concluiu-se que o aumento da concentração da solução osmótica favoreceu a secagem subsequente e a adição de NaCl à solução osmótica influenciou de maneira positiva o tempo necessário para atingir a umidade desejada na secagem final.

MOREIRA et al.(2013) determinou o teor de umidade da polpa de manga Tommy Atkins *in natura* e do pó desidratado por liofilização da fruta. A quantificação foi feita em triplicata através da metodologia proposta por IAL (1985). Os teores de umidade, em porcentagem, obtidos pela análise foram de 85,48 ± 0,37 para polpa *in natura* e de 3,14 ± 0,03 para pó desidratado, em base úmida. Assim, foi verificado que o processo de liofilização garantiu que o pó obtido estivesse dentro dos padrões para alimentos desidratados.

#### 4.1.4.1 Cinzas

O resíduo obtido por aquecimento de um alimento em temperatura próxima a 550 – 570 °C é chamado de cinza. Este conteúdo é o ponto de partida para a análise de minerais específicos que podem ser encontrados em alimentos de origem animal e vegetal. Nem sempre o resíduo encontrado representa toda a substância inorgânica presente na amostra, devido a alguns sais sofrerem redução ou volatilização durante o aquecimento. As cinzas, na maioria das vezes, são obtidas por ignição de quantidade conhecida da amostra, de 1 a 5 g, em cadinho ou cápsula de platina ou porcelana, podendo ser outro material resistente ao calor, mantida em mufla a 550 °C até a eliminação completa do carvão. Ao final as cinzas devem apresentar coloração branca ou ligeiramente acinzentadas (GOMES, 2012).

AGRA (2006) determinou a quantidade de cinzas presentes na manga *in natura*, liofilizada (-24, -41, -100 e - 196°C) e passa (secagem convencional a 55°C, até teor de água de 10%). A avaliação foi realizada por incineração, seguindo a metodologia descrita por IAL (1985). Os valores, em porcentagem, obtidos para manga *in natura* foi de  $0,34 \pm 0,06$ , para manga liofilizada, de  $2,0 \pm 0,2$  e para manga passa, de  $1,91 \pm 0,08$ . Foi possível verificar que os teores de cinzas foram iguais para a manga obtida pelos dois processos de secagem, liofilização e secagem convencional, e maiores que o da manga *in natura*, já que esta apresenta teor de água elevado e os cálculos dos teores são proporcionais à massa.

ZATORELLI (2014) estudou a obtenção de pós de manga Tommy Atkins desidratada por *Refractance Window*®, comparando o produto obtido com outros produzidos através de outros processos de secagem, como a liofilização e *spray-drying*. Para a realização desse estudo a autora caracterizou a polpa de manga filtrada, determinando o teor de cinzas de acordo com a metodologia da A.O.A.C. (2005), sendo encontrado  $0,24 \pm 0,02$  g / 100 g para o teor de cinzas da amostra.



#### 4.1.5 Vitamina C

O ácido ascórbico, mais conhecido como vitamina C, é encontrado nas frutas cítricas, tendo seu conteúdo variável, devido à influência do processo de produção, condições climáticas, grau de maturidade, tipo de fruta, manipulação, estocagem do fruto e parâmetros de processamento (VIEIRA, 2010).

A presença de ar, calor, água ou luz provoca a perda das propriedades da vitamina C, devido à sua instabilidade, dificultando sua permanência em alimentos processados. Logo, a retenção de vitamina C é considerada um indicativo de qualidade para processamentos tecnológicos de alimentos, visto que, ao se obter uma boa retenção desse composto bio-ativo, o processo pode ser considerado como de baixa degradação de nutrientes (VIEIRA, 2010).

Durante o período de armazenamento à temperatura ambiente, a vitamina C é o nutriente que mais sofre alteração, já que a sua degradação é dependente do tempo e da temperatura de armazenamento. A oxidação da mesma pode ocorrer através do oxigênio do ar e do oxigênio presente em quantidades pequenas nas células (AGRA, 2006).

MARQUES (2008) analisou a liofilização de frutas tropicais, sendo elas abacaxi, acerola, goiaba, mamão papaia e manga. O autor determinou o teor de vitamina C de cada fruta antes e após a liofilização. A metodologia utilizada para quantificar o teor de vitamina C ou ácido ascórbico, foi a proposta pela AOAC e modificada por Benassi e Antunes (1988), que foi realizada em triplicata. Os resultados obtidos foram reduções no teor de vitamina C de 27, 37, 3 e 7 % para abacaxi, goiaba, manga e mamão papaia, respectivamente. Para a acerola quanto maior foi seu grau de maturação, menor foi o teor de vitamina C para a fruta *in natura*, sendo que a maior perda (69 %) de vitamina C após a liofilização foi verificada na acerola verde. Essa diferença no comportamento das frutas com o processamento pode ser explicada pelas diferentes estruturas morfológicas e pelos diferentes íons metálicos encontrados em cada fruta, favorecendo ou não a oxidação do ácido ascórbico durante o processamento. As perdas de vitamina C verificadas

para as frutas liofilizadas, se comparadas com outros processos de secagem, podem ser consideradas pequenas.

MOREIRA et al. (2013) avaliou o teor de ácido ascórbico (vitamina C) na polpa da manga Tommy Atkins e no pó desidratado por liofilização. A determinação foi feita em triplicata de acordo com a metodologia proposta por IAL (2005). Os autores verificaram uma redução de 76,99 % da vitamina C da polpa *in natura* quando processada para obtenção do pó, expresso em matéria seca. Essa redução nos valores de ácido ascórbico nos produtos liofilizados foi atribuída à alta porosidade promovida por esse tipo de secagem, aumentando a superfície de contato do produto com o oxigênio, e, conseqüentemente, resultando em oxidação da vitamina.

FILHO et al. (2012) determinou o teor de ácido ascórbico na manga Espada, conforme a metodologia da AOAC (1997) modificada por Benassi e Antunes (1998). O teor de ácido ascórbico, em mg / 100 g de amostra, encontrado para a manga *in natura* foi de  $8,4 \pm 0,2$ .

#### 4.1.6 Desidratação

Dentre os métodos utilizados para conservação de alimentos, o mais antigo é a desidratação, que consiste na retirada de água livre presente no alimento. A desidratação apresenta certas desvantagens e a principal delas é a perda de alguns componentes sensíveis à temperatura, como vitaminas e sais minerais, e alterações na cor, textura e aroma (SIMÕES, 1997 *apud* AGRA, 2006).

O processo de secagem apresenta três etapas, o período de indução, o período à taxa constante e o período à taxa decrescente, caracterizados por:

- Período de indução: No início da secagem, a temperatura do sistema ar-produto é baixa e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é fraca, conseqüentemente, a transferência de massa e a taxa de secagem também são fracas. Com o aumento da temperatura do produto a pressão e

da taxa de secagem também aumentam. Este fenômeno continua até que a transferência de calor compense exatamente a transferência de massa. Se a temperatura do ar for inferior àquela do produto, esta última diminuirá até atingir o mesmo estado de equilíbrio. A duração deste período é insignificante em relação ao período total de secagem (SOARES, 2009).

- Período à taxa constante: Como no período anterior a quantidade de água disponível dentro do produto é grande. A pressão de vapor na superfície é constante e igual a pressão de vapor da água pura a temperatura do produto. A temperatura do produto é constante e é igual a temperatura do bulbo úmido do ar, isso devido as transferências de calor e de massa terem se compensado exatamente, a velocidade de secagem é constante. Esse período continua enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto for suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água na superfície (SOARES, 2009).
- Período à taxa decrescente: a partir do momento que a água migra do interior do sólido para a superfície, a taxa de secagem diminui. Nesse período a troca de calor não é mais compensada, fazendo com que a temperatura do produto aumente e tende assintoticamente à temperatura do ar. Durante todo esse período o fator limitante é a migração interna de água. A redução da taxa de secagem pode ser interpretada como uma diminuição da superfície molhada no período 2, mas a interpretação mais frequente é pelo abaixamento da pressão parcial de vapor de água na superfície. No final deste período o produto estará em equilíbrio com o ar ( $X_s = X_{s,eq}$ ) e a velocidade de secagem é nula (SOARES, 2009).

No período de taxa decrescente o mecanismo predominante é a difusão da água do interior do produto até sua superfície, portanto, a principal teoria utilizada para interpretar a secagem de alimentos é baseada na teoria da difusão da umidade como líquido ou vapor, descrita matematicamente pela Segunda Lei de Fick:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{ef} \nabla X) \quad (1)$$

Em que:  $D_{ef}$  é a difusividade efetiva, em  $m^2.s^{-1}$ ;  $X$  é o teor de água, em  $kg_{H_2O}/kg_{ms}$ ;  $t$  é o tempo, s.

Crank (1975) apresentou soluções para a Segunda Lei de Fick para sólidos de forma geométrica simples e constante ao longo do processo. A solução integrada de Crank (1975) pra uma placa infinita é dada pela Equação 2.

$$X = \left( \frac{\bar{X}(t) - X^{eq}}{X^0 - X^{eq}} \right) = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[ -(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{ef} t}{z^2} \right] \quad (2)$$

Em que: o sobrescrito *eq* indica equilíbrio e o 0, tempo inicial;  $X$  é o adimensional de umidade;  $X$  representa o conteúdo de umidade (b.s.);  $D_{ef}$  é o coeficiente de difusão efetivo da água;  $z$  é a meia espessura das amostras.

Há vários métodos de desidratação de alimentos, sendo a secagem convectiva ou com ar aquecido a mais utilizada industrialmente. Esse processo apresenta inúmeras vantagens, como, diminuição da água disponível para reações de deterioração e redução de custos em transporte, armazenamento e manipulação do produto. Porém, devido à natureza não linear dos fenômenos envolvidos na secagem, o controle do processo é dificultado, o que muitas vezes leva a alterações indesejáveis no produto, como alterações de cor, textura, sabor e aroma. Assim, diversos estudos vêm sendo realizados com respeito ao efeito da secagem em características sensoriais e nutricionais do produto final e da utilização de pré-tratamentos como uma alternativa para melhorar estas características (GARCIA, 2012).

Por outro lado há processos de desidratação que não alteram de maneira tão significativa as características de alimentos, como a liofilização, no qual a água

livre é retirada do fruto através de sua sublimação. A sublimação ocorre em baixas temperaturas e sob vácuo, minimizando as alterações nas características do alimento, pois o processo não envolve altas temperaturas (VIEIRA, 2010).

#### 4.1.6.1 Liofilização

O surgimento da técnica de liofilização ainda é uma incógnita, mas alguns autores acreditam que tenha surgido da preservação de peixes pelos esquimós, que realizavam a desidratação destes pelos ventos árticos secos. Essa técnica foi muito utilizada na segunda guerra mundial para preservar sangue e tecidos humanos, e foi essencial para a alimentação dos astronautas nas missões da NASA, despertando o interesse das indústrias, já que o processo traz vantagens para a qualidade, estocagem e transporte de produtos (MARQUES, 2008).

O processo de liofilização pode ser explicado como sendo a transferência de calor e de massa simultaneamente, onde o calor é fornecido para o produto congelado e o vapor d'água é removido de forma contínua. O processo é realizado sob vácuo, permitindo que o produto se mantenha congelado até a remoção da água, por sublimação (KOROISHI, 2005).

A liofilização é dividida em três etapas: o congelamento, responsável pela imobilização do produto a ser liofilizado, interrompendo ações químicas e atividades biológicas; a secagem primária onde ocorre a desidratação, retirada da água congelada no produto por sublimação; sendo está água a não ligada ao alimento (temperatura constante). Na secagem secundária ocorre a dessorção e remoção da umidade sublimada, e também a água livre do alimento é retirada (ocorre o aumento da temperatura). O interessante na liofilização está na utilização de temperaturas baixas e pressões reduzidas (TATTINI JUNIOR et al., 2006). Assim, a liofilização é indicada para materiais termo sensíveis, biológicos (cobaias, sangue, fungos, enzimas, tecidos), produtos químicos, farmacêuticos (vacinas, antibióticos e soros) e alimentos (frutas, hortaliças, sucos, carnes) (MARQUES, 2008).

Segundo KOROISHI (2005) a principal vantagem do processo de liofilização é a obtenção de um produto de alta qualidade, com baixa degradação térmica, com retenção de materiais voláteis que proporcionam aroma e sabor ao produto, e com uma estrutura rígida após a secagem. A autora cita outras vantagens do processo, sendo elas:

- Baixo conteúdo de água do produto seco, chegando próximo a zero (quanto menor o conteúdo de água mais estável o produto);
- O produto não necessita de manuseio em local refrigerado;
- Redução do peso e volume do produto, facilitando a estocagem e o transporte;
- Aumento da vida de prateleira ou vida útil do produto, devido à baixa atividade de água do mesmo.

As desvantagens desse processo são seu custo elevado e a sua lenta taxa de secagem. A energia utilizada para a sublimação e para remoção de água da câmara é o fator que torna mais caro o processo. Além disso, o fato de que os alimentos secos por sublimação são mais propícios à oxidação lipídica e de pigmentos e outros compostos bio-ativos, como a vitamina C, se comparados aos desidratados com ar aquecido, devido à sua maior porosidade (SILVA, 2013).

#### 4.2 Estudos realizados com secagem de frutas

Hoje o processo de liofilização vem sendo estudado para diversas frutas como abacaxi, maçã, banana, manga, acerola, mamão. Com isso, vários autores têm estudado características sensoriais e nutricionais de frutas antes e após o processo de liofilização.

VIEIRA (2010) estudou os efeitos das condições de congelamento sobre os atributos de qualidade de fatias, de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, de abacaxi liofilizado, verificando que as taxas de congelamento influenciaram a cinética de secagem,

devido a influência que exerce sobre a distribuição dos poros no material a ser seco e, conseqüentemente, a influência sobre as taxas de transferência de massa. Ainda, a autora verificou que a temperatura de congelamento e a espessura das fatias de abacaxi influenciaram a difusividade efetiva da água no período inicial da liofilização, a retenção de vitamina C, o índice de reidratação e a dureza das amostras. A retenção de vitamina C sofreu menores alterações na espessura de 1,0 mm quando submetida às temperaturas de -24 e -34 °C, chegando a uma porcentagem de retenção de 104,5 e 100,3% respectivamente; e na espessura de 0,5 mm quando expostas às mesmas temperaturas, obtendo uma retenção de 98,5 % a -34 °C e 93,5 % a -24 °C. As altas retenções estão relacionadas à tendência de variação linear do conteúdo de vitamina C com a redução de peso. Desse modo, quanto maior for a redução de peso, maior será a concentração de vitamina C no fruto.

TONON et al. (2007) verificou retenções de carotenóides em tomates desidratados osmoticamente (soluções ternárias de sacarose e sal, temperatura de processo variando entre 20 e 40 °C) acima de 100 %, o que foi relacionado à extração dos carotenóides, que é facilitada a partir de amostras processadas em comparação às frutas frescas, uma vez que nas últimas esses compostos encontram-se fisicamente protegidos ou ligados à outros componentes do alimento. É possível que o mesmo ocorra com a vitamina C, explicando também as retenções de vitamina C maiores que 100% verificadas por VIEIRA (2010).

MARQUES (2008) liofilizou fatias de 5 mm (amaçadas com garfo, formando uma polpa), de frutas tropicais, sendo elas o abacaxi, a acerola, a goiaba, o mamão papaia e a manga. O autor verificou elevados teores de vitamina C (retenção de 73 % abacaxi, 63 % goiaba, 97 % manga e 93 % mamão papaia) em todos os frutos após a secagem.

FREITAS (2009) desidratou osmoticamente pedaços de 5 X 2 X 1 cm de manga Tommy Atkins (soluções de sacarose comercial e de sacarose e NaCl em concentrações de 65 °Brix e 50 °Brix) previamente à secagem com ar aquecido (secador de bandejas) e à liofilização. Foi verificado que o pré-tratamento osmótico foi eficiente na redução de aproximadamente 50% da umidade das amostras antes do processo de secagem, reduzindo o tempo de secagem. Através da microscopia eletrônica de varredura, os autores verificaram que as amostras pré-tratadas secas

apresentaram uma estrutura morfológica menos íntegra que as amostras sem tratamento e que o pré-tratamento das amostras liofilizadas resultou no aumento de sua porosidade se comparadas às amostras sem tratamento.



## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Matéria-prima

Manga variedade Tommy Atkins foi utilizada como matéria prima nesse estudo. A variedade foi escolhida devido à sua disponibilidade ao longo do ano. As mangas foram adquiridas em mercado local e, caso necessário, foram armazenadas em câmara fria por não mais do que 96 h. As frutas foram padronizadas visualmente em relação a tamanho, cor e estágio de maturação.

Foram utilizadas frutas compradas em duas datas distintas (03 de julho e 07 de outubro de 2014) para a realização dos ensaios de liofilização. O primeiro lote de mangas foi utilizado na caracterização e liofilização das mangas com espessura de 0,5 e 1,5 cm (chamada de *in natura* 1), e o segundo, para as de espessura 1,0 cm (chamada de *in natura* 2).

### 5.2 Tipo de pesquisa

Este trabalho foi uma pesquisa experimental e quantitativa, realizado entre os meses de Janeiro à Novembro de 2014, onde foram avaliadas as características da manga antes e após o processo de secagem por liofilização.

### 5.3 Metodologia

#### 5.3.1 Preparo da matéria-prima

As frutas foram lavadas em água corrente e descascadas manualmente com facas de aço inoxidável, seguido do corte em fatias de três espessuras diferentes (0,5, 1,0, 1,5 mm) em um cortador de frios elétrico. Em seguida, as fatias foram seccionadas em quadrados de 5 cm de lado com um molde de aço inoxidável.

### 5.3.2 Processo de liofilização

A liofilização foi realizada em um liofilizador Free Zone 6 (Figura 2), modelo 7753522 (Labconco Corporation, Kansas City, MO, EUA), a uma pressão de 0,024 mbar, condensador a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  e temperatura das bandejas de  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O equipamento não possui um freezer próprio, portanto, o congelamento das amostras foi realizado em freezer de geladeira doméstica Frost free, com temperatura variando entre  $-22$  e  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Figura 3: Liofilizador Labconco.

### 5.3.3 Cinética de secagem

A cinética de secagem foi avaliada pelo acompanhamento da perda de massa das amostras no tempo. Amostras nas diferentes espessuras foram colocadas no liofilizador individualmente em seis recipientes de vidro, com pressão absoluta, inferior a 0,8 mBar, controlado e expostas à temperatura ambiente para seu aquecimento durante o período de 24 h, para as amostras com espessura de 0,5 e 1,0 cm, e de 30 h para as amostras com espessura de 1,5 cm. A pesagem das amostras contidas em cada recipiente foi realizada após 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas de liofilização, para as espessuras de 0,5 e 1,0 cm, e após 2, 4, 6, 12, 24 e 30 horas de liofilização para a espessura de 1,5 cm.

O cálculo do coeficiente efetivo de difusão da água foi realizado no software Statistica versão 10 (STATSOFT, 2014), segundo a Segunda Lei de Fick (Equação 1), utilizando a solução integrada de Crank (1975) para placa infinita (Equação 2). O software utiliza o método de estimativa dos mínimos quadrados, cujo objetivo é minimizar a soma dos quadrados dos desvios entre os valores experimentais da variável dependente, daqueles preditos pelo modelo matemático. Utilizou-se um critério de convergência de  $1 \cdot 10^{-6}$  para a estimativa dos parâmetros ( $D_{ef}$ ), cujos valores calculados, assim como os valores do erro padrão, foram apresentados em uma planilha típica do software. Para avaliar a eficiência do ajuste matemático aos dados experimentais, foram utilizados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a raiz do erro quadrático médio percentual ( $REQM$  – Equação 3).

$$REQM = 100 \left\{ \frac{\sum_{n=1}^N (x^{calc} - x^{exp})^2}{N} \right\}^{1/2} \quad (3)$$

Em que:  $x^{calc}$  representa os valores dos adimensionais de umidade, calculados utilizando os coeficientes de difusão obtidos a partir da Equação 2;  $x^{exp}$  representa os valores experimentais dos adimensionais de umidade; N representa o número de observações.

#### 5.3.4 Determinação da umidade

A umidade das amostras frescas e processadas foram determinados em triplicata pelo método estático gravimétrico em estufa a 105 °C, até atingir peso constante (IAL nº 4.5.1, 1985).

#### 5.3.5 Determinação de cinzas

As cinzas ou resíduo mineral fixo, que equivale ao resíduo inorgânico após a calcinação da matéria orgânica de uma amostra a altas temperaturas (500 °C a 600 °C), foi determinado de acordo com IAL (1985).

#### 5.3.6 Determinação da atividade de água

A atividade de água das amostras frescas e processadas foi determinada em triplicata a 25 °C (GARCIA et al., 2012) no equipamento Decagon Devices (Pullman, Washington, EUA), modelo Aqualab 4TE, (Figura 3), que determina a atividade de água pelo ponto de orvalho com controle interno da temperatura da amostra.



Figura 4: Analisador AquaLab 4TE.

### 5.3.7 Determinação da cor

A cor das amostras frescas e processadas, por leitura direta de três amostras, no colorímetro Konica Minolta, (Williams Drive Ramsey, EUA), obtendo as coordenadas  $L^*$  (lightness – luminosidade),  $a^*$  (redness – avermelhado) e  $b^*$  (yellowness – amarelado), de acordo com o sistema de três coordenadas CIELAB proposto pela Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) em 1971.

### 5.3.8 Determinação da textura

A textura das amostras processadas foi determinada em um experimento em separado, no qual a mesma matéria prima foi utilizada na liofilização das mangas nas três espessuras especificadas, de maneira a diminuir a interferência da matéria prima nas análises. Dessa forma, seria possível verificar a diferença na textura das amostras liofilizadas apenas como função de sua espessura.

As análises foram realizadas em quintuplicata em um texturômetro Universal (TA – XT2i Texture Analyser, Stable Micro System (Surrey, UK). Para a avaliação da textura das amostras foi utilizado um modelo pré-definido pelo *software* para avaliação de pretzel, com uma célula de carga de 100 kg e o probe 3 (Point Bend Rig HPP/3PB). Os ensaios foram realizados com velocidade de pré-teste de 1

mm/s, velocidade de teste de 1 mm/s, velocidade de pós-teste de 10 mm/s e distância de 15 mm e os resultados foram expressos como dureza, em N.

### 5.3.9 Determinação da vitamina C

Os teores de vitamina C das amostras frescas e imediatamente após a liofilização foram determinados por titulação com 2,6-diclorofenolindofenol, de acordo com metodologia proposta pela AOAC, modificada por Benassi e Antunes (1988), apresentada a seguir.

Foram pesados 25 g de amostra em um bequer e adicionaram-se 50 mL de solução de ácido oxálico 2% (p/v). O material foi homogeneizado por dez minutos e, desta mistura (amostra + solução) foi pesada uma alíquota de 20 g. Essa alíquota foi diluída posteriormente com solvente (ácido oxálico 2% (p/v)) até atingir um volume de 50 mL em balão volumétrico. Filtrou-se a vácuo e retirou-se em triplicata alíquotas de 10 mL. As alíquotas do filtrado foram tituladas com solução de DCFI (2,6-diclorofenolindofenol 0,01%) até ser detectado o ponto de viragem, visível pela passagem do incolor a uma coloração rosa (BENASSI; ANTUNES, 1988).

A solução de DCFI 0,01% foi preparada com 100 mg de 2,6-diclorofenolindofenol diluído em 50 mL de água destilada em estado de pré-fervura, os quais foram transferidos para um balão volumétrico de 1 L, cujo volume foi completado com água destilada contendo 210 mg de bicarbonato de sódio.

A solução padrão de ácido ascórbico foi preparada com 125 mg de ácido ascórbico de grau analítico diluído com ácido oxálico em um balão volumétrico de 50 mL. A padronização da solução de DCFI foi realizada pela titulação da solução padrão de ácido ascórbico, tomando 1 mL da solução padrão, completando o volume de um balão volumétrico de 25 mL com ácido oxálico 2% e retirando-se três alíquotas de 10 mL, com a solução de DCFI 0,01%.

Para o cálculo do conteúdo de vitamina C nas amostras foi utilizada a Equação 4:

$$\frac{Vit\ C\ (mg)}{100\ g\ amostra} = \left[ \frac{V_{DCFI\ amostra}\ (mL)}{V_{DCFI\ padrão}\ (mL)} \frac{100\ (g)}{m_{amostra}\ (g)} \frac{(m_{solvente} + m_{amostra})\ (g)}{m_{aliquota}\ (g)} \frac{50\ (mL)}{V_{aliquota}\ (mL)} \right] \quad (4)$$

Segundo Murphy, Criner e Gray (1975) a Equação 5 é a mais adequada e precisa para o cálculo da retenção de nutrientes durante o processamento de alimentos, quer ocorra incorporação ou perda de água.

$$Ret\ (\%) = \left( \frac{C_f M_f}{C_i M_i} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Em que: *Ret* representa a retenção de vitamina C após o processamento;  $C_f$  representa o conteúdo de vitamina C final e  $C_i$ , o teor inicial de vitamina C, em mg de vitamina C/100 g de amostra;  $M_f$  é a massa final das amostras e  $M_i$ , a massa inicial, em g.

### 5.3.10 Análise estatística

Para calcular com bases estatísticas a ocorrência de diferenças significativas entre as médias realizou-se a Análise de Variância, comparando-se as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey em nível de 5 % de confiança, sendo as análises realizadas no software Statistica versão 10 (STATSOFT, 2014).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Características físico-químicas

A média  $\pm$  erro padrão das umidades, em g de água / 100 g de amostra (base úmida), da atividade de água e do teor de cinzas, em g de minerais / 100 g de amostra (%), das mangas *in natura* 1, *in natura* 2 e liofilizadas (0,5, 1,0 e 1,5 cm de espessura), estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Média  $\pm$  erro padrão da umidade, em base úmida, da atividade de água e do teor de cinzas das mangas *in natura* 1 e liofilizadas (0,5 e 1,5 cm).

| Análises físico-químicas | <i>In natura</i> 1              | Liofilizada (0,5 cm)           | Liofilizada (1,5 cm)           |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Umidade (%)              | 83,334 <sup>a</sup> $\pm$ 0,006 | 2,600 <sup>b</sup> $\pm$ 0,004 | 3,420 <sup>b</sup> $\pm$ 0,002 |
| Atividade de água        | 0,993 <sup>a</sup> $\pm$ 0,001  | 0,24 <sup>b</sup> $\pm$ 0,02   | 0,23 <sup>b</sup> $\pm$ 0,02   |
| Cinzas (g/100 g)         | 0,02 <sup>a</sup> $\pm$ 0,02    | 0,020 <sup>a</sup> $\pm$ 0,004 | 0,020 <sup>a</sup> $\pm$ 0,004 |

\*Valores na mesma linha seguidos de letras minúsculas diferentes apresentam diferença estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Tabela 3: Média  $\pm$  erro padrão da umidade, em base úmida, da atividade de água e do teor de cinzas das mangas *in natura* 2 e liofilizada (1,0 cm).

| Análises físico-químicas | <i>In natura</i> 2              | Liofilizada (1,0 cm)           |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Umidade (%)              | 86,800 <sup>a</sup> $\pm$ 0,003 | 3,800 <sup>b</sup> $\pm$ 0,007 |
| Atividade de água        | 0,989 <sup>a</sup> $\pm$ 0,005  | 0,278 <sup>b</sup> $\pm$ 0,009 |
| Cinzas (g/100 g)         | 0,020 <sup>a</sup> $\pm$ 0,002  | 0,02 <sup>a</sup> $\pm$ 0,04   |

\*Valores na mesma linha seguidos de letras minúsculas diferentes apresentam diferença estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.



A manga Tommy Atkins apresentou umidade de  $83,334 \pm 0,006$  % (*in natura* 1) (Tabela 2) e  $86,800 \pm 0,003$  % (*in natura* 2) (Tabela 3), valores próximos aos encontrados por ZOTARELLI (2014), 83,97 %, e por MOREIRA et al., (2013) 85,48 %, ambos para a mesma variedade da fruta. Após a liofilização as umidades obtidas foram de  $2,600 \pm 0,004$  % para as frutas liofilizadas com espessura de 0,5 cm, de  $3,800 \pm 0,007$  % para as de espessura de 1,0 cm e de  $3,420 \pm 0,002$  % para aquelas com espessura de 1,5 cm, valores próximos aos encontrados por MOREIRA et al. (2013) que verificou umidade de 3,14% para o pó obtido por liofilização da polpa de manga Tommy Atkins.

Houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre a umidade das amostras *in natura* e a das liofilizadas, sendo a umidade da liofilizada significativamente inferior às das mangas frescas (Tabela 2 e 3), mostrando que o processo de liofilização promoveu uma grande redução na umidade das frutas.

A atividade de água das mangas foi de  $0,993 \pm 0,001$  (*in natura* 1) e  $0,989 \pm 0,005$  (*in natura* 2), sendo estes muito próximos aos encontrados por FILHO et al. (2012) para a polpa de manga Espada (0,991), por AGRA (2006) para a polpa de manga Haden (0,991) e por ALMEIDA et al. (2009) para a polpa de manga Tommy Atkins (0,95) e Rosa (0,99). As atividades de água após a liofilização foram de  $0,24 \pm 0,02$  para as frutas com espessura de 0,5 cm, de  $0,278 \pm 0,009$  para as de espessura de 1,0 cm e de  $0,23 \pm 0,02$  para as de espessura de 1,5 cm, valores ligeiramente maiores que os encontrados por ZOTARELLI (2014), que verificou atividade de água para a manga Tommy Atkins liofilizada de 0,215. AGRA (2006) verificou a atividade de água da polpa liofilizada da manga Haden que foi de 0,335, valor maior que encontrado no presente trabalho, fato relacionado às diferentes variedades da fruta.

É possível verificar nas Tabelas 2 e 3 que as atividades de água das amostras *in natura* diferiram significativamente ( $p \leq 0,05$ ) das amostras liofilizadas. A atividade de água das fatias liofilizadas de manga foi menor que 0,3, independente de sua espessura, resultando em produtos nos quais não ocorrerão o crescimento microbiano e a ocorrência de reações químicas e bioquímicas provenientes da presença de água no alimento (Figura 2).

O teor de cinzas médio, em base seca, encontrado para as mangas *in natura* foi de  $0,020 \pm 0,002$  g/100 g. O valor encontrado foi menor que o verificado por ZOTARELLI (2014) para a polpa da manga Tommy Atkins, de 0,24 g/100 g. Para as amostras liofilizadas os teores de cinzas obtidos foram de  $0,020 \pm 0,004$  g/100 g, para todas as espessuras (0,5, 1,0 e 1,5 cm), valores muito próximos aos encontrados por AGRA (2006) que obteve teor de cinzas para a manga Haden de  $0,02 \pm 0,1582$  g/100 g. Nas Tabelas 2 e 3 verificou-se que o teor de cinzas das amostras *in natura* não diferiu significativamente ( $p \leq 0,05$ ) do das amostras liofilizadas.

## 6.2 Vitamina C, cor e textura

As médias  $\pm$  erro padrão do teor de vitamina C, em mg de vitamina C/100 g de amostra e dos parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  das amostras *in natura* e liofilizadas (0,5, 1,0 e 1,5 cm) estão apresentados nas Tabelas 4 e 5. Também estão apresentadas a dureza, em N, e a retenção da vitamina C, em porcentagem.

Tabela 4: Média  $\pm$  erro padrão do teor de vitamina C, dos parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  da amostra *in natura* 1 e liofilizadas (0,5 e 1,5 cm), dureza e retenção de vitamina C das amostras liofilizadas (0,5 e 1,5 cm).

| Análises físico-químicas     | <i>In natura</i> 1           | Liofilizada (0,5 cm)         | Liofilizada (1,5 cm)          |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Vitamina C (mg Vit. C/100 g) | 12,4 <sup>a</sup> $\pm$ 0,4  | 3,99 <sup>b</sup> $\pm$ 0,00 | 5,87 <sup>b</sup> $\pm$ 0,42  |
| Retenção de Vitamina C (%)   | -                            | 5,52                         | 8,19                          |
| Dureza (N)                   | -                            | 6,2 $\pm$ 2,1                | 66,03 $\pm$ 12,63             |
| $L^*$                        | 62,9 <sup>a</sup> $\pm$ 4,14 | 79,6 <sup>b</sup> $\pm$ 5,2  | 77,98 <sup>b</sup> $\pm$ 3,1  |
| $a^*$                        | 4,46 <sup>a</sup> $\pm$ 0,3  | 2,23 <sup>b</sup> $\pm$ 0,4  | 2,4 <sup>b</sup> $\pm$ 1,33   |
| $b^*$                        | 62,24 <sup>a</sup> $\pm$ 4,1 | 60,89 <sup>a</sup> $\pm$ 3,7 | 59,81 <sup>a</sup> $\pm$ 3,53 |

\*Valores na mesma linha seguidos de letras minúsculas diferentes apresentam diferença estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Tabela 5: Média  $\pm$  erro padrão do teor de vitamina C, dos parâmetros de cor L\*, a\* e b da amostra *in natura* 2 e liofilizada (1,0 cm), dureza e retenção de vitamina C da amostra liofilizada de 1,0 cm.

| Análises físico-químicas     | <i>In natura</i> 2            | Liofilizada (1,0 cm)          |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Vitamina C (mg Vit. C/100 g) | 12,94 <sup>a</sup> $\pm$ 0,2  | 6,33 <sup>b</sup> $\pm$ 0,21  |
| Retenção de Vitamina C (%)   | -                             | 6,73                          |
| Dureza (N)                   | -                             | 23,5 $\pm$ 7,6                |
| L*                           | 70,81 <sup>b</sup> $\pm$ 4,62 | 82,7 <sup>a</sup> $\pm$ 1,6   |
| a*                           | 2,6 <sup>a</sup> $\pm$ 1,6    | 2,2 <sup>b</sup> $\pm$ 0,4    |
| b*                           | 64,2 <sup>a</sup> $\pm$ 1,4   | 61,69 <sup>a</sup> $\pm$ 3,83 |

\*Valores na mesma linha seguidos de letras minúsculas diferentes apresentam diferença estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

As mangas *in natura* 1 e 2 apresentaram teores de vitamina C muito próximos,  $12,4 \pm 0,4$  mg/100 g e  $12,94 \pm 0,20$  mg/100, respectivamente, sendo estes valores maiores que os encontrados por FILHO et al. (2012) que obteve um teor de  $8,43 \pm 0,21$  mg/100 g para a manga Espada. Essa diferença encontrada nos teores de vitamina C está relacionada à variedade da fruta, época do ano e região em que foi produzida. SILVA et al. (2009) em estudos com diferentes variedades de polpa de manga, encontrou teores de vitamina C de 12,7, 12,4 e 8,2 mg/100 g para as variedades Haden, Tommy Atkins e Kent, respectivamente.

É possível verificar nas Tabelas 4 e 5 que a liofilização ocasionou uma redução significativa nos teores de vitamina C, de 94,48% para a espessura de 0,5 cm, de 93,27% para a espessura de 1,0 cm e de 91,81% para a espessura de 1,5 cm. Essas perdas tão elevadas estão relacionadas à alta porosidade promovida pelo processo de liofilização, aumentando a superfície de contato do produto com o oxigênio, e à formação de grandes cristais de gelo durante o congelamento,

resultando em grande destruição do tecido celular e, conseqüentemente, maior exposição do nutriente ao oxigênio. MOREIRA et al. (2013) também obtiveram uma grande redução nos teores de vitamina C (76,99%) da manga Tommy Atkins com a liofilização.

Deve-se ressaltar que a retenção da vitamina C foi calculada em base seca (Equação 2) e que os teores da vitamina apresentados nas Tabelas 4 e 5 estão apresentados em base úmida (por massa de amostra).

Após a liofilização verificou-se que os valores de  $a^*$  reduziram praticamente à metade do valor inicial, passando de  $4,46 \pm 0,31$  (*in natura* 1) para  $2,23 \pm 0,37$  (0,5 cm) e  $2,37 \pm 1,33$  (1,5 cm) e de  $2,61 \pm 1,58$  (*in natura* 2) para  $0,78 \pm 1,09$  (1,0 cm), mostrando que a manga liofilizada apresenta coloração menos vermelha que a manga fresca. Essa alteração era esperada, uma vez que ao retirar a água da fruta sua coloração é alterada. Ainda assim, uma vez que o  $\beta$ -caroteno é o principal pigmento presente em mangas *in natura* e que o mesmo apresenta coloração laranja, os resultados encontrados sugerem a degradação deste composto com o processo de liofilização. Marques (2008) avaliou a cor e o teor de carotenóides totais de frutas tropicais e verificou que as alterações na cor das frutas foram decorrentes da degradação dos carotenóides, já que a liofilização promove a remoção da água por sublimação, prevenindo as reações de escurecimento enzimático ou não-enzimático.

Os valores de  $b^*$  não apresentaram variações significativas com a liofilização, porém a luminosidade das amostras aumentou significativamente após o processo, evidenciando o clareamento das amostras com o processamento.

MOREIRA et al. (2013) verificaram o desaparecimento da coloração vermelha e a redução da cor amarela e da luminosidade após a liofilização da manga Tommy Atkins.

Os valores médios de dureza encontrados para cada espessura foram de  $6,2 \pm 2,1$  (0,5 cm), de  $23,54 \pm 7,6$  (1,0 cm) e  $66,03 \pm 12,63$  (1,5 cm), ou seja, quanto mais espessa a amostra, maior sua dureza.

CORRÊA (2013) estudou a dureza de fatias de maçã liofilizadas em diferentes espessuras (0,5, 1,0 e 1,5 cm) e temperaturas de congelamento (-22, -27, -32 e -196 °C), sendo os valores de dureza encontrados pela autora foram de 46,24 N (-22 °C), de 166,47 N (-27 °C), de 95,81 N (-32 °C) e de 8,31 N (-196 °C) para a maçã com espessura de 1,0 cm. Ao comparar os valores encontrados no presente estudo com os verificados por CORRÊA (2013) verificou-se que a manga de espessura de 1,0 cm e congelada a -22 °C apresentou, após a liofilização, praticamente metade da dureza da maçã liofilizada nas mesmas condições. Entretanto, deve ser levado em consideração que as frutas são diferentes, logo, os resultados podem ser diferenciados. Como são poucos os estudos publicados sobre a textura de mangas liofilizadas, não foi possível a comparação com dados de outros autores.

### 6.3 Cinética de Secagem

A Figura 5 apresenta a curva de secagem por liofilização das fatias de manga nas diferentes espessuras (0,5, 1,0 e 1,5 cm).

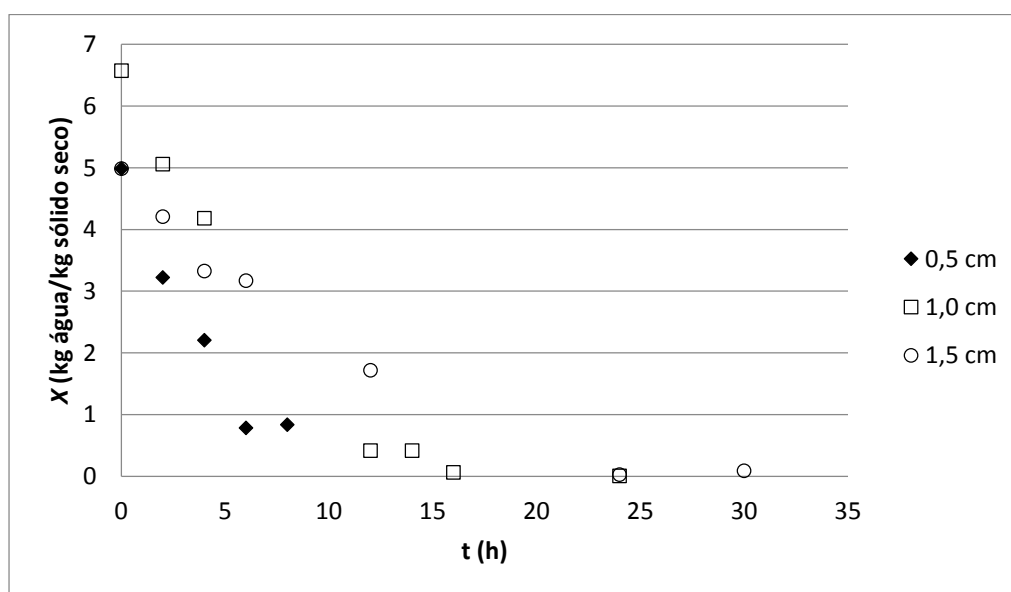


Figura 5: Curva experimental da liofilização de fatias de manga em diferentes espessuras.

É possível verificar na Figura 5 que a umidade das amostras decresceu continuamente com o tempo e que para determinado tempo de liofilização as fatias de menor espessura atingiram umidades mais baixas.

A partir dos dados experimentais de umidade era pretendido calcular os coeficientes de difusão da água durante o processo de liofilização utilizando o software Statistica versão 10 (STATSOFT, 2014), porém, quando os resultados foram avaliados no software, a resposta para os parâmetros estimados foi igual a zero (0) para todos os casos, com  $R = 0$ , sendo que o software acusou que a solução era “degenerada”. Esta resposta foi gerada pelo fenômeno de multicolinearidade, que ocorre quando duas ou mais variáveis independentes do modelo estão explicando o mesmo fato, ou seja, contêm informações similares. Esse fenômeno tende a distorcer os coeficientes angulares estimados para as variáveis que a apresentam, prejudicando a habilidade preditiva do modelo e a compreensão do efeito real da variável independente sobre o comportamento da variável dependente. Uma forma de evitar esse fenômeno seria aumentar o tamanho da amostra (FIPECAFI, 2012), no entanto, para este estudo, isso não foi possível devido às limitações de tempo, que não permitiram a realização de mais ensaios.

## 7 CONCLUSÃO

Foi possível concluir que o processo de liofilização promoveu uma grande redução na umidade e na atividade de água da manga, resultando em um produto em que o crescimento microbiano e as reações químicas e bioquímicas provenientes da presença de água no alimento não ocorrerão.

Os teores de vitamina C reduziram significativamente com o processo de liofilização, devido à alta porosidade promovida pelo processo, expondo o produto ao oxigênio, e possivelmente devido à formação de grandes cristais de gelo durante o congelamento, resultando em grande destruição do tecido celular e exposição do nutriente ao oxigênio. Uma possível maneira de evitar essa perda significativa na vitamina C seria a utilização de atmosfera inerte para a quebra de vácuo do equipamento utilizado na liofilização e posterior envase das amostras em embalagens laminadas a vácuo.

A dureza das amostras mostrou-se proporcional a espessura, ou seja, quanto mais espessa a amostra, maior a dureza da mesma.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, Nicole Gualberto. **Secagem e Liofilização de Manga: Características físico-químicas, nutricionais e sensoriais**. 2006, 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande: PB, junho 2006.

ALMEIDA, P.; MEIRA, T.; ALENCAR, L. C.; FREITAS, A.; HERCULANO, L. **Avaliação físico-química de pós-alimentícios de manga (*Mangifera indica* L.) de diferentes variedades obtidas pelo processo de liofilização**. Encontro nacional do programa de pós-graduação, Universidade Federal do Ceará, 2009.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. Editora Gazeta. Santa Cruz do Sul: RS, 2013. Disponível em: <https://docs.google.com/file/d/0BymH6fCV3aVuaWN6b2ILR2w3YWs/edit?pli=1>. Acesso em 23 de jan. 2014.

AQUALAB, São Paulo – Brasil, 2014. Disponível em: <http://aqualab.decagon.com.br/>. Acesso em: 15 de dezembro de 2014.

AZOUBEL, Patricia Moreira; AMORIM, M. R.; OLIVEIRA S. S. B.; BAIMA, M. A. M.; CASTRO, M. da S. Cinética de Secagem de Manga com e sem Prétratamento Ultrassônico. In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 8, 2010, Foz do Iguaçu. **Anais** Maringá: UEM: ABEQ: UNICAMP, 2010.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A. **Comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables**. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do Processamento de Alimentos**. Livraria Varela, São Paulo: SP, 3 ed., p. 5 – 6, 2001.



CASELLI, Francisco de Tarso Ribeiro; COELHO, Marcelo Iran de Souza; CARVALHO, Francisco Allan Leandro de; LOURA, Sonia Maria Amorim. Comparação de Desidratação Osmótica Seguida de Secagem a Ar Quente em Manga para a Produção de Chips. In: IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, 2009, Belém. **Anais** Belém, Pará, 2009.

CHOUDHURY, Mohammad Menhazuddin; COSTA, Tatiana Silva da. **Perdas na Cadeia de Comercialização da Manga**. 2004, 44 f. Embrapa Semi-Árido. Petrolina: PE, 1 ed., documentos 186, 2004.

CRANK, John. **The mathematics of diffusion**. Oxford: Clarendon Press, 2 ed., p 414, 1975.

CORRÊA, Natalia Guardia. **Efeito da velocidade de Congelamento sobre a Liofilização, Reidratação e Atributos de Qualidade de fatias de maçã**. 2013, 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto: SP, 2013.

FANTE, Luciane. **Estudo da cinética de branqueamento e de secagem por ar quente e liofilização do alho (*Allium sativum* L.)**. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, Porto Alegre: RS, 2011.

FAO – Food and Agriculture Organizational. **FAO Statistical Yearbook 2013 – World Food and Agriculture**. 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e03.pdf>. Acesso em 18 de fev. de 2014.

FERREIRA, A.O.; AGULHEIRO-SANTOS, M.J., BERNALTE-GARCÍA & RIBEIRO, G. Avaliação da qualidade da ameixa 'Rainha Cláudia verde'. Métodos instrumentais vs avaliação sensorial. **Revista de Ciências Agrárias**, v.30 n.1, 305 – 316, Lisboa, jan. 2007.

FILHO, Edmilson Dantas da Silva, OLIVEIRA, Aglailson Gledson Cabral de, MADUREIRA, Iremar Alves, FAUSTINO, Sérgio Nilson de. Estudo das análises

químicas e físico-químicas da polpa da manga cv. Espada. In: VII CONNEPI Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 19 a 21 de outubro de 2012, Palmas, Tocantins. **Anais** Palmas, 2012.

FIPECAFI – Fundação Instituto de Pesquisas Contábeis, Atuariais e Financeiras. **Análise Multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. Luiz J. Corrar, Edilson Paulo, José Maria Dias Filho (coordenadores), Editora Atlas S. A, 1. ed., 4. reimpr., São Paulo: SP, 2012.

FONSECA, Nelson. Mangas mais comuns no Brasil. **Portal Dia de Campo – Informação que produz**. 2014. Disponível em: <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=21166&secao=Artigos%20Especiais>. Acesso em: 12 de dezembro de 2014.

FREITAS, Maria da Conceição de Souza. **Estudo de Desidratação Osmótica como Pré-tratamento à Secagem de Manga Tommy atkins**. 2009, 118 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Centro Universitário de Belo Horizonte – UNI-BH, Belo Horizonte: MG, 2009.

GARCIA, Carolina Castilho. **Avaliação da Desidratação do Mamão utilizando Métodos Combinados**. 2012, 173 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, São José do Rio Preto: SP, Janeiro 2012.

GARCIA, C. C.; CANIZARES, D.; SILVA, K. de S.; DARROS-BARBOSA, R.; MAURO, M. A. **Utilização de métodos combinados para obtenção de mamão Formosa (*Carica papaya*) seco**. Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos, v. 30, n. 2, p. 185-196, 2012.

GARCIA, Denise Marques. **Análise de Atividade de Água em Alimentos Armazenados no Interior de Granjas de Integração Avícola**. 2004, 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Veterinária) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: RS, 2004.

GOMES, José Carlos; OLIVEIRA, Gustavo Fonseca. **Análises Físico-químicas de Alimentos**. Editora UFV, Viçosa: MG, 1. Reimpressão, p. 177 – 181, 2012.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 4. ed. São Paulo: IMESP, 2005.

KOROISHI, Erika Tomie. **Estudo do Processo de Liofilização: aplicação para suco de laranja**. 2005, 122 f. Dissertação (Mestrado de Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas: SP, Julho 2005.

KOWASLKI, M. B.; CARR, L. G.; TADINI, C. C. Parâmetros físicos e de textura de pão francês produzido na cidade de São Paulo. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2002, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Anais** do XVIII CBCTA, Porto Alegre, 2002.

MARQUES, Luanda Gimeno. **Liofilização de Frutas Tropicais**. 2008, 249 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos: SP, 2008.

MARTIM, Nelisa Sita Pires Picolotto. **Estudo das Características de Processamento da Manga (*Mangifera indica* L.) Variedade *Tommy atkins* Desidratada**. 2006, 76 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba: PR, 2006.

MOREIRA, T. B; ROCHA, É. M. F. F.; AFONSO, M. R. A; COSTA, J. M. C. Comportamento das Isotermas de Adsorção do Pó da Polpa de Manga Liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093–1098, 2013.

MURPHY, E. W., CRINER, P. E., & GRAY, B. C. (1975). Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 23, 1153–1157, 1975.

SILVA, Denise Aparecida da; CALISTO, Sonia Maria Marques. **Avaliação Físico-química e Sensorial da Manga *Tommy atkins* Submetidas à Desidratação.** 2013, 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia de Alimentos - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Londrina: PR, 2013.

SILVA, Paula Porreli Moreira da. **Conservação de polpa de juçara (*Euterpe edulis*) submetida à radiação gama, pasteurização, liofilização e atomização.** 2013, 255 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Universidade de São Paulo, Piracicaba: SP, 2013.

SILVA, D. F. P.; SIQUEIRA, D. L.; PEREIRA, C. S.; SALOMÃO, L. C. C.; STHUIVING, T. B. Caracterização de frutos de 15 cultivares de mangueira na zona da mata mineira. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 783-789, 2009.

SOARES, Lenilto Santos. **Secadores de Alimentos.** 2009. Universidade Federal de Sergipe. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAtPMAL/secadores-alimentos>. Acesso em 15 de dezembro de 2014.

STABLE MICRO SYSTEM. Texture analyzis – Replicating consumers preferences. Disponível em: <http://www.stablemicrosystems.com/rcp/rcp.htm> Acesso em: 20/11/2014.

STATSOFT, South America. Statistica versão 10. Barcelona, Espanha. StatSoft South America, 2014. Disponível em: <http://www.statsoft.com.br/pt-BR/>. Acesso em: 12 de dezembro de 2014.

TATTINI JUNIOR, V.; PARRA, D. F.; PITOMBO, R. N. M. Influência da taxa de congelamento no comportamento físico-químico e estrutural durante a liofilização da albumina bovina. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, vol. 42, n. 1, jan./mar., 2006.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**, v. 83, p. 509-517, 2007.

VIEIRA, Ana Paula. **Efeitos das Condições de Congelamento Sobre Atributos de Qualidade de Fatias de Abacaxi Liofilizado**. 2010, 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, São José do Rio Preto: SP, Janeiro 2010.

WENDT, Sheila Cristina. **Análise da mudança de cor em concretos submetidos a altas temperaturas como indicativo de temperaturas alcançadas e da degradação térmica**. 2006, 186 f. Dissertação Mestrado em Engenharia – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: RS, p.186, 2006.

XAVIER, I. F.; LEITE, G. A.; MEDEIROS, E. V.; MORAIS, P. L. D.; LIMA, L. M. Qualidade Pós-colheita da Manga ‘Tommy Atkins’ Comercializada em Diferentes Estabelecimentos Comerciais no Município de Mossoró-RN. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 9-13, out.-dez. 2009.

ZOTARELLI, Marta F. **Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem**. 2014, 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis: SC, 2014.