



**PROPRIEDADES FÍSICAS,  
TERMOFÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS  
DE PURÊ DE BANANA ADICIONADO  
DE AÇÚCAR**

**GIULIANO SANTOS PINHEIRO**

**2004**

**GIULIANO SANTOS PINHEIRO**

**PROPRIEDADES FÍSICAS, TERMOFÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE  
PURÊ DE BANANA ADICIONADO DE AÇÚCAR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Paulo José do Amaral Sobral

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2004

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de  
Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Pinheiro, Giuliano Santos

Propriedades físicas, termofísicas e físico-químicas de purê de banana  
adicionado de açúcar / Giuliano Santos Pinheiro. -- Lavras : UFLA, 2005.  
141 p. : il.

Orientador: Paulo José do Amaral Sobral

Tese (Doutorado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Alimento de umidade intermediária. 2. Condutividade térmica. 3.  
Desidratação. 4. Calor específico. 5. Difusividade térmica I. Universidade Federal  
de Lavras. II. Título.

CDD-641.34772

**GIULIANO SANTOS PINHEIRO**

**PROPRIEDADES FÍSICAS, TERMOFÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE  
PURÊ DE BANANA ADICIONADO DE AÇÚCAR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 05 de março de 2004

Profa. Rosemary Aparecida Carvalho	USP
Profa. Fabiana Queiroz Ferrua	UFLA
Profa. Roberta Hilsdorf Piccoli	UFLA
Prof. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas	UFLA

Prof. Paulo José do Amaral Sobral  
USP  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

Ofereço aos meus pais Alcides e  
Isabel, aos meus irmãos Bel,  
Alexandre, José Antônio e Jaqueline.

À razão de tudo, Augusto e Ana Carla,  
**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade de realização do curso.

À Universidade de São Paulo (USP), ao Departamento de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, pela oportunidade.

À FAPEMIG-FIEMG, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Paulo José do Amaral Sobral, por tudo aquilo que fez por mim, pela amizade, ensinamentos, orientação e paciência.

Ao Professor Prabir Kumar Chandra, pela amizade, companheirismo e ensinamentos.

À Ana Mônica Habitante pela ajuda e orientações.

Aos estagiários do Laboratório de Tecnologia de Alimentos – USP pela ajuda.

Às amigas Angélica e Nívea pelo companheirismo.

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram, meu sincero agradecimento.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Desidratação.....	3
2.2 Alimentos de Umidade Intermediária.....	7
2.3 Propriedades físicas de alimentos.....	9
2.3.1 Densidade.....	9
2.3.2 Umidade.....	11
2.3.3 Textura.....	12
2.3.4 Cor.....	14
2.3.5 Atividade de água ( $a_w$ ).....	16
2.4 Propriedades termofísicas de alimentos.....	20
2.4.1 Calor específico ( $C_p$ ).....	20
2.4.2 Condutividade térmica ( $k$ ).....	22
2.4.3 Difusividade térmica ( $\alpha$ ).....	24
2.5 Qualidade de produtos desidratados.....	24
2.5.1 Alterações na cor.....	25
2.5.2 Alterações no sabor.....	28
2.5.3 Alterações na textura.....	29
2.6 Banana e Purê de banana.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Matéria prima.....	33
3.2 Tratamentos.....	34
3.3 Desidratação em estufa.....	35

3.4 Análises físicas.....	37
3.4.1 Umidade.....	37
3.4.2 Densidade .....	38
3.4.2.1 Densidade de amostras com umidade acima de 20% .....	39
3.4.2.2 Densidade de amostras com umidade abaixo de 20% .....	40
3.4.3 Atividade de água.....	40
3.4.4 Textura.....	41
3.4.5 Cor.....	42
3.5 Análises termofísicas.....	43
3.5.1 Condutividade térmica.....	43
3.5.2 Calor específico.....	44
3.5.3 Difusividade térmica.....	45
3.6 Análises físico-químicas.....	46
3.6.1 pH.....	46
3.6.2 Acidez titulável (AT).....	46
3.6.3 Sólidos solúveis totais (S.S.T.).....	46
3.7 Delineamento estatístico.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1 Caracterização da matéria-prima.....	47
4.2 Propriedades físicas de purê de banana.....	47
4.2.1 Umidade ( $U_{bu}$ ).....	47
4.2.2 Densidade ( $\rho$ ).....	49
4.2.3 Atividade de água ( $a_w$ ).....	56
4.2.4 Textura.....	62
4.2.4.1 Dureza (Análise de Perfil de Textura TPA) .....	62
4.2.4.2 Coesividade (TPA) .....	68
4.2.4.3 Adesividade (TPA) .....	71
4.2.4.4 Gomosidade (TPA) .....	77

4.2.5 Diferença de cor ( $\Delta E^*$ ).....	83
4.3 Propriedades termofísicas de purê de banana.....	91
4.3.1 Condutividade térmica (k).....	91
4.3.2 Calor específico (Cp).....	99
4.3.3 Difusividade térmica ( $\alpha$ ).....	107
4.4 Propriedades físico-químicas de purê de banana.....	115
4.4.1 Acidez titulável (A.T.).....	115
4.4.2 pH.....	121
4.4.3 Sólidos solúveis totais (S.S.T.).....	127
5 CONCLUSÕES.....	134
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135

## RESUMO

PINHEIRO, Giuliano Santos. **Propriedades Físicas, Termofísicas e Físico-Químicas de Purê de Banana Adicionado de Açúcar**. 2004. 140 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*

O objetivo deste trabalho foi avaliar experimentalmente o comportamento das propriedades físicas, termo-físicas e físico-químicas de purê de banana em diversas condições de umidade, temperatura, adição de açúcar, e obter parâmetros para modelos preditivos. Para o estudo das propriedades físicas e físico-químicas, o purê foi submetido à adição de açúcar (0, 5, 10, 15 e 20%) e desidratação para obtenção de várias umidades (15, 30, 45, 60 e 75%). Para o estudo das propriedades termofísicas, o purê de banana foi ainda aquecido até atingir diversas temperaturas. A adição de açúcar promoveu um efeito significativo na diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) e acidez total titulável (ATT), onde foi observado um decréscimo destas em função do aumento na concentração de açúcar. Com a variação da umidade do purê de 15 para 75%, observou-se um decréscimo na densidade ( $\rho$ ) de 1,320 para 0,971 kg/m<sup>3</sup>; na dureza de 9661,15 para 17,32 g; na adesividade de 2555,7 para 21,44 g.s; na gomosidade de 3817,63 para 33,91 g; na  $\Delta E^*$  de 26,03 para 0; na ATT de 1,084 para 0,682 % e nos sólidos solúveis totais de 69,50 para 24,83 °B. De forma contrária, observou-se um aumento na atividade de água ( $a_w$ ) de 0,700 para 0,993 e no pH de 4,48 para 4,77. A condutividade térmica variou de 0,44 para 0,73 W/m<sup>2</sup> °C quando a temperatura aumentou de 10 para 80°C no purê sem adição de açúcar e sem desidratação (umidade de 75%), e aumentando de 0,28 para 0,44 W/m<sup>2</sup> °C quando a umidade variou de 15 para 75%. A temperatura causou um efeito semelhante no calor específico ( $C_p$ ), que aumentou de 3,436 para 3,775 kJ/kg°C com o aumento de 20 para 80°C no purê sem adição de açúcar e sem desidratação. O aumento na umidade de 15 para 75% promoveu um aumento no  $C_p$  (medido à 20°C) de 2,304 para 3,436 kJ/kg°C no purê sem adição de açúcar. A umidade quando aumentada de 15 para 75% promoveu um aumento na difusividade térmica de 0,089 para 0,143 x 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s no purê sem adição de açúcar e calculada para uma temperatura de 30°C. O aumento na concentração de açúcar promove uma maior conservação da cor do purê, menor  $a_w$  e dureza. A desidratação a níveis mais altos produz uma diminuição da  $a_w$ ,  $C_p$  e aumento da  $\rho$ , adesividade, gomosidade, ( $\Delta E^*$ ) alteração na cor e dureza.

---

Orientador: Paulo José do Amaral Sobral - USP

## ABSTRACT

PINHEIRO, Giuliano Santos. **Physical, Thermo physical and Physicochemical Properties of Banana Puree Added with Sugar.** UFLA, 2004. 140p (Doctorate thesis in Food Science).

The objective of this work was evaluate experimentally the behavior of physical, thermo physical and physicochemical properties of banana puree under diverse conditions of moisture, temperature, adding of sugar and to obtain parameters for predictive models. The puree was submitted to addition of sugar (0, 5, 10, 15 and 20%) and dehydration to obtain various moistures (15, 30, 45, 60 and 75%) in order to study the physical and physicochemical. The banana puree was further warmed until get diverse temperature in order to study the thermo physical properties. Addition of sugar caused a significant effect on the color difference ( $\Delta E^*$ ) and total titratable acidity (TTA) where a reduction in these was observed as a function of increase in the sugar concentration. With the variation of moisture of puree from 15 to 75%, a decrease in the density ( $\rho$ ) from 1.320 to 0.971 kg/m<sup>3</sup>; in the hardness from 9661.15 to 17.32g; in the adhesiveness from 2555.7 to 21.44g.s; in the gummosity from 3817.63 to 33.91g; in the color from 26.03 to 0; in the TTA from 1.084 to 0.682% and in the total soluble solids from 69.50 to 24.83<sup>0</sup>B. On the contrary, it was observed an increase in the water activity ( $a_w$ ) from 0.700 to 0.993 and in the pH from 4.48 to 4.77. Thermal conductivity varied from 0.44 to 0.73 W/m<sup>2</sup> °C, when the temperature increased from 10 to 80<sup>0</sup>C in the puree without addition of sugar and without dehydration (at 75% moisture) and increased from 0.28 to 0.44 W/m<sup>2</sup> °C, when the moisture varied from 15 to 75%. The temperature promoted a similar effect on specific heat, which increased from 3.436 to 3.775 kJ/kg<sup>0</sup>C, with the increase from 20 to 80<sup>0</sup>C without addition of sugar and without dehydration. The increase of moisture from 15 to 75% promoted an increase in the specific heat,  $C_p$  (measured at 20 °C) from 2.304 to 3.436 kJ/kg<sup>0</sup>C in the puree without the addition of sugar. When the moisture increased from 15 to 75% it caused an increase in thermal diffusivity from 0.089 to 0.143 x 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s in the puree without addition of sugar and calculated at a temperature of 30<sup>0</sup>C. The increase in the sugar concentration caused a major conservation of color of the puree, lower  $a_w$  and hardness. The drying at higher levels produced a reduction of  $a_w$ ,  $C_p$  and increase of  $\rho$ , adhesiveness, gummosity, alteration in color and hardness.

---

Adviser: Paulo José do Amaral Sobral - USP

## 1 INTRODUÇÃO

A banana é uma fruta tropical com excelentes características de aroma, sabor e textura, tendo grande aceitação no mercado mundial, seja para consumo *in natura* ou industrializado. O processamento da banana se apresenta como uma alternativa para o aproveitamento dos frutos excedentes ou fora de alguns padrões exigidos pelo mercado, possibilitando a diminuição de perdas pós-colheita, representando uma forma de aumentar a vida de prateleira bem como agregar valor ao produto. As cultivares do sub-grupo Cavendish, preferidas pelos mercados americano e europeu, apresentam propriedades físicas e sensoriais adequadas para a industrialização.

O comportamento dos alimentos que são submetidos a processamentos térmicos é determinado, em grande parte, por suas propriedades termofísicas e físicas. O conhecimento dessas propriedades torna possível o desenvolvimento de equipamentos e a otimização de operações de processamento de alimentos, que envolvam transferência de calor, além de promover o uso eficiente de plantas de equipamentos já existentes. As propriedades termofísicas de maior interesse são a condutividade térmica, o calor específico e a difusividade térmica. Essas propriedades encontram-se intimamente ligadas à umidade e variam drasticamente com a variação desta e da temperatura.

A utilização de açúcar na conservação de alimentos é um método antigo e bastante conhecido. A adição de açúcar promove um aumento da pressão osmótica no produto, com conseqüente redução da água disponível no alimento, agindo indiretamente sobre os microrganismos contaminantes. Porém, ainda é muito pouco estudada a relação existente entre a adição de açúcar e as propriedades termofísicas e físicas dos alimentos.

São vários os trabalhos publicados que envolvem o estudo do comportamento das propriedades termofísicas dos alimentos, vários modelos de predição e novos métodos de determinação são propostos. Entretanto, são poucos os dados relativos às propriedades termofísicas de polpas e purês de frutos tropicais.

## **OBJETIVOS**

Diante da constatada escassez de dados relativos às propriedades termofísicas e físicas de purê de banana e, ainda, a inexistência desses em função da adição de açúcar, o presente trabalho teve como objetivos principais:

- analisar o comportamento do calor específico, condutividade térmica e difusividade térmica em função de umidade, adição de açúcar e temperatura;
- determinar o comportamento da atividade de água em função de umidade e adição de açúcar;
- avaliar o efeito da desidratação e adição de açúcar na textura, cor e propriedades físico-químicas de purê de banana;
- validar modelos matemáticos preditores para as grandezas estudadas;
- promover um estudo detalhado do comportamento do purê de banana sob efeito da adição de açúcar, variação da umidade e da temperatura em desidratação convencional realizada em estufa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Desidratação

Desde que as hortaliças, as frutas, os ovos e leite são obtidos e são elaborados, neles se iniciam processos físicos, químicos e biológicos que alteram suas qualidades sensoriais, nutricionais e sanitárias. O grau dessa alteração está condicionado às inúmeras causas ligadas à composição dos alimentos, à presença de enzimas e de microrganismos e a outros fatores capazes de desencadear, neutralizar ou frear o processo de deterioração.

Os frutos, entre outros alimentos, em seu estado "*in natura*" apresentam grande quantidade de água. Esta água como a temperatura, presença de oxigênio e outros fatores, promovem um ambiente propício ao crescimento de fungos e organismos responsáveis pela degradação do alimento armazenado, bem como reações químicas internas (Chung & Chang, 1982).

A água é um dos componentes dos alimentos que os microrganismos mais necessitam para o seu desenvolvimento. A redução da água livre do alimento eleva a pressão osmótica do meio com conseqüente redução do desenvolvimento microbiano. Além de interferir no metabolismo microbiano, a redução da água livre reduz a atuação de enzimas responsáveis por determinadas alterações nos alimentos (Silva, 2000).

O conceito de umidade hoje difere pouco do que prevalecia até algum tempo atrás. Não é o conteúdo de água ou de umidade que dá a idéia da disponibilidade aos agentes deteriorantes e sim a sua condição no alimento. Muitas vezes determinado alimento com uma maior umidade tem menos água disponível que outro com menor umidade. Isto depende das condições em que esta água está ligada aos componentes do alimento. Para se ter a idéia correta da

atividade de água, deve-se avaliar a disponibilidade da água nos alimentos, independentemente do seu valor quantitativo (Silva, 2000).

Dentre vários métodos de conservação de frutos pode-se citar a desidratação, que consiste na remoção parcial da água contida nele. Com a redução nos teores de umidade constata-se diminuição na atividade enzimática bem como menor taxa de proliferação dos microrganismos causadores da deterioração (Chung & Chang, 1982).

A desidratação pode ser definida como sendo uma operação na qual uma separação líquido-sólido é alcançada por fornecimento de calor, com resultante separação da parcela líquida. Embora na maioria dos casos a água é o líquido que se deve remover, existem casos em que se utiliza o mesmo processo para obter evaporação de solventes (Land, 1991).

Outro objetivo que se torna importante na desidratação é a sensível diminuição no volume, visto que o fruto "*in natura*" contém quantidade maior de água. Além da diminuição do volume, o fruto "*in natura*" requer cuidados especiais no seu transporte e armazenamento devido a sua estrutura frágil, onde a desidratação promove aumento na estabilidade física proporcionada por maior maleabilidade, facilitando consideravelmente o transporte (Chung & Chang, 1982).

A conservação de frutos e hortaliças mediante desidratação apresenta-se como importante desafio pois, devido sua constituição, a eliminação da água deve ser realizada de modo que o dano sobre sua qualidade seja mínimo, resultando num produto seco que possa ser re-hidratado até tornar-se um produto que se aproxime ao máximo da qualidade original. Para se obter estes resultados com produtos vegetais desidratados os processos de transferência de calor e massa devem ser otimizados. Para o desenvolvimento do processo é necessária cuidadosa análise do efeito destes fenômenos de transporte na estrutura do

alimento. Só mediante conhecimento e análise destes processos poderá obter-se um alimento de ótima qualidade (Singh & Heldman, 1998).

A desidratação pode ser realizada segundo várias técnicas, mas basicamente os princípios de secagem são os mesmos. Trata-se da utilização da energia térmica para remoção de parte ou quase a totalidade da água do produto ou dos frutos (Travaglini et al., 2001), sendo esta água retirada da superfície mediante ventilação forçada ou mesmo por convecção natural.

A velocidade e o tempo de secagem, segundo Holdsworth (1971), são afetados pelas propriedades físicas do produto (tamanho e forma), pela disposição do produto no equipamento de secagem (espessura da camada do produto), condições de secagem (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar), características do equipamento de secagem (mecanismo de transferência de calor), composição química e estrutura do produto. O processo de desidratação pode ser dividido em dois: período de velocidade constante e os períodos de velocidade decrescente (Figura 1).

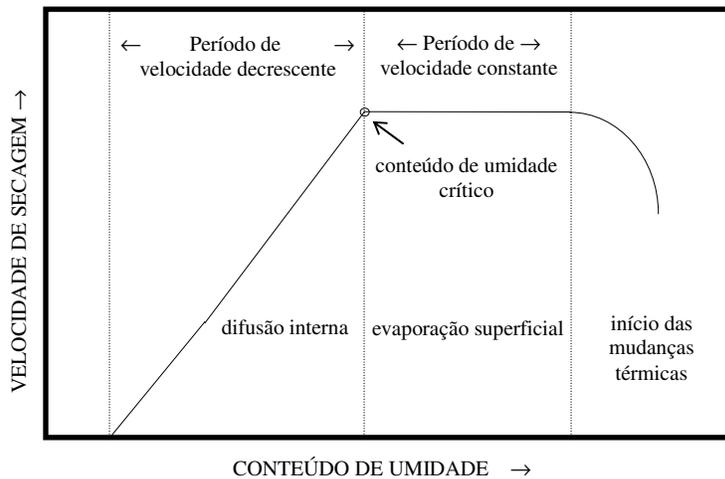


FIGURA 1 Curva de velocidade de secagem indicando os períodos principais da secagem, segundo Holdsworth (1971).

Após pré-aquecimento inicial, o período de taxa constante de secagem se inicia. Neste período, constata-se excesso de umidade na camada mais externa do produto, e a evaporação ocorre pela retirada desta umidade superficial. Por sua vez, o movimento das partículas de água do interior até a camada externa se dá pelo processo de difusão dessas moléculas. Este período permanece enquanto a umidade existente é capaz de abastecer a camada superficial.

O período de velocidade constante está caracterizado pela evaporação, devido à migração de água desde as camadas mais profundas até a superfície, enquanto exista umidade suficiente para manter o excesso desta na superfície (Elustondo et al., 2001).

Segundo Puiggali (1993), citado por Hansmann et al. (1998), o período de taxa constante de secagem é caracterizado por abundante quantidade de água livre na superfície do produto e regime isotérmico onde a temperatura do produto se aproxima da temperatura de bulbo úmido do ar de secagem. Esta fase

continua enquanto o suprimento de água da superfície de evaporação é mantido na mesma taxa da evaporação de água.

No período de velocidade decrescente, como o teor de umidade é diminuído pela desidratação, a velocidade do movimento interno de umidade decresce e a velocidade de desidratação cai mais rapidamente que no período anterior. Em determinado ponto o teor de umidade do produto atinge o conteúdo de umidade de equilíbrio para determinada condição de desidratação, cessando a transferência de massa (Chung & Chang, 1982).

## **2.2 Alimentos de Umidade Intermediária (AUI)**

Alimentos de umidade intermediária (AUI) são aqueles com teor de umidade entre alimentos secos, que podem ser armazenados em condições de temperatura ambiente, e alimentos úmidos, os quais necessitam de um ambiente controlado como refrigeração e outros processos de conservação (Erickson, 1982).

Na França, o comitê para alimento de umidade intermediária do “Centre National de Coordination des Etudes et Recherches sur la Nutrition et l’Alimentation” propôs a definição para os AUI’s, “produtos alimentícios de textura macia, sujeitos a um ou mais tratamentos tecnológicos, consumíveis sem mais preparação e com estabilidade assegurada de alguns meses sem esterilização térmica, nem refrigeração ou congelamento, mas ajustamento adequado de suas formulações: composição, pH, aditivos e principalmente atividade de água a qual deve ser aproximadamente 0,69-0,84 (medida a 25°C).

Segundo Karel (1975), tradicionalmente os alimentos de umidade intermediária têm teores de umidade entre 10 e 40% (base úmida) e atividade d’água variando de 0,65 a 0,90. De acordo com Erickson (1982), a faixa de atividade de água dos alimentos de umidade intermediária varia de autor para autor com valores de: 0,70-0,85 (Brockman, 1970); 0,60-0,85 (Plitman et al.,

1973); 0,70-0,90 (Karel, 1975); e 0,60-0,90 (Collins et al., 1972). Corry (1976) aponta que a faixa de atividade de água de 0,70-0,90 para alimentos de umidade intermediária é razoável porque alimentos com atividade d'água abaixo de 0,70 são estáveis por tempos consideravelmente longos, como semi desidratados. Alimentos com uma atividade de água de 0,90 ou abaixo não propiciam o crescimento e, ou, produção de toxinas por algumas bactérias.

Segundo Taoukis et al. (1988), as propriedades características dos alimentos de umidade intermediária oferecem número elevado de vantagens sobre os alimentos secos convencionalmente ou os alimentos com alta umidade. No processamento, os alimentos de umidade intermediária requerem menos energia que os alimentos secos. Na distribuição e estocagem os AUIs, quando comparados aos alimentos com alta umidade, não necessitam de tantos cuidados especiais como refrigeração, congelamento ou mesmo enlatamento. Também a tecnologia dos alimentos de umidade intermediária pode potencialmente levar a produtos com maior retenção de nutrientes e substâncias promotoras de qualidade sensorialmente percebidas, quando comparados a tratamentos térmicos mais intensos tais como alguns métodos de desidratação. Sendo moles e facilmente mastigáveis sem a sensação oral de secura, os alimentos de umidade intermediária são disponíveis para consumo direto sem preparação, oferecendo conforto e mais economia de energia. Devido a sua umidade relativamente baixa, estes alimentos são concentrados em peso e massa e possuem alto teor de nutrientes e densidade calórica. Devido a sua plasticidade, podem ser moldados em blocos de geometria uniforme para fácil embalagem e armazenamento.

Alimentos de umidade intermediária podem ser armazenados sem precauções especiais por alguns meses. Embora a embalagem apropriada seja um fator no prolongamento de sua vida de prateleira, a embalagem necessária

para os AUI's não necessita de especificações tão rigorosas como muitas outras categorias de alimentos.

Essas vantagens características dos AUI's são particularmente compatíveis com as necessidades dos consumidores modernos por alimentos convenientemente de alto valor nutricional. Segundo Brockman (1970) os AUI's são atrativos especialmente onde a carga de abastecimento, a habilidade de reabastecimento e o tempo de preparação são fatores limitantes, como em situações militares.

## **2.3 Propriedades físicas de alimentos**

### **2.3.1 Densidade**

A densidade (Equação 2.1) é definida como sendo a massa por unidade de volume, sendo suas dimensões (massa)/(comprimento)<sup>3</sup>. A unidade no sistema internacional de unidades é o kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

A densidade é indicativo de como a matéria está organizada em seu corpo, assim, os materiais com estrutura molecular mais compacta têm maior densidade (Singh & Heldman, 1998).

Segundo Chen (1993) citado por Alvarado (2001), em alimentos líquidos como sucos a densidade se diferencia em:

- Densidade absoluta, quando a determinação é realizada no vácuo, sem que exista o efeito de flutuação do ar .
- Densidade aparente, quando a determinação é realizada na presença do ar, em consequência se deve fazer a correção que inclua o efeito da

temperatura, pressão e umidade relativa do ar para expressar como densidade absoluta.

Informações como a variação da densidade com relação à concentração de sólidos solúveis e temperatura são muito importantes para a indústria de alimentos e particularmente para produtos derivados de frutos, estas são essenciais para o projeto de otimização de equipamentos onde são incluídos transferência de calor e transporte de fluídos (Saravacos & Kostaropoulos, 1995).

Um estudo apresentado por Tsen & King (2002) mostra uma diminuição na densidade de purê de banana com o aumento da temperatura e diminuição da concentração de sólidos solúveis. Foi então obtido um modelo polinomial quadrático (Equação 2.2), derivado dos valores colhidos experimentalmente, em função de temperatura  $T$  [°C] e concentração de sólidos solúveis  $C$  [°Brix], onde a densidade varia linearmente com a temperatura e de forma quadrática em relação à concentração de sólidos solúveis.

$$\rho = 1053,39 - 1,4421T + 0,2256C + 0,0864C^2 \quad (2.2)$$

$$R^2 = 0,9992$$

Vários trabalhos apresentam outro fator que torna a densidade uma variável de extrema importância no estudo de desidratação de alimentos. Conforme mostrado por Chun et al. (2000), a densidade está intimamente ligada às propriedades térmicas de alimentos. Eles observaram que o aumento da densidade de 800 para 1000 kg/m<sup>3</sup> provocou um aumento na condutividade térmica de arroz cozido de 1,5 vezes, mostrando que a condutividade é diretamente proporcional à densidade.

### 2.3.2 Umidade

A umidade indica a quantidade de água presente em uma amostra, podendo ser expressa em base seca ou base úmida.

A umidade na base úmida ( $U_{bu}$ ) é a quantidade de água por unidade de massa de amostra úmida (Equação 2.3).

$$U_{bu} = \frac{\textit{massa de água}}{\textit{massa de amostra úmida}} \quad (2.3)$$

A umidade na base seca ( $U_{bs}$ ) é a quantidade de água por unidade de sólido seco na amostra, expressa conforme Equação 2.4.

$$U_{bs} = \frac{\textit{massa de água}}{\textit{massa de sólido seco}} \quad (2.4)$$

Através de substituições matemáticas chega-se a relações entre  $U_{bs}$  e  $U_{bu}$  Equações 2.5 e 2.6, respectivamente.

$$U_{bu} = \frac{U_{bs}}{U_{bs} + 1} \quad (2.5)$$

$$U_{bs} = \frac{U_{bu}}{1 - U_{bu}} \quad (2.6)$$

Nas equações anteriores a umidade está expressa como fração de massa. Deve ser advertido que quando a umidade é expressa na base seca podem ser encontrados valores superiores a 100% se a quantidade de água presente na amostra é superior à quantidade de sólido seco presente (Singh & Heldman, 1998).

### **2.3.3 Textura**

A textura pode ser considerada como uma manifestação das propriedades reológicas de um alimento. É um atributo importante de qualidade que influi nos hábitos alimentares e preferência do consumidor. A importância da textura na qualidade do alimento varia amplamente em função do tipo. Desta forma, naqueles casos onde a textura é fator crítico na qualidade de alimentos, tais como batatas fritas, flocos de milho, bolachas e outros produtos crocantes, existe grande interesse em medir a textura através de métodos quantitativos e não somente qualitativos (Morgado & Abreu, 2001).

A medida das propriedades mecânicas tem sempre como finalidade estimar ou medir a magnitude de algum aspecto de textura dos alimentos. A textura dos alimentos é um dos atributos primários que confirma sua qualidade sensorial. Sua definição não é fácil pois é uma sensação complexa, resultado da ação de estímulos de natureza distinta. Pode ser definida como o conjunto de propriedades reológicas e de estrutura (geométrica e de superfície) de um produto, perceptíveis pelos receptores mecânicos, o tato e em certos casos, pelos visuais e auditivos (Duran et al., 2001).

A evolução tecnológica veio aperfeiçoar métodos e equipamentos, chegando ao mercado texturômetros mais sensíveis, versáteis, baratos e de pequenas dimensões que realizam testes imitativos desenvolvidos sob condições que simulam aos realizados na prática.

A principal dificuldade com estes equipamentos, em muitos casos, é que se desconhece exatamente qual propriedade está sendo medida e surge então uma diversidade de parâmetros que às vezes são erradamente interpretados criando muita confusão.

Uma análise que está sendo muito utilizada como forma de obtenção de alguns parâmetros de textura em alimentos é a prova de dupla compressão, chamada de Análise de Perfil de Textura (TPA), desenvolvida por um grupo de

pesquisa da “*General Foods Corporation*” nos anos 60, mediante o uso de um texturômetro de fabricação própria para obter vários parâmetros de textura. Este teste tem mostrado elevada correlação existente entre as medições por esta técnica e a análise sensorial (Morgado & Abreu, 2001). A Figura 2 mostra uma curva generalizada de uma TPA de onde se pode observar alguns dos principais parâmetros obtidos pela análise.

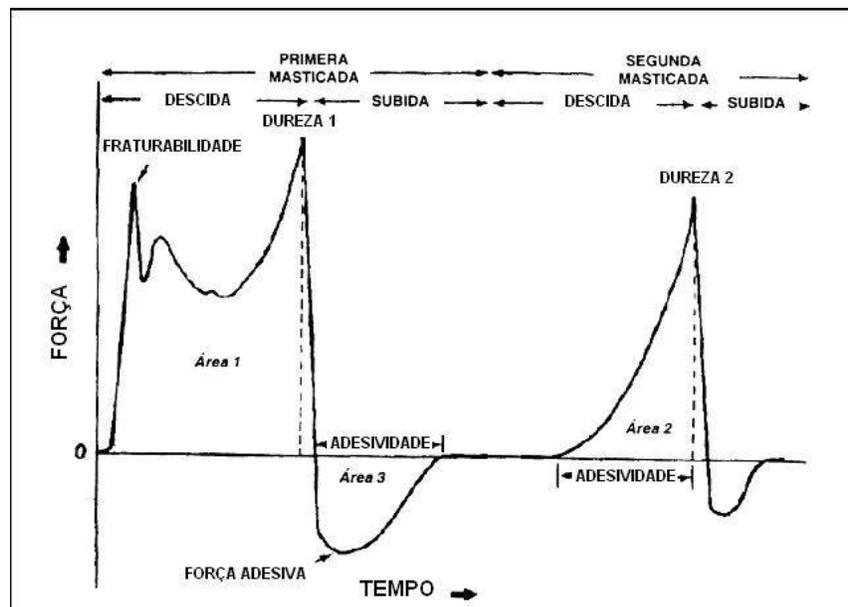


FIGURA 2 Curva generalizada de Análise de Perfil de Textura (Morgado & Abreu, 2001).

Os parâmetros da Análise de Perfil de Textura que podem ser obtidos são: dureza, fracturabilidade, elasticidade, coesividade, adesividade, gomosidade e mastigabilidade. Na literatura científica, podem ser encontrados muitos artigos

publicados onde aparecem resultados destes parâmetros para diferentes alimentos.

Segundo Duran et al. (2001), os parâmetros da avaliação por TPA são definidos da seguinte forma:

- Dureza: força necessária para alcançar uma deformação pré-selecionada, calculada como sendo o pico de máxima força aplicada no primeiro ciclo de compressão;
- Coesividade: razão entre a área positiva do segundo e a área positiva do primeiro ciclo;
- Adesividade: a área negativa do primeiro ciclo completo de compressão que representa o trabalho necessário para desprezar a sonda da superfície da amostra;
- Gomosidade: aplicada em alimentos semi-sólidos, é calculada como o produto da dureza pela coesividade.

#### **2.3.4 Cor**

Pode-se definir a cor no sentido físico como a distribuição de energia de luz refletida ou transmitida por um objeto ou alimento. Esta energia está distribuída em espectro eletromagnético contínuo, em intervalos que vão desde comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de  $10^{-5}$  nm até  $\lambda$  de  $10^{17}$  nm (Jiménez & Gutiérrez, 2001).

A porção do espectro eletromagnético, que é sensível ou visível ao olho humano (380 a 770 nm), só é uma pequena porção deste espectro. Do ponto de vista químico, costuma-se pensar na absorção de energia desde o ultravioleta (100 a 380 nm) até o infravermelho (770 a  $10^6$  nm) como sendo o espectro. Portanto, só a energia que corresponde ao espectro visível é a que contribui com a percepção de cor (Jiménez & Gutiérrez, 2001).

#### 2.3.4.1 Medição de cor em alimentos

##### a) Sistema CIE

A fim de normatizar a medição da cor, em 1931 a CIE (Commision Internationale des l' Eclairage) definiu o espaço físico de cores fundado na teoria da percepção tricromática de Young, baseando-se em fontes padrão de iluminação, condições exatas de observação, unidades apropriadas e curvas padrão para o observador. Em 1971 a CIE modificou seu sistema propondo novo espaço cromático mediante coordenadas cilíndricas de claridade ( $L^*$ ), saturação ( $C^*$ ) e tonalidade ( $H^*$ ) e de coordenadas retangulares  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  (Jiménez & Gutiérrez, 2001).

A cor de determinado alimento ou qualquer outro objeto é representada por um ponto no espaço tridimensional. As coordenadas representativas das cores estão assim distribuídas:

- o  $L^*$  que varia do preto (0) ao branco (100) representa a luminosidade, ou seja, a capacidade de refletir a luz incidida;
- o  $a^*$  varia do vermelho (+100) ao verde (-80),
- e o  $b^*$  variando do azul (-70) ao amarelo (+70).

Em trabalhos que têm como objetivo avaliar o efeito da desidratação ou qualquer outro processamento na cor de alimentos tem sido utilizado o método da diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) (Castañón et al., 2000; Bertolo et al., 2000).

As vantagens de utilizar a equação de diferença de cor  $\Delta E^*$  (Equação 2.7) para quantificar a diferença de cor entre duas amostras, segundo Jiménez e Gutiérrez (2001), deve-se à inexistência de outra equação consistente que proporcione tão altos coeficientes de correlação com respeito aos dados visuais.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.7)$$

### **2.3.5 Atividade de água ( $a_w$ )**

Um dos parâmetros mais importantes na desidratação de alimentos é a condição de equilíbrio que determina o limite do processo. Embora este valor seja parte importante do gradiente que provoca o movimento da água, a atividade de água pode ser convertida em fator determinante no estudo da estabilidade dos alimentos secos (Singh & Heldman, 1998).

Por definição, a atividade de água é a umidade relativa de equilíbrio dividida por 100. Na Figura 3 é mostrada a relação existente entre a umidade e a atividade de água para a maioria dos alimentos. A forma sigmoideal da isoterma é típica dos alimentos secos, embora sejam diferentes as isotermas de adsorção e dessorção de um mesmo produto. A umidade de equilíbrio é o limite inferior do gradiente para a eliminação de água do produto, que junto com a atividade de água determinam a estabilidade do produto armazenado (Figura 4).

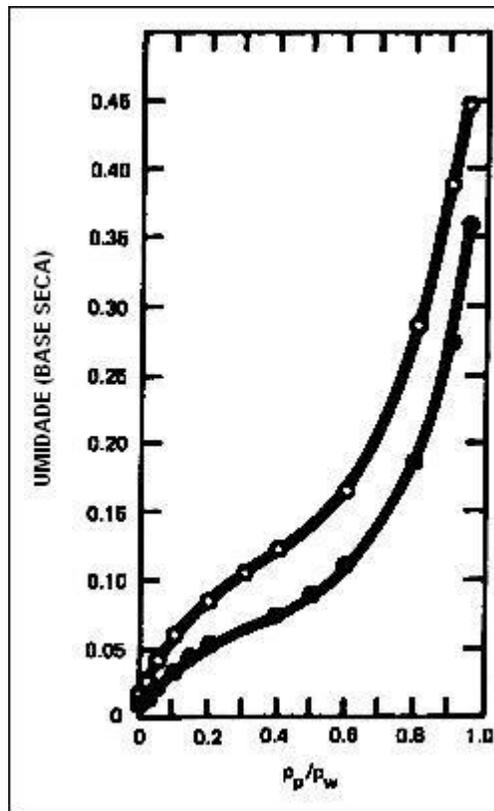


FIGURA 3 Exemplo de isoterma dessorção (○) e adsorção (●) de um alimento seco (Singh & Heldman, 1998).

Mediante a isoterma de sorção de um alimento, é possível, dado seu conteúdo de umidade, saber sua atividade de água.

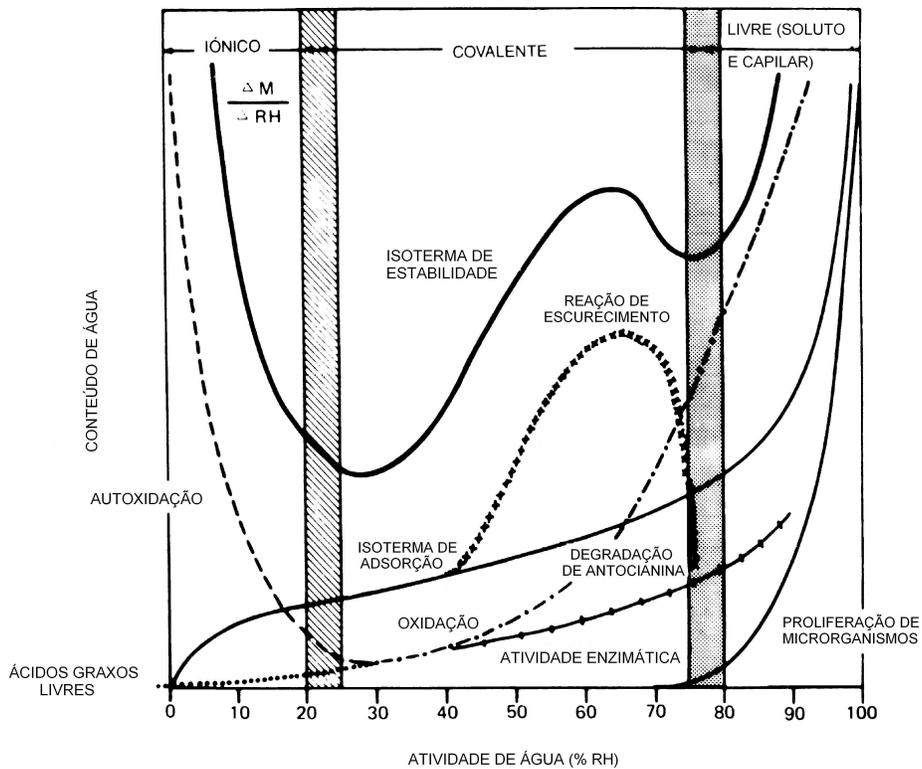


FIGURA 4 Influência da atividade de água nas velocidades de várias reações de deterioração em alimentos (Singh & Heldman, 1998).

A pressão parcial de vapor, na situação de equilíbrio, é característica de cada líquido a dada temperatura e pressão externas. Essa pressão é denominada pressão de vapor. Quando um soluto é adicionado a um líquido puro, a razão em que as moléculas se desprendem da fase líquida e passam para a fase gasosa será menor, com a conseqüente redução da pressão de vapor da solução (Silva, 2000).

A atividade de água ( $a_w$ ) de um alimento ou de uma solução se define como a relação entre a pressão de vapor da água do substrato alimentício, P

(soluto em água, na maioria dos alimentos) e a pressão de vapor do solvente  $P_0$  (usualmente água pura) à mesma temperatura (Equação 2.8).

$$a_w = P/P_0 \quad (2.8)$$

Quando a umidade relativa da atmosfera que circunda o alimento corresponde a um valor inferior de atividade de água do alimento, o produto perderá água para o ambiente. Ao passo que na situação inversa, a superfície do alimento tenderá a se tornar mais úmida.

A redução da atividade de água, em função da concentração de solutos, depende principalmente da concentração total de moléculas e de seus íons dissolvidos. Por esse motivo, as soluções têm um ponto de congelamento e uma pressão de vapor inferiores aos valores correspondentes à água pura.

A maioria dos alimentos frescos, antes de serem submetidos a qualquer tipo de tratamento, têm atividade de água superior a 0,99. Como regra geral, as bactérias necessitam de valores de atividade de água superiores aos valores requeridos pelos fungos filamentosos e pelas leveduras (Figura 4). A maioria das bactérias envolvidas na deterioração dos alimentos não se desenvolvem em atividade de água inferiores a 0,91, enquanto que os fungos deterioradores são capazes de crescer em valores de atividade de água tão baixos como 0,80. Com relação às bactérias envolvidas nas toxinfecções alimentares, *Staphylococcus aureus* são capazes de desenvolver em valores de atividade de água até 0,86, enquanto que o *Clostridium botulinum* não se desenvolve em valores de atividade de água menores que 0,94 (Silva, 2000).

De um modo geral, os fungos filamentosos e as leveduras crescem em intervalo de atividade de água mais amplo do que as bactérias (Figura 2.4). Para o crescimento de qualquer tipo de bactéria, o valor requerido é 0,75 (bactérias halófilas), enquanto que as leveduras osmófilas e os fungos xerófilos são

capazes de se desenvolverem em atividades de água 0,61 e 0,65 respectivamente (Silva, 2000).

## **2.4 Propriedades termofísicas de alimentos**

No passado, as análises de transferência de calor no aquecimento e resfriamento de alimentos utilizavam valores uniformes e constantes das propriedades termofísicas. Estas análises eram relativamente simples e não consideravam o comportamento variável das propriedades. Atualmente, os procedimentos analíticos, cada vez mais sofisticados, consideram a variação com o tempo, temperatura e a posição das propriedades termofísicas. Por isso, o conhecimento dessas propriedades e de seu comportamento durante o processo é fator fundamental e limitante para a exatidão dos cálculos das taxas de transferência de calor.

Propriedades como calor específico, densidade, condutividade térmica são freqüentemente requeridos para condução de análises preliminares em projetos de processamento físico de alimentos. Estas propriedades são bem definidas para materiais não biológicos, mas são escassas as informações dessas propriedades térmicas em alimentos (Bhumbla et al., 1989). Estas propriedades são de grande importância para se determinar, entre outras, a taxa de transferência de calor entre o alimento e o meio e dentro do próprio alimento (Singh & Heldman, 1998).

### **2.4.1 Calor específico (Cp)**

O calor específico é definido como a quantidade de calor que é absorvida ou perdida por unidade de massa do produto para se efetuar uma variação na temperatura, sem mudança de estado (Singh & Heldman, 1998).

O calor específico pode ser à pressão constante ( $c_p$ ), e a volume constante ( $c_v$ ), que são chamados de “calores específicos principais” (Alvarado, 2001).

Em termos termodinâmicos, o calor específico à pressão constante é definido como uma função da Energia Livre de Gibbs ( $G$ ), segundo a Equação 2.9.

$$c_p = \left( \frac{\partial G}{\partial T} \right)_p \quad (2.9)$$

onde:

$c_p$ : calor específico de um dado material (J/kg °C ou J/kg K),

$\partial G$ : variação da energia ou entalpia (J),

$\partial T$ : variação da temperatura (°C),

De um modo geral, calor específico indica quanto calor é requerido para mudar a temperatura da unidade de massa de um material, ou seja, representa apenas o calor sensível (Silva, 1997).

Experimentalmente, o calor específico tem sido freqüentemente medido através do método de mistura, do calorímetro adiabático ou do calorímetro diferencial de varredura (DSC). Às vezes, a medida é feita utilizando aparatos bem simples, como os usados por Hwang & Hayakawa (1979); Kleeberg (1986); Hense (1990) e Silva (1997).

No passado, estudos mostraram a não importância das variações de propriedades termofísicas como função de temperatura e teor de umidade, porém com o avanço da tecnologia analítica, tem-se observado uma importância a este comportamento, como citado por Alvarado (1991), Chen (1985), Constenla et al. (1989) e Schmalko et al. (1997).

### **2.4.2 Condutividade térmica (k)**

A condutividade térmica de um material é a medida de sua capacidade para conduzir calor. Nos alimentos, a condutividade térmica depende principalmente da composição, mas também da presença de espaços vazios e de sua homogeneidade (Silva, 1997).

Existem várias maneiras de determinação de condutividade térmica. Esses métodos podem ser divididos em dois grupos: métodos estacionários e métodos transientes. Nos dois casos, a amostra é submetida a um fluxo de calor conhecido e a distribuição de temperatura é descrita pela equação de Fourier, para fluxo de calor numa única direção.

#### **a) Métodos Estacionários**

Estes métodos são matematicamente simples. As condições experimentais são relativamente fáceis de controlar, no entanto, atenção deve ser dada no sentido de evitar perdas de calor para a vizinhança. A desvantagem desses métodos é o longo tempo necessário para se atingir o estado estacionário. No caso de alimentos, com elevado teor de umidade, pode haver mudanças ou perda de água durante o experimento, alterando suas propriedades.

#### **b) Métodos Transientes**

Nos métodos transientes, a amostra é submetida a um fluxo de calor dependente do tempo e a temperatura é medida num ou mais pontos dentro da amostra ou na superfície. A fonte de calor pode ser colocada dentro ou fora da amostra. As equações são geralmente resolvidas analiticamente, quando requerem condições inicial e de contorno simples. Se essas condições são complexas, recorre-se às soluções numéricas.

O método da sonda de condutividade térmica pode ser utilizado tanto para sólidos quanto para líquidos. No entanto, no segundo caso, sua exatidão é

limitada, devido à diferença de densidade que pode desenvolver-se ao redor da sonda, causando correntes de convecção (Mohsenin, 1980). A sonda de condutividade térmica é geralmente construída na forma de um tubo fino, semelhante a uma agulha. No seu interior, são colocadas uma fonte de calor e termopares. Sondas desse tipo foram usadas por Delgado et al. (1997), Donsi et al. (1996), Mattea et al. (1986), Park et al. (1997), Rapusas & Driscoll (1995). Este método é o mais aplicado, pois não é necessário atingir o estado estacionário e, conseqüentemente, obtém-se, mais rapidamente, os resultados que nos métodos estacionários.

Dickerson (1965) construiu um aparato que utiliza condições de transferência de calor em regime transiente, requerendo apenas dados de tempo-temperatura. Esse aparato consiste de um banho de água agitado, no qual um cilindro (de alta condutividade térmica) contendo amostra está imerso. Termopares são instalados na superfície externa e no centro do cilindro, que tem as extremidades isoladas. Durante o ensaio, são colhidos dados de tempo-temperatura até que se atinja uma taxa constante de aumento de temperatura nos dois termopares.

As vantagens do método de Dickerson (1965) estão relacionadas ao tempo relativamente curto, necessário para a realização do experimento, quando comparado com métodos estacionários e também ao fato de não ser necessário conhecer o fluxo de calor. Utilizaram este método: Magee & Bransburg (1995); Silva (1997); entre outros, no estudo de condutividade térmica de batatas, malte e abacaxi.

Um outro fato importante na determinação da condutividade térmica é o tamanho da amostra. Estudo matemático realizado por Voudouris e Hayakawa (1994) estima que amostras com tamanho mínimo de 22mm de comprimento por 8 mm de raio podem produzir resultados bem precisos, com desvios não superiores a 2,5%.

### 2.4.3 Difusividade térmica ( $\alpha$ )

A difusividade térmica de um meio ou produto está associada à propagação do calor nele, durante as variações de temperatura com o tempo. Geralmente esta propriedade é obtida mediante relação existente entre condutividade térmica, densidade ou massa específica e calor específico. Esta relação é mostrada na equação (2.10):

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \quad (2.10)$$

onde:

$\alpha$ : difusividade térmica do produto ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),

$k$ : condutividade térmica do produto ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ),

$\rho$ : densidade ou massa específica ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),

$c_p$ : calor específico do produto ( $\text{J}/\text{kg } ^\circ\text{C}$ ).

Quando o processo de transferência de calor ocorre de forma transiente, a difusividade térmica é uma propriedade de especial importância, porque é o parâmetro que permite estabelecer a rapidez com que o calor se difunde no alimento e conhecer o grau de dependência entre temperatura e tempo. A difusividade térmica é afetada pela temperatura, composição e homogeneidade dos alimentos.

Os métodos de medição da difusividade térmica são através de aparatos como o de Dickerson (1965), Rao et al. (1975) e Suter et al. (1975).

### 2.5 Qualidade de produtos desidratados

Durante as operações de desidratação, os alimentos podem sofrer várias alterações, tanto no seu valor nutritivo como em suas propriedades sensoriais. As propriedades mais afetadas são a cor, o aroma, o sabor e a textura. Algumas

vezes essas alterações melhoram a qualidade dos produtos, mas quando a operação não é bem conduzida, essas modificações podem provocar mudanças indesejáveis a esses alimentos (Silva, 2000).

No processo de secagem, além de mudanças físicas, ocorrem principalmente mudanças químicas e bioquímicas, particularmente se as reações induzidas enzimaticamente são incluídas nessas mudanças. As transformações que ocorrem normalmente durante a secagem da fruta não são devidas à atividade de microrganismos, contudo, quando existem condições insatisfatórias de secagem ou frutas frescas inadequadas são desidratadas, pode ocorrer o desenvolvimento de microrganismos, fazendo com que o produto final resultante seja de baixa qualidade (Travaglini et al., 2001).

### **2.5.1 Alterações na cor**

A cor é o atributo de qualidade mais atrativo para o consumidor. Varia com a espécie e mesmo entre cultivares. Pode ser vermelho intenso como em maçãs, laranja brilhante como nas ‘laranjas de umbigo’, ou púrpura a preto como nos figos. Os produtos de cor forte e brilhante são os preferidos, embora a cor, na maioria dos casos, não contribua para o aumento efetivo no valor nutritivo ou qualidade comestível do produto.

Os principais pigmentos que ocorrem nos produtos vegetais são: clorofila, carotenóides e antocianinas, podendo também em alguns produtos ocorrer a formação de antoxantinas (Chitarra & Chitarra, 1990).

A cor verde dos frutos, que é devido à clorofila, é raramente presente nas frutas secas. A clorofila está em equilíbrio com seus precursores e produtos finais no tecido vivo. Quando ocorre a degeneração dos tecidos, os compostos de coloração castanha são formados. Em maçãs, evita-se a coloração verde através da “cura” antes da secagem e pelo descascamento (Travaglini et al., 2001).

As antocianinas são pigmentos avermelhados presentes nas frutas e apresentam alterações durante o processo de secagem. Alguns pigmentos de antocianinas, particularmente aqueles semelhantes à coloração rosada nas tâmaras e pêssegos são descoloridos pelo tratamento com SO<sub>2</sub>. Outros pigmentos, normalmente presentes nas frutas frescas tornam-se avermelhados quando expostas ao sol por tempo prolongado. Estas características são indesejáveis ao produto final. Os pigmentos de antocianinas das frutas sulfuradas, geralmente tornam-se castanhos pela oxidação durante a secagem. A coloração púrpura das ameixas é destruída tanto na secagem ao sol como artificial (Travaglini et al., 2001).

Segundo Silva (2000), o principal problema que ocorre com os carboidratos que se encontram nas frutas secas é o escurecimento que poderá ser ocasionado por enzimas ou processos químicos não enzimáticos. A formação da melanoidina, nome genérico de pigmentos escuros, acontecerá após uma série de reações complexas. Os antioxidantes e o SO<sub>2</sub> têm sido utilizados no tratamento de matérias-primas a serem submetidas aos processos de desidratação, para evitar a ocorrência das reações de escurecimento.

A ação da peroxidase e outras enzimas oxidativas promove o escurecimento enzimático da fruta durante a secagem, contudo pode ser evitado quando se adotam medidas preventivas. A superfície da fruta apresenta reações mais rápidas por estar mais exposta. Em escala industrial, a maioria das frutas é tratada com SO<sub>2</sub> depois do corte e antes da secagem. As maçãs, após o corte, são mergulhadas em solução diluída de SO<sub>2</sub> (sulfitação) e outras frutas são expostas aos gases provenientes da queima do enxofre por período previamente estabelecido (sulfuração). Esse tratamento previne o escurecimento enzimático pela ação redutora do SO<sub>2</sub> e pela inibição das enzimas (Travaglini et al., 2001).

O ácido ascórbico é um composto redutor moderadamente forte, de natureza ácida, forma sais neutros com bases e é muito solúvel em água. O uso

de inibidores do escurecimento em frutos processados é restrito a componentes que sejam não tóxicos e que não prejudiquem o sabor e aroma do produto. O ácido ascórbico, além de ser muito efetivo na redução do escurecimento, é também reconhecido como seguro, barato e bem aceito pelos consumidores (Miranda, 2001).

As alterações na cor da fruta seca continuam após o processo de secagem. Todas as frutas secas tornam-se mais escuras com o decorrer do armazenamento. Não existem problemas quando o produto é colocado para comercialização imediatamente, contudo para períodos prolongados de armazenamento, particularmente a temperaturas elevadas, o escurecimento enzimático deve ser considerado (Alves, 2003).

A formação de furfuraldeídos é importante no escurecimento das frutas secas. Os furfuraldeídos foram detectados nas frutas secas iniciando o processo de escurecimento ou que estavam sujeitas às condições favoráveis ao escurecimento. O rompimento de moléculas de açúcar promove a formação de outros compostos escuros a partir de açúcares, ácidos orgânicos e compostos nitrogenados (Travaglini et al., 2001).

Segundo Travaglini et al. (2001):

- a fruta seca armazenada na presença de oxigênio escurece mais rapidamente;
- as frutas secas com teores mais altos de umidade absorvem mais oxigênio;
- frutas com teores de umidade abaixo de 10% apresentam maior velocidade de escurecimento, indicando que o oxigênio absorvido tem menos efeito na taxa de escurecimento do que a umidade;

- a velocidade das reações de escurecimento é diretamente proporcional à temperatura de armazenamento. Para cada aumento de 5°C a velocidade dobra;
- a velocidade de escurecimento é inversamente proporcional à concentração de SO<sub>2</sub> em frutos pré-tratados.

### **2.5.2 Alterações no sabor**

O sabor da banana é um dos mais importantes atributos de qualidade. O conteúdo de hidrogênio ionizável (pH) bem como a composição de açúcares e ácidos têm papel fundamental no sabor dos frutos. A intensificação da doçura do fruto decorre da hidrólise do amido, com conseqüente acúmulo de açúcares solúveis, principalmente glicose, frutose e sacarose. Tais açúcares são oxidados, servindo como substratos básicos no processo respiratório do fruto. Observa-se, paralelamente ao acúmulo de açúcares, aumento nos níveis de ácidos orgânicos, com predominância do ácido málico, o que leva ao abaixamento do pH (Vilas Boas et al., 2001).

A banana cv. Nanica caracteriza-se por apresentar um teor de 0,512% de acidez e 19,6% de sólidos solúveis totais (SST) nos frutos maduros (grau 7 de maturação), conforme apresentado por Vilas Boas et al. (2001).

Muitas das alterações no sabor que ocorrem durante a secagem das frutas são consideradas desejáveis, outras são altamente indesejáveis. As alterações no sabor de frutas secas, provavelmente se devem à formação de aldeídos insaturados, semelhante à formação de furfuraldeídos nos estágios iniciais do escurecimento, entre outros motivos.

Outra alteração que pode ocorrer no sabor de frutas secas é o desenvolvimento de sabores indesejáveis, causados por reações enzimáticas; a formação desses sabores pode ser evitada utilizando-se tratamento com vapor, antes da secagem, que promove a inativação enzimática (Travaglini et al., 2001).

### **2.5.3 Alterações na textura**

O teor de umidade remanescente é o principal fator que influencia na textura da fruta seca. Baixos teores de umidade tornam a textura dura, mas com níveis intermediários de umidade, pode-se ter fruta com textura agradável. Cada tipo de fruta apresenta uma umidade crítica acima da qual a fruta está sujeita à deterioração por microrganismos. Para algumas frutas esta umidade crítica está abaixo daquela considerada desejável para o consumo. Considerando os limites, a fruta seca de umidade intermediária está menos sujeita às reações que causam o escurecimento durante o armazenamento.

A cristalização dos açúcares é um dos problemas mais comuns que podem ocorrer com as frutas secas durante o armazenamento, resultando na formação de cristais de dextrose que podem se depositar na superfície dessas frutas, numa fina camada ou internamente como grandes cristais granulares. Frequentemente a deposição dos cristais de açúcar na superfície das frutas assemelha-se ao crescimento de fungos e podem ocorrer enganos. Evita-se a cristalização dos açúcares pelo aquecimento das frutas à temperatura de 55°C após a embalagem, seguido de resfriamento; isso dissolve a dextrose cristalizada e previne a cristalização por um ano ou mais (Travaglini et al., 2001).

## **2.6 Banana e purê de banana**

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de banana, sendo superado apenas pela Índia (FAO, 2004). Embora seja grande produtor mundial da fruta, sua participação no mercado internacional ainda é marginal. Em 2002 o Brasil exportou apenas 3,76% de sua produção. Os estados de São Paulo e Santa Catarina são os maiores exportadores da fruta no Brasil. Apesar disso, a maior parte da produção desses estados é destinada ao mercado interno.

A banana do sub-grupo Cavendishi é a mais comercializada na União Européia, que é também o maior mercado mundial da fruta, movimentando

cerca de US\$ 5 bilhões por ano no varejo. Além de ser um mercado guiado pela variedade, o regime de importação de banana da União Européia pretere o mercado dos países exportadores da América Latina em benefício das ex-colônias britânicas e francesas localizadas na África, no Caribe e no Pacífico (Almeida et al., 2001).

A banana, fruto climatérico de considerável importância socioeconômica nos países tropicais, constitui fonte de calorias, vitaminas e minerais de baixo custo. Em virtude de agradáveis peculiaridades de aroma e sabor, é a banana consumida tanto na forma natural como na processada, por populações de baixo e alto poder aquisitivo (Vilas Boas et al., 2001).

A bananeira, monocotiledônea pertencente à ordem Scitaminales, família Musaceae, subfamília Musoideae, gênero *Musa*, abrange entre 24 e 30 espécies, das quais se originam todas as cultivares produtoras de frutos partenocárprios, comestíveis (Vilas Boas et al., 2001).

A bananeira é nativa do Sudeste da Ásia, embora seja encontrada em praticamente todas as regiões tropicais, tornando-se uma das mais importantes culturas do mundo.

O fruto passa por quatro fases de desenvolvimento, a saber: crescimento, maturação, amadurecimento e senescência. O crescimento é marcado por um período de rápida divisão e alongamento celular. A maturação é caracterizada por mudanças físicas e químicas que afetam a qualidade sensorial do fruto. A maturação sobrepõe-se à parte do estágio de crescimento e culmina com o amadurecimento do fruto, período no qual o fruto se torna apto para o consumo, em virtude de alterações desejáveis na aparência, sabor, aroma e na textura. O amadurecimento também é marcado por aumento da taxa respiratória e da produção de etileno, seguido por declínio, que sinaliza o início da senescência (Vilas Boas et al., 2001).

A banana deve ser colhida verde, em um ponto de colheita tão próximo quanto possível da maturação fisiológica natural, evitando-se, assim, que amadureçam durante o transporte ou em data diferente da programada, segundo as necessidades do mercado (Alves, 2001).

Os frutos são colhidos no Brasil com diâmetros compreendidos entre 32 e 38mm, para cultivares do subgrupo Cavendish, atendendo à utilização dos frutos para consumo ao natural, exportação e indústria. Bananas com calibre abaixo de 30mm são consideradas impróprias para consumo; com calibres de 32 a 34mm, são mais indicadas para exportação para o Mercosul, sendo recomendadas, no verão, as de 32mm; para produção de banana-passa, são indicadas as frutas mais magras, com calibre de 30 e 32mm; e para a indústria de polpa, doces e balas, são recomendadas as bananas com calibre de 34 a 36mm (Alves, 2001).

O armazenamento sob condições de baixas temperaturas é dos mais efetivos e práticos métodos utilizados no prolongamento da vida útil de frutos frescos. Outro artifício utilizado para diminuir a atividade metabólica é a atmosfera controlada, aumentando assim, a vida de prateleira, sem modificar as características dos frutos (Botrel et al., 2001).

Em muitos países em desenvolvimento, uma média de 15% da produção de banana para exportação é rejeitada pelo tamanho, forma, mancha na casca e outros fatores (Garcia et al., 1985). Muitos desses frutos são vendidos em mercados locais a preços muito baixos, mas em alguns países uma proporção considerável de bananas é perdida. Métodos tradicionais para utilização do excesso de banana como fatias enlatadas e purê, enlatado de purê acidificado, desidratados, congelados e alimentos de umidade intermediária não têm obtido sucesso pelo alto custo do processamento, carência de mercado e/ou problemas inerentes de qualidade dos frutos e outros fatores.

O processamento da banana se apresenta como alternativa para o aproveitamento dos frutos excedentes ou fora dos padrões de qualidade para consumo *in natura*, possibilitando a diminuição de perdas pós-colheita e representando uma forma de aumentar a vida de prateleira e agregar valor ao produto.

A polpa asséptica é o principal produto de banana exportado pelo Brasil e o único comercializado internacionalmente em volumes significativos. É usada como base para fabricação de diversos produtos, como néctar, geléia, doce em massa, flocos, etc (Folegatti & Matsuura, 2001).

Os métodos de congelamento ou envasamento asséptico são trabalhosos, não estando ao alcance da maioria dos países em desenvolvimento. Garcia et al. (1998) propõem uma tecnologia de polpa de banana estabilizada por métodos combinados, como sendo alternativa de custo reduzido e de fácil alcance.

Quando aliado ao tratamento térmico, o açúcar é bom agente de conservação para diversos alimentos, principalmente os produtos derivados de frutas. A presença do açúcar aumenta a pressão osmótica do meio, criando assim condições desfavoráveis para o crescimento da maioria dos microrganismos, em consequência da redução da atividade de água do substrato (Silva, 2000).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A desidratação do purê de banana em estufa, bem como as análises termo-físicas, físicas e físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Campus de Pirassununga da Universidade de São Paulo.

#### 3.1 Matéria prima

Os frutos, bananas cv. Nanica - *Musa cavendishi*, utilizados como matéria prima na obtenção do purê usado no experimento foram adquiridos em uma propriedade da zona rural de Pirassununga – SP. Estes passaram por processo de seleção obedecendo a um tamanho aproximado de 0,18m e grau de maturação 7 (bananas completamente amarelas com pontuações marrons), seguindo a classificação da banana do grupo *cavendishi* proposta pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento (1998). Descartou-se frutos que apresentavam marcas de injúria mecânica ou quaisquer outros danos que pudessem afetar os resultados.

Após esta seleção, os frutos foram lavados em água corrente, secos e então descascados manualmente. O purê da banana foi obtido por compressão-extrusão em amassador de legumes (Nigro-Brasil) com perfuração de 2,5mm conforme mostrado na Figura 5. Após este processo, foi adicionado ácido ascórbico ao purê na concentração de 0,3%, conforme proposto por Lee & Choi (2000), com o objetivo de conter o escurecimento enzimático. O purê passou então por um processo de filtragem em peneira (Bertel – Brasil) de aço inoxidável, abertura de  $1,4 \times 10^{-3}$ m.



FIGURA 5 Visão geral da obtenção do purê de banana “Nanica”.

### 3.2 Tratamentos

Após a preparação inicial da matéria prima, foi feita então a adição de açúcar ao purê seguindo os teores mostrados na Tabela 1. A adição de açúcar foi realizada completando-se o peso, por exemplo, 5g de açúcar + 95g de purê, para uma concentração de 5% de açúcar.

A homogeneização, em Becker, da mistura purê + açúcar foi feita manualmente por 5 minutos de maneira bem lenta, evitando assim a formação de bolhas. Para as pesagens foi utilizada uma balança semi-analítica modelo BG2000, marca Gehaka de precisão 0,01g.

O planejamento experimental seguiu um esquema fatorial 5x5, com três repetições, sendo cinco teores de açúcar e cinco níveis de desidratação, conforme detalhado na Tabela 1, exceto para propriedades termofísicas.

TABELA 3.1 Tratamentos experimentais e níveis para desidratação de purê de banana.

Ensaio	Teor de açúcar (p/p)	Umidade pretendida (%)	Repetições
01 - 05	0	75	3
06 - 10	5	60	3
11 - 15	10	45	3
16 - 20	15	30	3
21 - 25	20	15	3

Para as propriedades termofísicas acrescentou-se a variável temperatura, onde a condutividade térmica foi medida em cinco temperaturas, passando portanto a um esquema fatorial 5x5x5 com três repetições. O calor específico ( $c_p$ ) foi obtido a cada 1 grau na faixa de 20 a 96 °C, também em três repetições, totalizando 5775 dados para  $c_p$ .

### 3.3 Desidratação em estufa

Como suporte do purê na desidratação foram utilizadas bandejas de Plexiglass (polimetilmetacrilato) de dimensões 24,3 x 37,0 x 1,0 cm (Figura 6). O purê foi disposto nas bandejas em camada de aproximadamente 4,0mm de espessura, equivalente a 450g de amostra por bandeja.



FIGURA 6 Foto de uma bandeja de Plexiglass utilizada na desidratação do purê de banana.

O purê foi desidratado por convecção forçada em estufa com circulação-renovação de ar e controle digital de temperatura modelo MA 037 – Marconi (Figura 7) ajustada a  $50,0 \pm 0,1$  °C e umidade relativa entre 45-65%. As bandejas foram retiradas da estufa quando as amostras atingiam a umidade pré-definida. Para a determinação do peso do purê referente à umidade desejada foram desenvolvidas as Equações (3.1) e (3.2) e implementada em uma planilha de dados.

$$U_i = \frac{(1 - \beta)U_0}{(1 - \beta)(1 - U_0) + (1 - \beta)(U_0) + \beta} \quad (3.1)$$

$$P_f = \frac{(1 - U_0 + U_0\beta)P_i}{(1 - U_f)} \quad (3.2)$$

onde  $P_f$  é o peso final da amostra desidratada,  $P_i$  o peso inicial,  $U_0$  a umidade inicial da amostra,  $U_f$  a umidade final desejada da amostra,  $U_i$  a umidade do purê

com adição de açúcar e  $\beta$  o fator de concentração de açúcar (% de açúcar adicionado/ 100).



FIGURA 7 Estufa utilizada para desidratação do purê de banana.

### **3.4 Análises físicas**

#### **3.4.1 Umidade**

Para determinação da umidade das amostras de purê de banana foi utilizado o método oficial da AOAC (1995) para frutos desidratados, marmeladas e purês:

- Espalhou-se 5-10g da amostra sobre uma placa de metal de aproximadamente 8,5 cm de diâmetro. Pesou-se e desidratou-se por 6 horas a uma temperatura de  $70 \pm 1$  °C sob vácuo acima de 100 mmHg (placa de metal deve estar em contato direto com a superfície de aquecimento da estufa). Durante a secagem, fez-se percorrer o

forno uma pequena corrente de ar (aproximadamente duas bolhas por segundo) seca em ácido sulfúrico. Resfriou-se a placa em dessecador com sílica gel e pesou-se as amostras.

Utilizou-se uma estufa a vácuo modelo Retilínea (FANEM) (Figura 8) com vácuo de 635mmHg e balança analítica modelo SA 210 marca SCIENTECH – USA ( $\pm 0,0001g$ ).



FIGURA 8 Estufa a vácuo para determinação de umidade de purê de banana.

### 3.4.2 Densidade

A densidade do purê de banana foi determinada utilizando-se pesa-filtros (Figura 9) com volumes e massas conhecidos. O pesa-filtro foi preenchido com o purê e a massa foi então determinada. A densidade foi então obtida pela Equação 3.3.

Todas análises foram realizadas a 25°C utilizando-se balança analítica modelo SA 210 marca SCIENTECH – USA ( $\pm 0,0001g$ ).



FIGURA 9 Pesa filtro utilizado na determinação da densidade de purê de banana.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.3)$$

A dificuldade encontrada no manuseio da amostra com baixa umidade, devido à alta pegajosidade e facilidade de formação de bolhas levou-nos à determinação da densidade por duas técnicas diferentes, uma para amostras com teor umidade acima de 20% (bu) e uma segunda para amostras com umidades inferiores a este valor.

#### **3.4.2.1 Densidade de amostras com umidade acima de 20%**

Para amostras de purê de banana com umidades superiores a 20%, os pesa-filtros tinham seus volumes cheios com purê e eram então pesados. A densidade então foi obtida através da Equação 3.3.

### 3.4.2.2 Densidade de amostras com umidade abaixo de 20%

Para amostras de purê de banana com umidades inferiores a 20%, colocou-se apenas algumas esferas da amostra no interior do pesa-filtro. Este foi pesado obtendo-se então a massa da amostra ( $m_1$ ). Posteriormente, o pesa filtro ainda com as esferas teve o volume completado com água destilada. A diferença entre o volume total do pesa filtro e o volume de água adicionado corresponde, então, ao volume da amostra ( $v_1$ ). A densidade foi então obtida utilizando-se a equação 3.3.

### 3.4.3 Atividade de água

A atividade de água dos purês de banana foi determinada utilizando-se o equipamento Aqua Lab modelo CX-2 da marca Decagon (USA) (Figura 10). As amostras, aproximadamente 5,0g, foram dispostas em recipientes plásticos com tampas e deixadas por 60 minutos em ambiente com temperatura controlada a  $25,0 \pm 0,1$  °C (B.O.D. modelo TE-390 - TECNAL), foram feitas leituras de temperatura e atividade de água.



FIGURA 10 Higrômetro de ponto de orvalho eletrônico utilizado para a determinação da atividade de água de purê de banana em higrômetro eletrônico.

### 3.4.4 Textura

Foi realizada Análise de Perfil de Textura (TPA) do purê de banana, que consiste na aplicação de dois ciclos de compressão consecutivos na amostra.

Para esta análise utilizou-se um texturômetro universal modelo TA.XT2i (Stable Micro Systems) (Figura 11), com sonda cilíndrica de alumínio de 20mm de diâmetro, velocidade de 300mm/min e um intervalo de 5 segundos entre os dois ciclos. As amostras foram colocadas em frascos com 39,2mm de diâmetro interno e 20mm de altura (amostra). Foi configurada compressão de 10mm, portanto uma deformação de 50% da amostra. A aquisição dos dados foi feita pelo programa Texture Expert V.1.15 (Stable Micro Systems) e macro desenvolvida para calcular as áreas dos gráficos gerados e picos de interesse. Todas as análises foram realizadas em sala com temperatura controlada  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Os cálculos de elasticidade, coesividade, adesividade e gomosidade foram feitos de acordo com o descrito no item 2.3.3 (Duran et al., 2001) e utilizando-se uma planilha eletrônica.

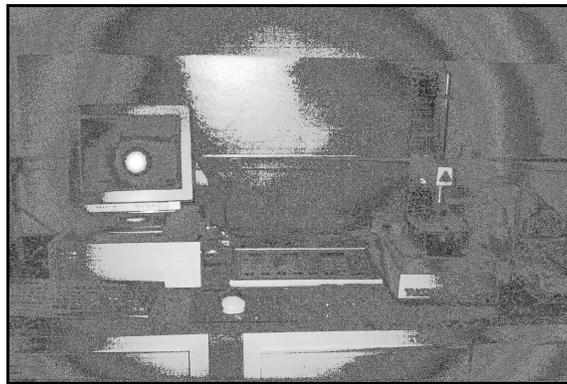


FIGURA 11 Equipamento utilizado na análise de TPA de purê de banana.

### 3.4.5 Cor

A cor das amostras de purê foi medida por meio dos padrões CIELAB:  $L^*$  variando de 0 (preto) a 100 (branco);  $a^*$ , do verde (-) ao vermelho (+);  $b^*$ , do azul (-) ao amarelo (+). Utilizou-se um colorímetro portátil modelo Miniscan XE (Hunter Associates Laboratory - USA) (Figura 12) com índice de luminosidade D65 (luz do dia), ângulo visual de  $10^\circ$  e 30mm de abertura de lente, calibrado com um padrão branco ( $L^*= 93,80$ ,  $a^*= -0,89$ ,  $b^*=0,95$ ) e outro preto ( $L^*= 1,19$ ,  $a^*= 1,27$ ,  $b^*= 1,92$ ).

Foram realizadas três leituras em cada amostra obtendo-se a média destas. Para efeito de medição do escurecimento durante a secagem, foram feitas leituras de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , antes e depois da desidratação e calculou-se a diferença ( $\Delta E^*$ ), conforme Equação 3.4 (Jiménez & Gutiérrez, 2001).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.4)$$

onde: -  $\Delta L^*$  - diferença em  $L^*$  (luminosidade);  
-  $\Delta a^*$  - diferença em  $a^*$ ;  
-  $\Delta b^*$  - diferença em  $b^*$ .



FIGURA 12 Equipamento utilizado para medição de cor do purê de banana em bandeja.

### 3.5 Análises termo-físicas

Além dos dois fatores (teor de açúcar e nível de desidratação), para as análises das propriedades termo-físicas do purê de banana, foi variada também a temperatura, devido a grande importância desta fonte de variação no processo de desidratação.

#### 3.5.1 Condutividade térmica

A condutividade térmica das amostras de purê de banana foi determinada nas temperaturas de 10, 30, 50, 70 e 80°C, utilizando-se uma sonda de 0,9mm de diâmetro e 60mm de comprimento modelo KD2 – DECAGON.

A amostra de purê foi colocada em frascos de vidro de 34,6mm de diâmetro interno e altura 100,0mm. Os frascos com purê foram imersos em banho-maria com controle digital de temperatura, modelo TE-184 Tecnal (Figura 13), para estabilização da temperatura da amostra. As dimensões da amostra foram baseadas no estudo matemático realizado por Voudouris & Hayakawa (1994).



FIGURA 13 Sistema utilizado na medição de condutividade térmica de purê de banana.

A sonda foi posicionada no centro da amostra e após aguardar um tempo aproximado de 15 minutos foi executada a leitura de temperatura (T) e condutividade térmica (k).

### 3.5.2 Calor específico

Para determinação do calor específico do purê de banana foi utilizada a técnica de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC), conforme descrito por Wang & Brennan (1993).

Foi utilizado o calorímetro modelo DSC-2010, (TA-Instruments-USA - Figura 14), aplicando uma rampa de 10°C/minuto e leituras a cada 1°C entre 20 e 96 °C. Os resultados foram calculados com o programa Thermal Solutions Heat Capacity Analysis (TA Instruments).



FIGURA 14 Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC) utilizado para determinação do calor específico do purê de banana.

A técnica consta em comparar o calor requerido para mudar a temperatura da amostra em questão (10 a 15mg) com o de uma referência (safira-25,6mg). Para as pesagens foi utilizada balança analítica modelo SA 210 marca SCIENTECH – USA ( $\pm 0,0001g$ )

### 3.5.3 Difusividade térmica

Os resultados encontrados experimentalmente para a densidade (item 3.4.2), condutividade térmica (item 3.5.1) e calor específico (item 3.5.2) foram usados para o cálculo da difusividade térmica (Equação 3.5).

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (3.5)$$

### **3.6 Análises físico-químicas**

#### **3.6.1 pH**

O pH do purê de banana foi obtido por leitura em pHmetro Schott Handylab, segundo técnica da AOAC (1992).

#### **3.6.2 Acidez titulável (A.T.)**

A determinação da ATT foi realizada por titulação com solução de NaOH (0,1N) e indicador fenolftaleína, de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (1985). Os resultados foram expressos em % de ácido málico.

#### **3.6.3 Sólidos solúveis totais (S.S.T.)**

A determinação dos Sólidos Solúveis Totais de purê de banana foi feita utilizando-se refratômetro digital ATAGO PR-100 com compensação de temperatura automática a 25°C, e os valores foram expressos em °Brix, segundo a AOAC (1992).

### **3.7 Delineamento estatístico**

Os níveis e as variáveis trabalhadas foram apresentados na Tabela 3.1.

O trabalho seguiu um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial e três repetições.

Foi utilizado para análise estatística o pacote MiniTAB™ versão 13.20.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização da matéria-prima

Os resultados das análises da caracterização do purê de banana estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que esses estão dentro da faixa apresentada por García et al. (1998), que encontraram um teor de sólidos solúveis de 24,4 °Brix, pH de 4,7 e  $a_w$  de 0,988 e por Sweat (1974), que obteve umidade de 75,7% e 0,98 kg/m<sup>3</sup> para densidade de banana. As diferenças observadas podem estar relacionadas a fatores tais como variedade, localização da lavoura, tratamentos culturais e estágios de maturação.

TABELA 1 Composição física e físico-química do purê de banana “nanica” - *Musa cavendishi*.

Parâmetros	Teor
Umidade [%]	74,63 ± 0,054
ATT* <sup>1</sup> [% de ac. málico]	0,682 ± 0,051
SST* <sup>2</sup> [° Brix]	24,83 ± 0,170
Atividade de água ( $a_w$ )	0,993 ± 0,004
Densidade ( $\rho$ ) [kg/m <sup>3</sup> ]	0,971 ± 0,003
pH	4,77 ± 0,03

\*<sup>1</sup> – Acidez Total Titulável; \*<sup>2</sup> – Sólidos Solúveis Totais

### 4.2 Propriedades físicas de purê de banana

#### 4.2.1 Umidade ( $U_{bu}$ )

Na Tabela 2 estão dispostas as médias obtidas na análise de umidade do purê de banana desidratado. Na segunda coluna estão apresentados os valores referentes à umidade final pretendida, e na terceira coluna a umidade

experimental (base úmida). A última coluna se refere ao erro calculado pela equação 4.1. Os elevados valores encontrados para o erro percentual (quarta coluna) não implicam em acúmulo de erro nas análises posteriores, pois estas foram feitas sob os valores da umidade experimental.

$$Erro[\%] = \frac{(U_{PRET} - U_{EXPE})}{U_{EXPE}} \times 100 \quad (4.1)$$

TABELA 2 Comparação dos valores de umidade de purê de banana preditos pela equação 3.1 com os valores determinados experimentalmente.

<b>Teor de Açúcar [%]</b>	<b>Umidade pretendida [%]</b>	<b>Umidade Experimental [%]</b>	<b>Erro [%]</b>
0	75	74,6	-
5	75	70,4	-
10	75	66,7	-
15	75	62,3	-
20	75	57,6	-
0	60	54,4	10,3
5	60	55,6	7,9
10	60	58,7	2,2
15	60	58,0	3,4
20	60	58,6	2,4
0	45	44,7	0,6
5	45	42,7	5,4
10	45	43,2	4,1
15	45	41,9	7,5
20	45	44,4	1,3

Plotando-se o gráfico da umidade experimental (eixo y), em relação a umidade pretendida (eixo x), podemos observar que o produto cuja umidade pretendida era 75%, apresentou maior variação em relação aos demais produtos. Isso se deu pela adição de açúcar, sendo naturalmente esperada a diminuição da umidade em função do aumento na concentração de açúcar (Figura 15).

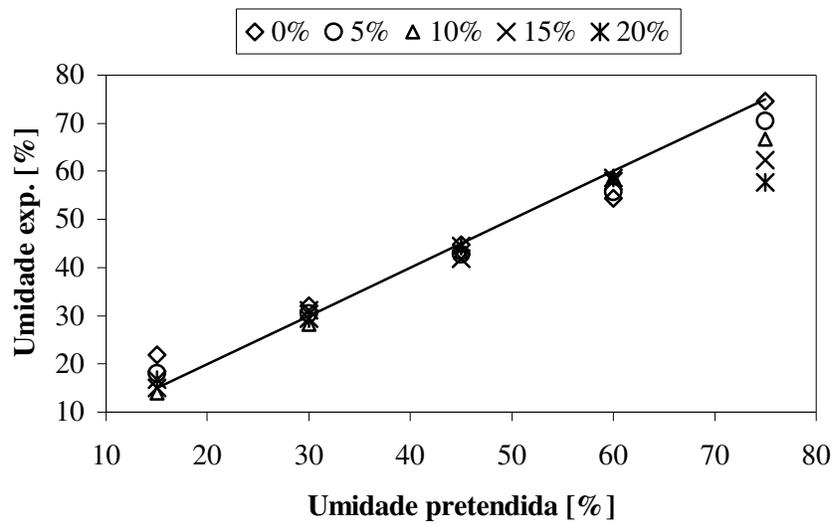


FIGURA 15 Valores médios de umidade experimental [%] em relação à umidade pretendida [%] de purê de banana sob adição de cinco concentrações de açúcar (0, 5, 10, 15 e 20 % de adição).

#### 4.2.2 Densidade (□)

Os resultados das determinações de densidade de purê de banana estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 Valores médios da densidade do purê de banana desidratado em função da umidade pretendida e concentração de açúcar.

Açúcar [%]	Umidade pretendida [%]				
	75	60	45	30	15
<b>0</b>	0,971	1,097	1,185	1,250	1,320
<b>5</b>	0,938	1,084	1,199	1,247	1,329
<b>10</b>	0,958	1,094	1,208	1,246	1,407
<b>15</b>	1,022	1,099	1,169	1,246	1,376
<b>20</b>	1,039	1,042	1,193	1,249	1,352

Preliminarmente ao ajuste de um modelo para densidade em função das variáveis classificatórias (teor de açúcar e umidade experimental) procedeu-se com análise descritiva, conforme as Figuras 16 e 17.

Analisando os resultados apresentados por meio da Figura 16 e análise estatística realizada, pode-se observar que não houve efeito dos níveis de açúcar sobre a densidade do purê de banana ( $p < 0,05$ ). Este resultado é confirmado pelo fato de que as médias (Tabela 3 e Figura 16;  $p < 0,05$ ) e a variabilidade (Figura 16) são semelhantes.

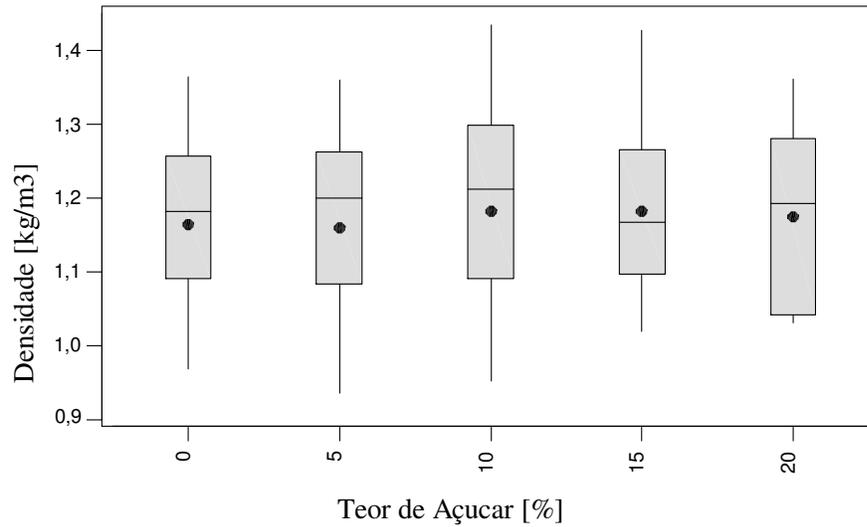


FIGURA 16 Box Plot para densidade aparente [ $\text{kg/m}^3$ ] de purê de banana sob o efeito dos teores de adição de açúcar [%].

Avaliando a influência da variação da umidade sobre a densidade do purê de banana desidratado, pelos resultados apresentados na Tabela 4 e Figura 17, é facilmente observado o efeito significativo da umidade sob a densidade ( $p < 0,05$ ). Este resultado é confirmado ainda, pela variabilidade das médias da densidade mostrada por cada “caixa”. Essa diferença nas médias se dá pela maior concentração dos sólidos no produto, ocasionado pelo maior nível de desidratação.

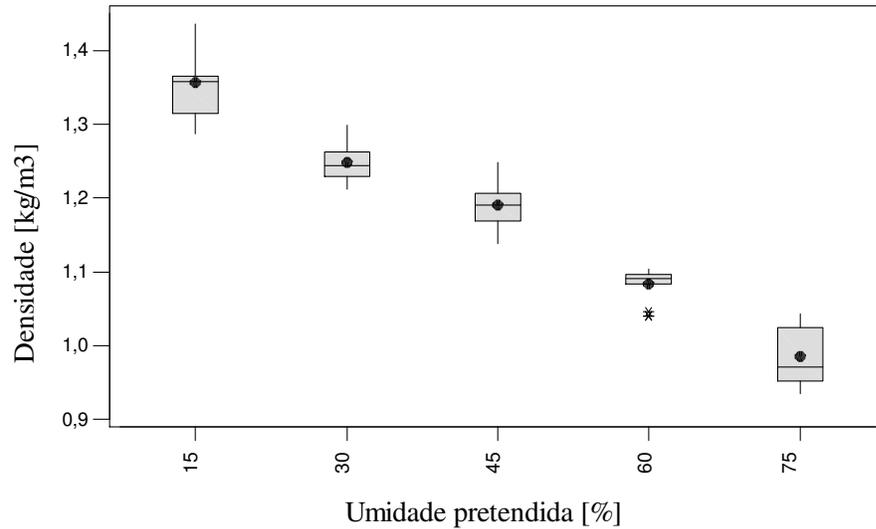


FIGURA 17 Box plot para densidade aparente [kg/m<sup>3</sup>] de purê de banana sob o efeito da Umidade pretendida [%].

O comportamento visto neste trabalho, na Figura 17, de diminuição da densidade com o aumento do teor de umidade foi também observado por Lozano et al. (1983), estudando este efeito em cenoura, pêra, tomate e outras hortaliças. Resultados semelhantes foram encontrados por Krokida et al. (1998), trabalhando com desidratação osmótica, convencional e em micro-ondas de banana, maçã, cenoura, batata e tomate.

Uma informação relevante extraída da Figura 17 é que esta análise não apresentou valores discrepantes para os níveis de umidade mais baixos, onde foi alterado o método de análise.

É bom salientar que não foi realizado o mesmo trabalho exploratório com a variável umidade experimental, visto que esta não apresenta valores repetidos, o que impossibilita a realização do Box Plot.

Com base nos resultados anteriormente mencionados procedeu-se com o ajuste do modelo de regressão múltipla de  $\rho$  em função do teor de açúcar e umidade experimental. O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais é a equação 4.1, cujo  $R^2$  foi 0,949.

$$\rho = 1,48 - 0,000564 A\check{c} - 0,00715 U_{bu} \quad (4.1)$$

onde:  $\rho$  - densidade aparente [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]  
 $A\check{c}$  - teor de açúcar adicionado ao purê [%]  
 $U_{bu}$  - umidade base úmida experimental [%]

A escolha do modelo acima foi realizada observando-se a significância dos parâmetros, conforme os resultados apresentados na Tabela 5.

TABELA 4 Análise de significância dos coeficientes por meio do teste t-student para densidade de purê de banana.

<b>Parâmetro</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Estatística T</b>	<b>p-valor</b>
Intercepto	1,48480	142,98	0,000
Teor de Açúcar	-0,0005641	-1,16	0,250
Umidade base úmida	-0,0071534	-37,67	0,000

Os resultados apresentados na Tabela 4 evidenciaram que todos os coeficientes ajustados foram significativos, isto é, apresentaram um valor de significância  $p < 0,01$ , exceto para os níveis de açúcar. Este fato indica que a

variável açúcar apresenta pouca contribuição no modelo ajustado, entretanto, não foi descartada essa variável do modelo devido ao alto valor de  $R^2$  encontrado ( $R^2 = 94,9\%$ ). Os demais coeficientes têm uma importante contribuição no modelo, mostrando um alto poder preditivo (Figura 18).

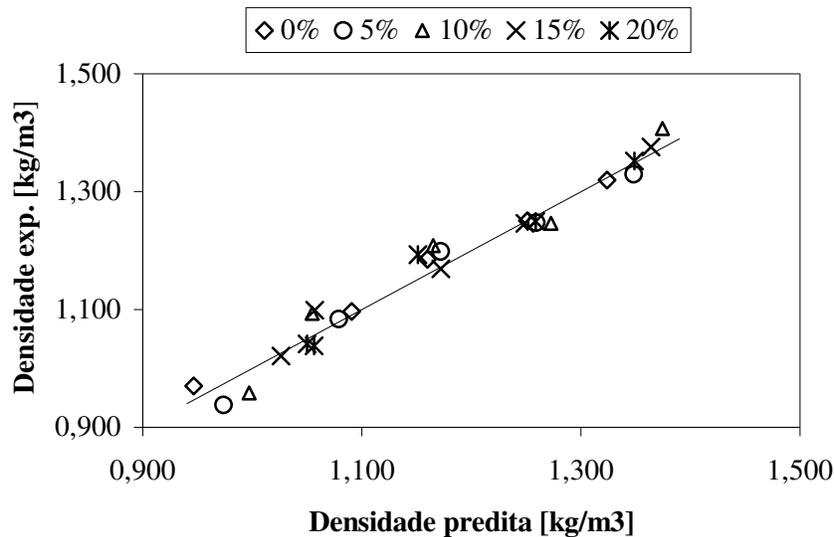


FIGURA 18 Resultados preditos pelo modelo vs valores experimentais de densidade de purê de banana em função de níveis de açúcar (0, 5, 10, 15, 20% de adição de açúcar) e de umidade experimental.

A densidade do purê de banana, sem adição de açúcar e sem desidratação, determinada no presente trabalho,  $\square = 0,971 \text{ kg/m}^3$ , coincide com os valores apresentados por Alvarado (2001) e Sweat (1974), que encontraram valores  $1,019$  e  $0,98 \text{ kg/m}^3$ , respectivamente. A variação existente em relação à

literatura encontrada pode ser devida a fatores tais como tratos culturais e mesmo o método utilizado na obtenção do purê de banana.

Na Figura 19 são mostrados os valores médios de densidade ( $\square$ ) em função de umidade experimental sob efeito de cinco teores de açúcar.

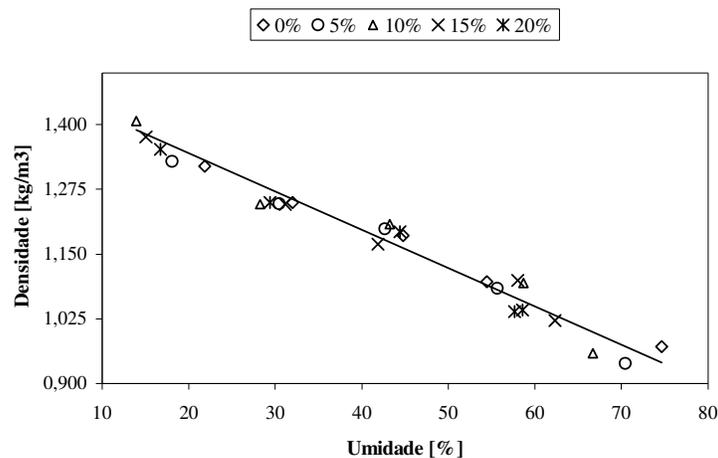


FIGURA 19 Valores médios de densidade de purê de banana em função de umidade experimental sob efeito de cinco teores de açúcar.

A diminuição da densidade com o aumento da umidade foi relatado por Sobral et al. (2001), que verificaram este mesmo comportamento para batata desidratada até aproximadamente 16% de umidade base úmida. Abaixo deste valor de umidade, porém, verificaram um aumento na porosidade da amostra promovendo um efeito contrário à densidade aparente em relação à umidade.

Tsen & King (2002) obtiveram um comportamento semelhante com purê de banana. Eles observaram um aumento da densidade com o aumento na concentração de sólidos no purê.

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

Os resultados das determinações de atividade de água de purê de banana (25°C) estão apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 Valores médios para atividade de água do purê de banana desidratado em função da umidade e concentração de açúcar.

Açúcar [%]	Umidade pretendida [%]				
	75	60	45	30	15
0	0,993	0,943	0,908	0,798	0,700
5	0,979	0,954	0,899	0,825	0,642
10	0,973	0,968	0,896	0,811	0,550
15	0,964	0,967	0,905	0,851	0,578
20	0,951	0,965	0,920	0,831	0,631

Preliminarmente ao ajuste de um modelo para a atividade de água ( $a_w$ ) em função das variáveis classificatórias (teor de açúcar e umidade experimental) procedeu-se com análise descritiva, conforme as Figuras 20 e 21.

Analisando os resultados apresentados por meio da Figura 20 e análise estatística feita, pode-se observar que não houve efeito dos níveis de açúcar adicionados sobre a atividade de água do purê de banana ( $p < 0,05$ ). Este resultado é confirmado pelo fato de que as médias são iguais (Tabela 6 e Figura 20), bem como a variabilidade mostrada por cada “caixa” (Figura 20). Convém salientar que nos níveis de açúcar superiores a 10% apresentam-se pontos discrepantes. Essas observações foram ocasionadas por níveis altos de desidratação (baixa umidade) concomitantemente com altos teores de açúcar, proporcionando baixos valores para atividade de água.

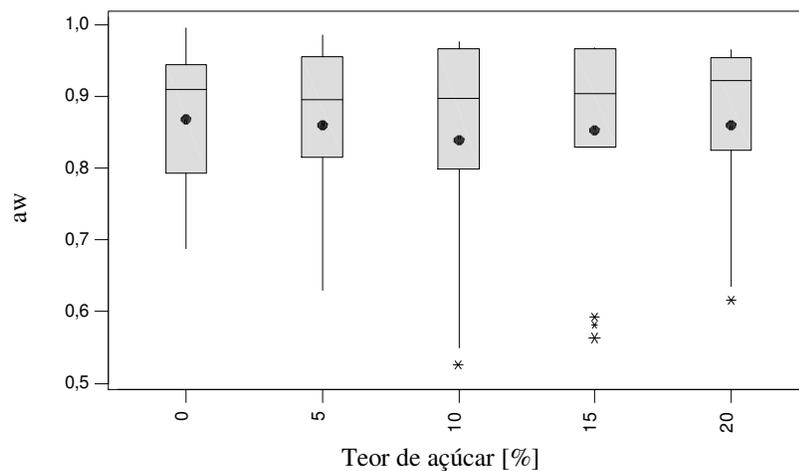


FIGURA 20 Box Plot para atividade de água (aw) de purê de banana sob o efeito dos teores de adição de açúcar [%].

Observando-se a influência da umidade sobre a atividade de água do purê de banana (Figura 21), podemos notar um comportamento, diferente estatisticamente ( $p < 0,01$ ), da atividade de água em função das diferentes umidades pretendidas. Nota-se um aumento da atividade com o aumento da umidade no produto. Este comportamento é explicado através da maior disponibilidade de água nos produtos mais úmidos.

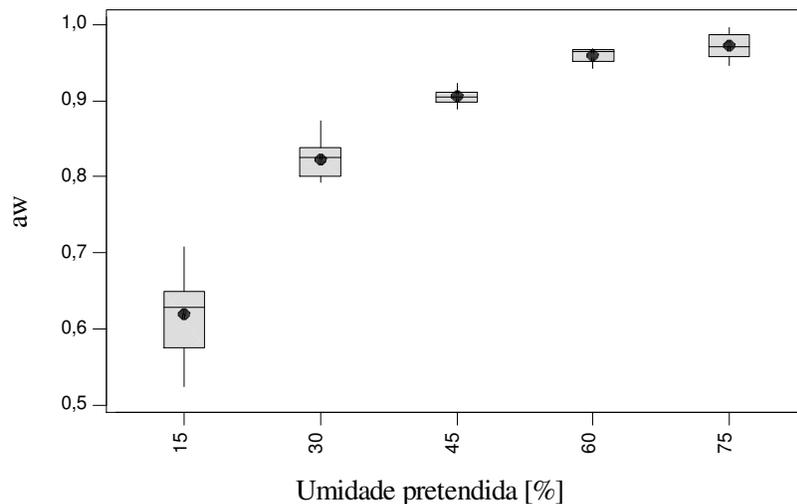


FIGURA 21 Box Plot para atividade de água ( $a_w$ ) de purê de banana sob o efeito da umidade pretendida [%].

O mesmo comportamento foi observado por Cano Chauca (2000), que analisou o efeito da umidade na atividade de água de banana passa.

Da mesma maneira que para densidade, não foi realizado o mesmo trabalho exploratório com a umidade experimental, visto que esta não apresenta valores repetidos, o que impossibilita a realização do Box Plot.

Com base nos resultados anteriormente mencionados procedeu-se o ajuste do modelo de regressão múltipla da  $a_w$  em função da concentração de açúcar e umidade experimental. O modelo que teve melhor qualidade no ajuste aos dados experimentais é a equação 4.2, cujo  $R^2$  foi 0,96. O método utilizado na obtenção do modelo (Backward Elimination Method) foi descrito por Draper & Smith (1981).

$$a_w = 0,3478 + 0,0002975 A\grave{c} + 0,019326 U_{bu} - 0,00014914 U_{bu}^2 \quad (4.2)$$

onde:  $a_w$  - atividade de água  
 $A\grave{c}$  - teor de açúcar adicionado ao purê [%]  
 $U_{bu}$  - umidade base úmida experimental [%]

Um outro fator que confirma a validação do modelo é dado pela significância dos parâmetros conforme os resultados apresentados por meio da Tabela 6.

TABELA 6 Análise da significância dos coeficientes por meio do teste t-student para atividade de água de purê de banana sob desidratação.

<b>Parâmetro</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Estatística T</b>	<b>p-valor</b>
Intercepto	0,34780	19,30	0,000
$A\grave{c}$	0,0002975	0,66	0,513
$U_{bu}$	0,019326	20,91	0,000
$U_{bu}^2$	-0,00014914	-13,90	0,000

Os resultados apresentados na Tabela 6 evidenciaram que todos os coeficientes relativos à umidade, seja no efeito linear ou quadrático, foram significativos ( $p < 0,01$ ), porém não houve efeito significativo para a adição de açúcar ao purê de banana em relação à atividade de água. Esperava-se que o aumento de sólidos dissolvidos na solução (devido a adição de açúcar) diminuísse a quantidade de água livre e conseqüentemente a atividade de água. A provável causa para este resultado inesperado pode ser o fato de ter sido

considerado o efeito da adição de açúcar na umidade do purê, ou seja, uma maior quantidade de açúcar reduziu a quantidade de água a ser retirada para se atingir uma mesma umidade final.

Mesmo com o efeito não significativo apresentado pela adição de açúcar, esta variável foi mantida no modelo, visto que este mostrou um alto poder preditivo, que pode ser visto na Figura 22.

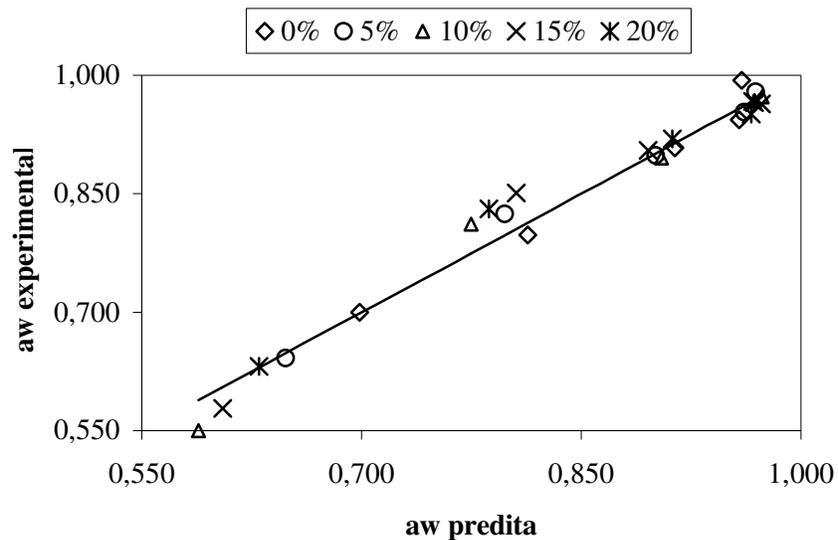


FIGURA 22 Resultados preditos pelo modelo vs valores experimentais de atividade de água de purê de banana em função de níveis de açúcar (0, 5, 10, 15, 20% de adição de açúcar) e de umidade experimental.

Na Figura 23 são mostrados os valores médios de atividade de água em função de umidade e sob efeito de cinco teores de adição de açúcar.

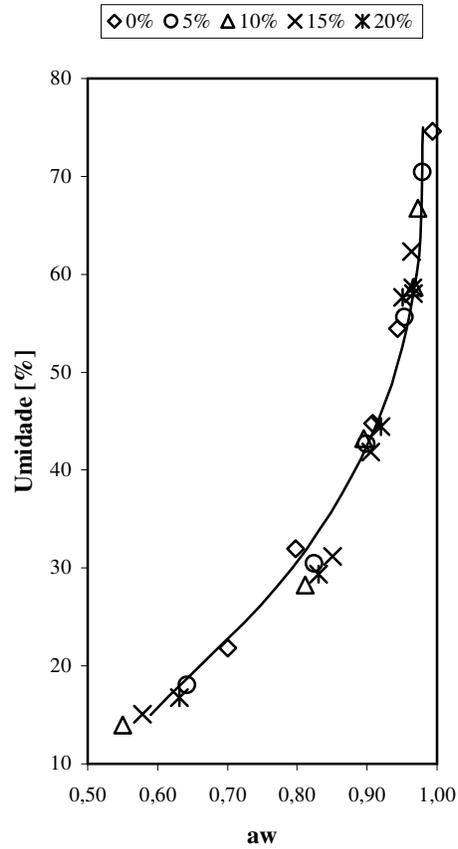


FIGURA 23 Valores médios de atividade de água de purê de banana em função de umidade experimental sob efeito de cinco teores de açúcar (0, 5, 10, 15, 20% de adição de açúcar).

Observa-se um comportamento sigmoide da atividade de água em função da umidade do purê de banana. Comportamento semelhante foi encontrado por Sobral et al. (1999) estudando curvas de isoterma de dessorção de batata.

#### 4.2.4 Textura

##### 4.2.4.1 Dureza (Análise de perfil de textura-TPA)

Os resultados das determinações de dureza de purê de banana estão apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 Valores médios de dureza (g) de purê de banana desidratado em função da umidade pretendida e concentração de açúcar.

Açúcar [%]	Umidade pretendida [%]				
	75	60	45	30	15
0	17,32	55,63	160,71	5124,03	9661,15
5	14,94	36,12	99,44	1679,89	8890,64
10	16,27	31,49	78,73	1059,06	5917,61
15	13,68	17,81	53,77	557,81	5571,04
20	13,60	14,28	37,37	270,76	2381,61

Pela Tabela 7, observa-se um aumento na dureza com a diminuição da umidade em todas as concentrações de açúcar adicionado. A menor média obtida para o teste de dureza (13,60g) representa a porcentagem máxima de adição de açúcar e para o purê não desidratado (75% de umidade). De forma contrária, o valor máximo (9661,15g) para essa grandeza foi obtido com o mínimo de umidade (15%) e sem adição de açúcar, mostrando que a desidratação promove uma compactação no produto, com conseqüente aumento na dureza.

Preliminarmente ao ajuste de um modelo para a dureza em função das variáveis classificatórias (teor de açúcar e umidade experimental), procedeu-se com análise descritiva, conforme as Figuras 24 e 25.

Analisando os resultados apresentados por meio da Figura 24, pode-se observar um decréscimo da dureza com o aumento de açúcar adicionado, levando a crer num efeito significativo desse tratamento. Porém, com os

resultados da análise estatística obteve-se um efeito não significativo dos níveis de açúcar adicionados sobre a dureza do purê de banana ( $p < 0,05$ ). Este resultado pode ser explicado pelo alto número de observações discrepantes em relação às médias, sobrepondo, portanto, ao efeito dos tratamentos.

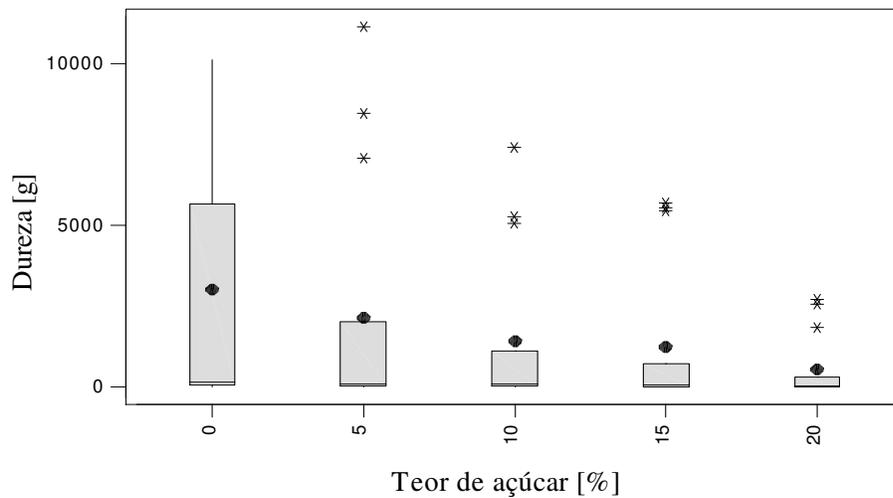


FIGURA 24 Box Plot da dureza [g] de purê de banana sob o efeito do concentração de açúcar [%].

Este efeito do açúcar sobre a dureza do purê de banana pode ser explicado pela eventual destruição das estruturas celulares residuais ocasionada pelo potencial osmótico do açúcar na solução no purê com consequente liberação do suco celular.

Avaliando a influência da variação da umidade pretendida sobre a dureza do purê de banana desidratado, pelos resultados apresentados na Figura 25, é facilmente identificado um efeito diferenciado da umidade sobre a dureza ( $p < 0,05$ ). Este resultado é confirmado pela variação das médias da dureza em relação à umidade.

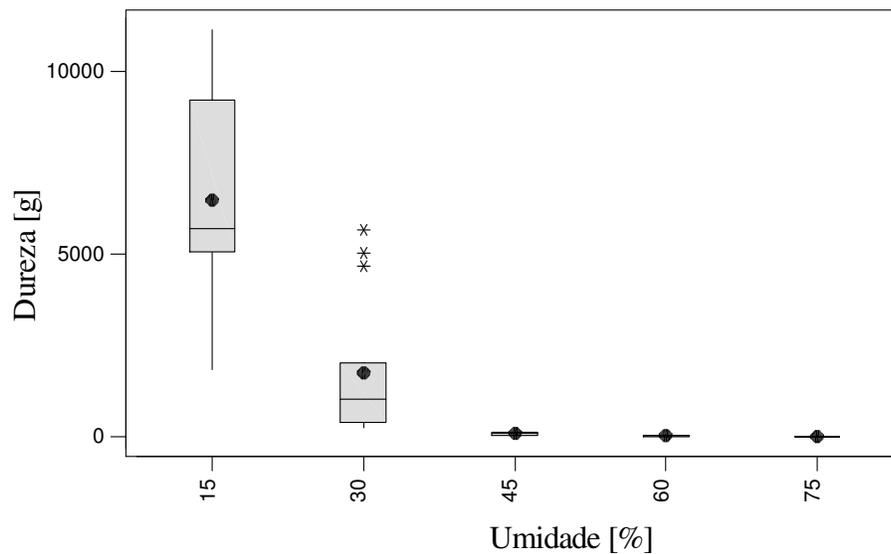


FIGURA 25 Box Plot para dureza [g] de purê de banana sob o efeito da umidade pretendida [%].

Observa-se, pela Figura 25, um aumento da dureza do purê de banana com a diminuição da umidade do mesmo. Provavelmente a razão do aumento da

dureza em relação à umidade é explicada pelo fato de uma maior densidade e compactação do produto desidratado.

Com base nos resultados obtidos experimentalmente, procedeu-se com o ajuste do modelo de regressão múltipla de dureza em função de açúcar e umidade experimental. O modelo, obtido pelo método Backward Elimination (Draper & Smith, 1981), que teve melhor qualidade no ajuste aos dados experimentais é a equação 4.3, cujo  $R^2$  foi 0,91.

$$\begin{aligned} \text{Dureza} = & 24196 - 1462,3A\grave{c} - 819,44 U_{bu} + 6,6627 U_{bu}^2 + 29,221 A\grave{c}^2 + 36,418 \\ & A\grave{c} U_{bu} - 0,18198 A\grave{c} U_{bu}^2 - 0,4932 A\grave{c}^2 U_{bu} \end{aligned} \quad (4.3)$$

onde: Dureza - g

Aç - teor de açúcar adicionado ao purê [%]

$U_{bu}$  - umidade base úmida experimental [%]

Um outro fator que confirma o ajuste do modelo é dado pela significância dos parâmetros conforme os resultados apresentados por meio da Tabela 8.

TABELA 8 Análise da significância dos coeficientes por meio do teste t-student para dureza de purê de banana sob desidratação e adição de açúcar.

<b>Parâmetro</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Estatística T</b>	<b>p-valor</b>
Intercepto	24196	17,68	0,000
Ac	-1462,3	-7,56	0,000
U <sub>bu</sub>	-819,44	-13,30	0,000
U <sub>bu</sub> <sup>2</sup>	6,6627	10,61	0,000
Aç <sup>2</sup>	29,221	4,21	0,000
Aç U <sub>bu</sub>	36,418	5,26	0,000
Aç U <sub>bu</sub> <sup>2</sup>	-0,18198	-2,95	0,004
Aç <sup>2</sup> U <sub>bu</sub>	-0,4932	-3,25	0,002

Os resultados apresentados na Tabela 8 evidenciam a significância dos coeficientes utilizados no modelo ( $p < 0,01$ ), indicando, assim, o seu alto poder preditivo, o que pode ser visto na Figura 26.

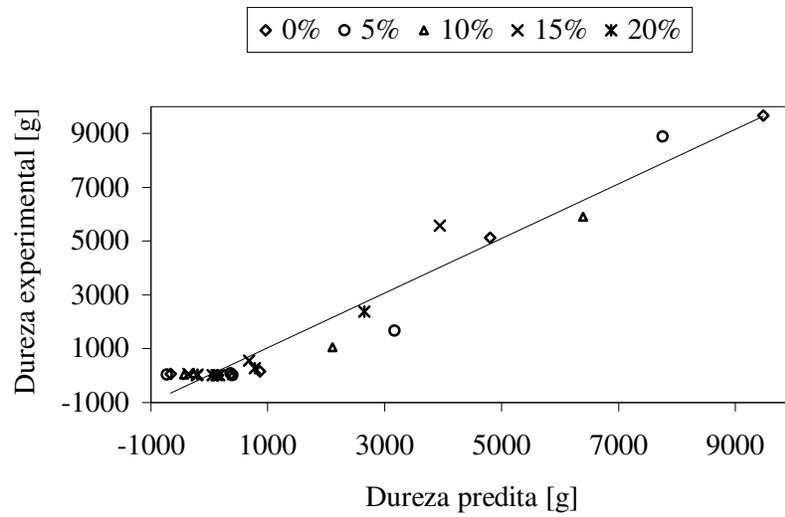


FIGURA 26 Resultados preditos pelo modelo vs valores experimentais de dureza de purê de banana em função de níveis de açúcar e de umidade experimental.

Na Figura 27 são mostrados os valores médios de dureza de purê de banana em função de umidade e sob efeito de cinco teores de adição de açúcar.

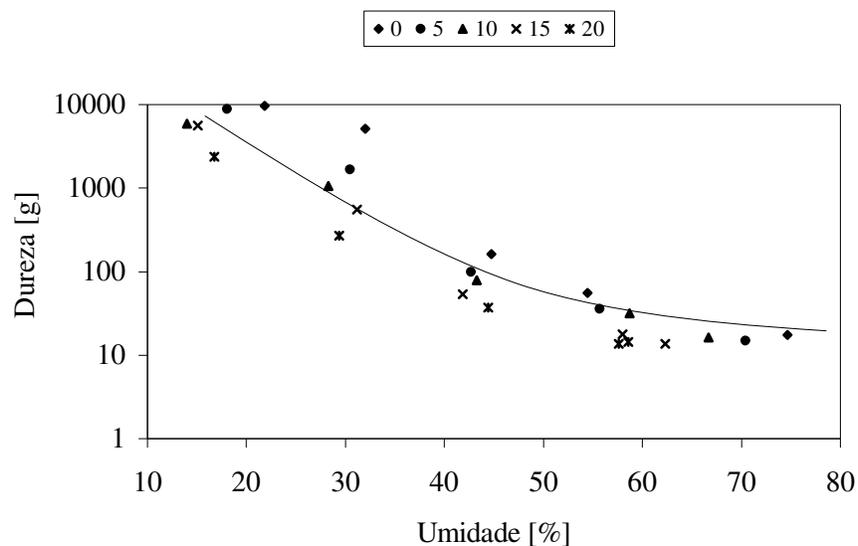


FIGURA 27 Valores médios de dureza TPA de purê de banana em função de umidade experimental.

#### 4.2.4.2 Coesividade (TPA)

Os resultados das determinações de coesividade de purê de banana estão apresentados na Tabela 9.

TABELA 9 Valores médios para coesividade de purê de banana desidratada em função da umidade pretendida e concentração de açúcar.

Açúcar [%]	Umidade pretendida [%]				
	75	60	45	30	15
0	1,95	1,01	0,80	0,38	0,40
5	0,00	1,07	0,96	0,53	0,43
10	1,18	0,40	1,03	0,53	0,54
15	0,50	0,41	1,07	0,35	0,45
20	0,33	0,35	1,08	0,72	0,49

Pela Tabela 9 não se observa qualquer tipo de comportamento regular da coesividade do purê de banana em função das variações de umidade e teor de açúcar adicionado.

Preliminarmente ao ajuste de um modelo para a coesividade do purê de banana em função das variáveis classificatórias (teor de açúcar e umidade experimental) procedeu-se com análise descritiva, conforme as Figuras 28 e 29.

Analisando os resultados apresentados na Figura 28 e análise estatística feita, pode-se observar que não houve efeito dos níveis de açúcar adicionado sobre a coesividade do purê de banana ( $p < 0,05$ ). Este resultado é confirmado pelo fato de que as médias e a variabilidade são semelhantes, como mostrado por cada “caixa” e teste de médias, na Tabela 10.

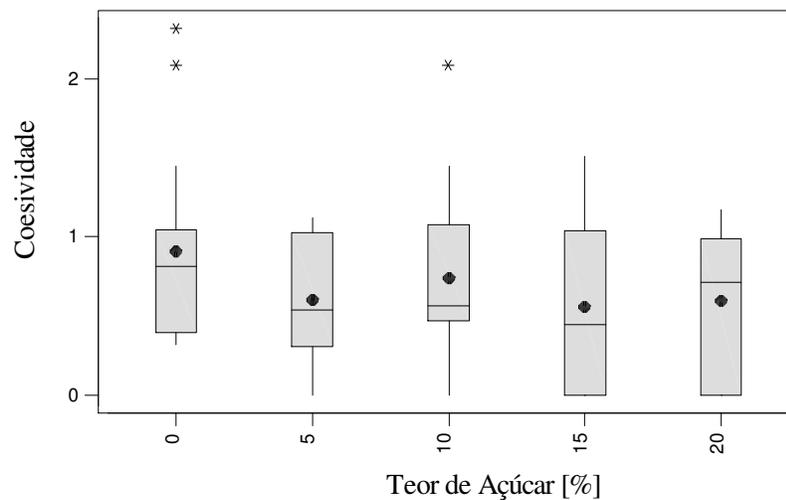


FIGURA 28 Box Plot para efeito do teor de açúcar (%) na coesividade do purê de banana.

Avaliando o efeito da variação da umidade sobre a coesividade do purê de banana desidratado, pelos resultados apresentados na Figura 29, observa-se efeito significativo da umidade. Nota-se uma tendência de aumento da coesividade do purê de banana com o aumento da umidade do mesmo ( $p < 0,05$ ).

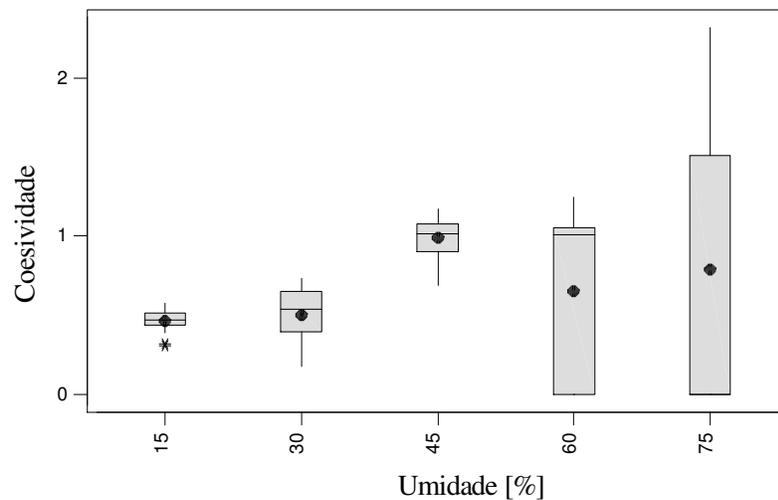


FIGURA 29 Box Plot para efeito da umidade pretendida (%) na coesividade do purê de banana.

Com base nos resultados anteriormente mencionados procedeu-se com o ajuste do modelo de regressão múltipla de coesividade em função de açúcar e umidade experimental através do método Backward Elimination (Draper & Smith, 1981). O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais obteve  $R^2 = 31,1\%$ .

Na Figura 30 são mostrados os valores médios de coesividade de purê de banana em função de umidade e de cinco teores de adição de açúcar.

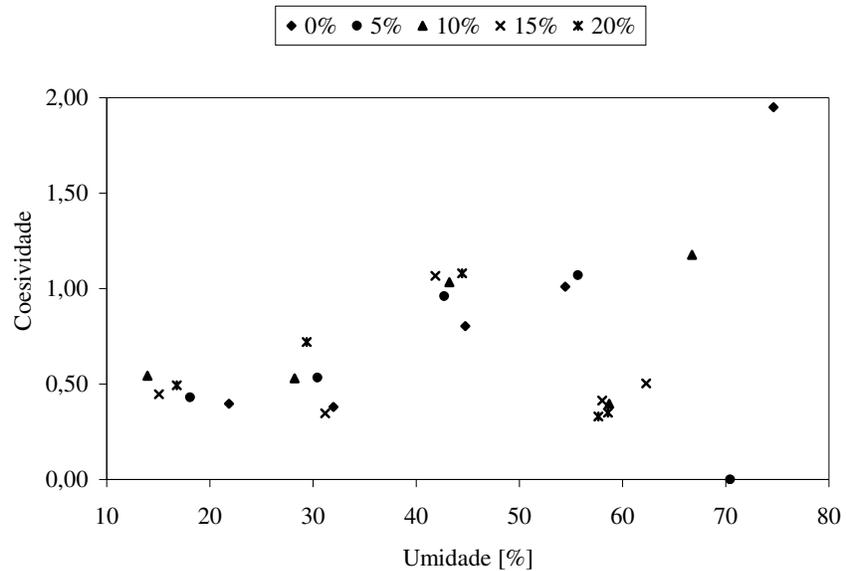


FIGURA 30 Valores médios de coesividade de purê de banana em função de umidade experimental e de cinco teores de açúcar (%).

#### 4.2.4.3 Adesividade (TPA)

Os resultados das determinações de adesividade de purê de banana estão apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 Valores médios para adesividade de purê de banana desidratada em função da umidade pretendida e concentração de açúcar.

Açúcar [%]	Umidade pretendida [%]				
	75	60	45	30	15
0	21,44	72,47	199,95	845,05	2555,70
5	0,00	53,61	134,89	861,64	2000,85
10	15,13	45,37	108,46	703,85	1989,77
15	5,66	30,49	79,56	500,35	2219,01
20	3,90	5,57	54,86	282,56	1585,80

Pela Tabela 10, observa-se um aumento na adesividade com a diminuição da umidade do purê de banana e concentração de açúcar adicionado. A menor média obtida para o teste de adesividade (0,00g.s), ocorrida nas amostras com 5% de adição de açúcar e sem desidratação, representa uma discrepância em relação ao comportamento do restante das médias. O fato é explicado pela ausência da área negativa referente ao teste de TPA, impossibilitando, portanto, a realização do cálculo de adesividade para essas amostras. O valor máximo (2555,70 g.s) para essa grandeza foi obtido com o mínimo de umidade (15%) e sem adição de açúcar.

Preliminarmente ao ajuste de um modelo para a adesividade em função das variáveis classificatórias (teor de açúcar e umidade experimental) procedeu-se com análise descritiva, conforme as Figuras 31 e 32.

Analisando os resultados apresentados por meio da Figura 31, pode-se observar a inexistência de um efeito significativo da adição de açúcar em relação à adesividade do purê de banana ( $p < 0,05$ ). Este resultado é confirmado pelo fato de que as médias são semelhantes, bem como a variabilidade mostrada por cada “caixa”. Um outro dado importante extraído da Figura 31 é o grande número de observações discrepantes em relação às médias, o que pode ter contribuído para

que não houvesse, estatisticamente, efeito significativo das diferentes concentrações de açúcar.

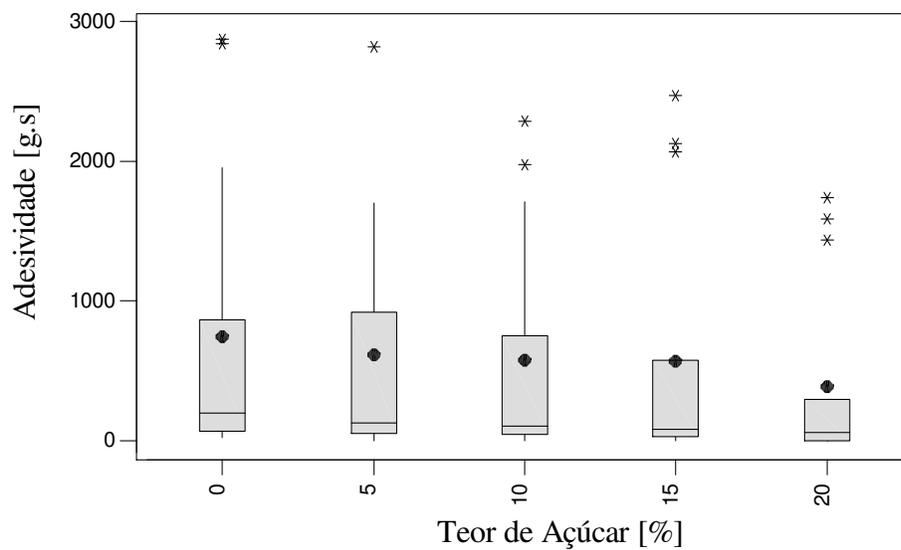


FIGURA 31 Box Plot para efeito da concentração de açúcar (%) sobre a adesividade (g.s) de purê de banana.

Avaliando o efeito da variação da umidade pretendida sobre a adesividade do purê de banana desidratado, pelos resultados apresentados na Figura 32, é claramente identificado uma diminuição significativa da adesividade com o aumento da umidade do purê ( $p < 0,05$ ).

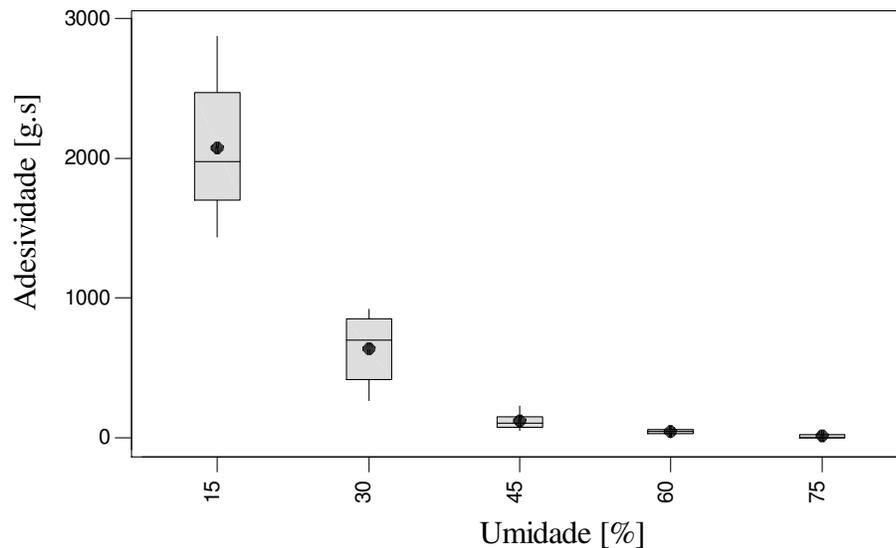


FIGURA 32 Box Plot para efeito da umidade (%) sobre a adesividade (g.s) de purê de banana .

Uma provável explicação para o comportamento apresentado pela adesividade do purê de banana com a desidratação pode ser dada pela maior concentração de sólidos no produto mais seco, e conseqüentemente uma maior concentração de pectina, promovendo então este efeito.

Com base nos resultados obtidos experimentalmente, procedeu-se com o ajuste do modelo de regressão múltipla de adesividade de purê de banana em função de açúcar e umidade experimental. O modelo, obtido pelo método Backward Elimination (Draper & Smith, 1981), que teve melhor qualidade no ajuste aos dados experimentais é a equação 4.4, cujo  $R^2$  foi 0,89.

$$\text{Adesiv.} = 5070 - 114 A\check{c} - 167 U_{bu} + 1,35 U_{bu}^2 + 1,27 A\check{c}^2 + 1,66 A\check{c} U_{bu} \quad (4.4)$$

onde: Adesiv. - adesividade [g.s]

A $\check{c}$  - teor de a $\check{c}$ ucar adicionado ao pur $\hat{e}$  [%]

U $_{bu}$  - umidade base  $\acute{u}$ mida experimental [%]

Um outro fator que confirma a valida $\check{c}$ o do modelo  $\acute{e}$  dado pela signific $\acute{a}$ ncia dos par $\acute{a}$ metros conforme os resultados apresentados por meio da Tabela 11.

TABELA 11 An $\acute{a}$ lise da signific $\acute{a}$ ncia dos coeficientes por meio do teste t-student para adesividade de pur $\hat{e}$  de banana sob desidrata $\check{c}$ o e adi $\check{c}$ o de a $\check{c}$ ucar.

Par $\acute{a}$ metro	Coefficiente	Estat $\acute{i}$ stica T	p-valor
Intercepto	5069,8	18,34	0,000
A $\check{c}$	-114,50	-5,32	0,000
U $_{bu}$	-166,93	-14,10	0,000
U $_{bu}^2$	1,3481	11,09	0,000
A $\check{c}^2$	1,2734	1,62	0,110
A $\check{c}$ U $_{bu}$	1,6602	5,71	0,000

Os resultados apresentados na Tabela 11 evidenciam a signific $\acute{a}$ ncia dos coeficientes utilizados no modelo (p<0,01), exceto para o termo quadr $\acute{a}$ tico de a $\check{c}$ ucar, que foi mantido para aumentar o seu poder preditivo, o que pode ser visto na Figura 33.

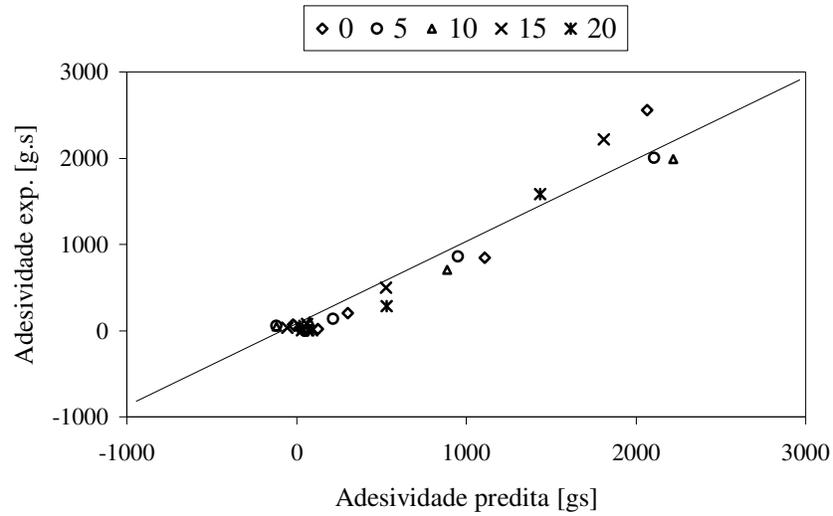


FIGURA 33 Resultados preditos pelo modelo vs valores experimentais de adesividade de purê de banana em função de níveis de açúcar e de umidade experimental.

Na Figura 34 são mostrados os valores médios de adesividade de purê de banana em função de umidade e sob efeito de cinco teores de adição de açúcar.

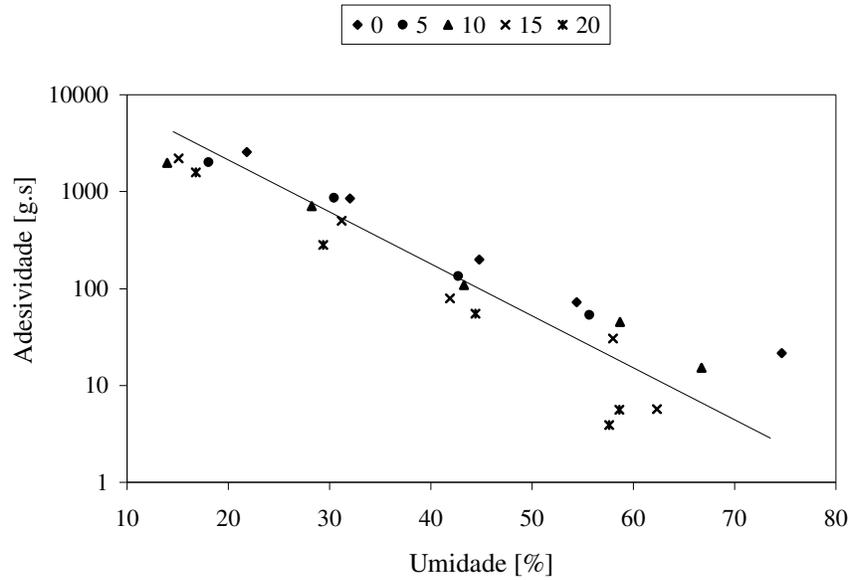


FIGURA 34 Valores médios de adesividade de purê de banana em função de umidade experimental e de cinco teores de açúcar (%).

#### 4.2.4.4 Gomosidade (TPA)

Os resultados das determinações de gomosidade de purê de banana estão apresentados na Tabela 12.

TABELA 12 Valores médios para gomosidade de purê de banana desidratada em cinco níveis de umidade e teores de adição de açúcar.

Médias finais para gomosidade [g]					
Açúcar [%]	Teor de Umidade [%]				
	75	60	45	30	15
<b>0</b>	33,91	56,16	129,07	1940,10	3817,63
<b>5</b>	0,00	38,66	94,68	887,00	3686,13
<b>10</b>	19,80	11,60	81,45	560,91	3230,92
<b>15</b>	8,97	9,11	57,30	169,44	2480,37
<b>20</b>	5,70	5,32	40,19	195,28	1167,33

Pela Tabela 12, observa-se um aumento na gomosidade com a diminuição da umidade do purê de banana em todos os níveis de açúcar adicionado. A menor média obtida para o teste de gomosidade (0,00g), ocorrida nas amostras com 5% de adição de açúcar e sem desidratação, representa uma discrepância em relação ao comportamento do restante das médias. O fato é explicado pela inexistência da área positiva referente à segunda “mordida”, impossibilitando, portanto a realização do cálculo de gomosidade para essas amostras.

De forma contrária, observa-se, aparentemente, uma diminuição da gomosidade em função do aumento na porcentagem de açúcar adicionado ao purê. O valor máximo (3817,63 g) para essa grandeza foi obtido com o mínimo de umidade (15%) e sem adição de açúcar.

Preliminarmente ao ajuste de um modelo para a gomosidade em função das variáveis classificatórias (Teor de açúcar e Umidade experimental) procedeu-se com análise descritiva, conforme as Figuras 34 e 35.

Analisando os resultados apresentados por meio da Figura 34, pode-se observar um decréscimo da gomosidade do purê de banana com o aumento de açúcar adicionado. Porém, com os resultados da análise estatística obteve-se um

efeito não significativo dos níveis de açúcar adicionados sobre a gomosidade do purê de banana ( $p < 0,05$ ). Este resultado pode ser explicado pelo alto número de observações discrepantes em relação às médias, sobrepondo, portanto, ao efeito dos tratamentos.

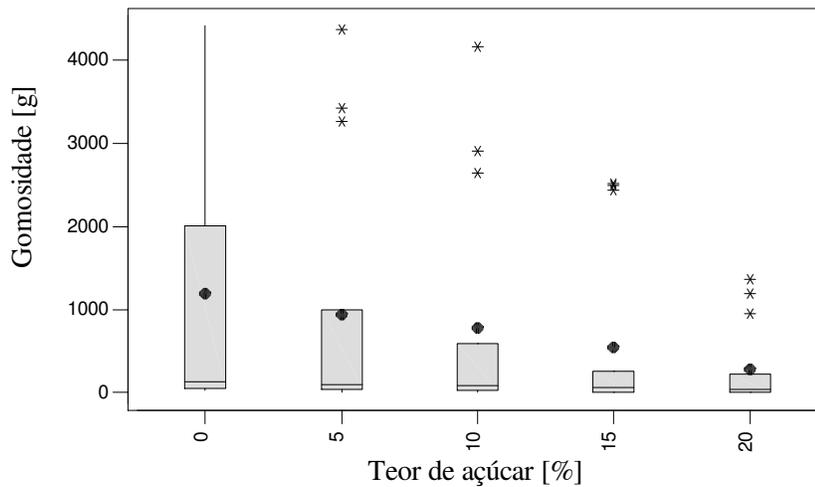


FIGURA 34 Box Plot para efeito da concentração de açúcar (%) sobre a gomosidade (g.s) de purê de banana.

Avaliando o efeito da variação da umidade pretendida sobre a gomosidade do purê de banana desidratado, pelos resultados apresentados na Figura 35, é claramente identificado uma diminuição significativa da gomosidade com o aumento da umidade do purê ( $p < 0,05$ ). Este resultado é confirmado pela variação das médias da gomosidade em relação à umidade.

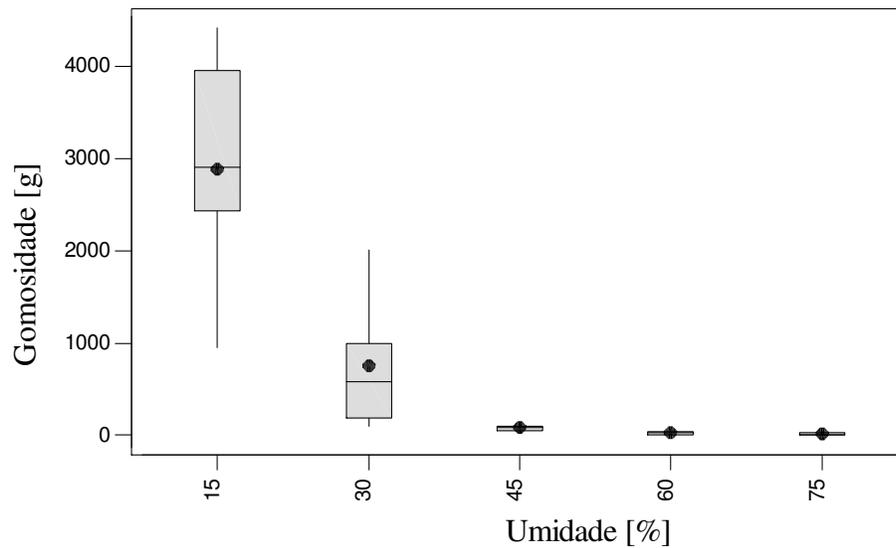


FIGURA 35 Box Plot para efeito da umidade (%) sobre a gomosidade (g.s) de purê de banana .

Com base nos resultados obtidos experimentalmente, procedeu-se com o ajuste do modelo de regressão múltipla de gomosidade de purê de banana em função de açúcar e umidade experimental. O modelo, obtido pelo método Backward Elimination (Draper & Smith, 1981), que teve melhor qualidade está representado na equação 4.5, cujo  $R^2$  foi 0,91.

$$\begin{aligned} \text{Gomosid.} = & 9304 - 330 A_{\zeta} - 315 U_{bu} + 2,57 U_{bu}^2 + 5,69 A_{\zeta} U_{bu} + 0,213 A_{\zeta}^2 U_{bu} \\ & - 0,0034 A_{\zeta}^2 U_{bu}^2 \end{aligned} \quad (4.5)$$

onde: Gomosid. - gomosidade [g]  
 Aç - teor de açúcar adicionado ao purê [%]  
 U<sub>bu</sub> - umidade base úmida experimental [%]

Um outro fator que confirma a validação do modelo é dado pela significância dos parâmetros conforme os resultados apresentados por meio da Tabela 13.

TABELA 13 Análise da significância dos coeficientes por meio do teste t-student para gomosidade de purê de banana sob desidratação e adição de açúcar.

Parâmetro	Coefficiente	Estatística T	p-valor
Intercepto	9303,7	18,20	0,000
Aç	-330,21	-7,97	0,000
U <sub>bu</sub>	-314,67	-13,98	0,000
U <sub>bu</sub> <sup>2</sup>	2,5673	11,42	0,000
Aç U <sub>bu</sub>	5,691	5,65	0,000
Aç <sup>2</sup> U <sub>bu</sub>	0,21262	3,00	0,004
Aç <sup>2</sup> U <sub>bu</sub> <sup>2</sup>	-0,003396	-2,60	0,011

Os resultados apresentados na Tabela 13 evidenciam a significância dos coeficientes utilizados no modelo ( $p < 0,01$ ), exceto para o termo quadrático das interações entre açúcar e umidade, que foi significativo ao nível de 95%. Desta forma, constata-se um alto poder preditivo, o que pode ser visto na Figura 36.

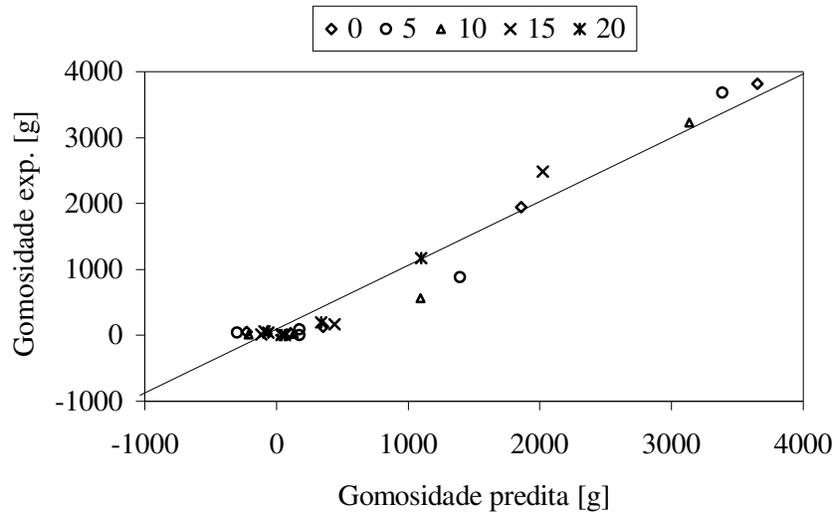


FIGURA 36 Resultados preditos pelo modelo vs valores experimentais de gomosidade de purê de banana em função de níveis de açúcar e de umidade experimental.

Na Figura 37 são mostrados os valores médios de gomosidade de purê de banana em função de umidade e de cinco teores de adição de açúcar.

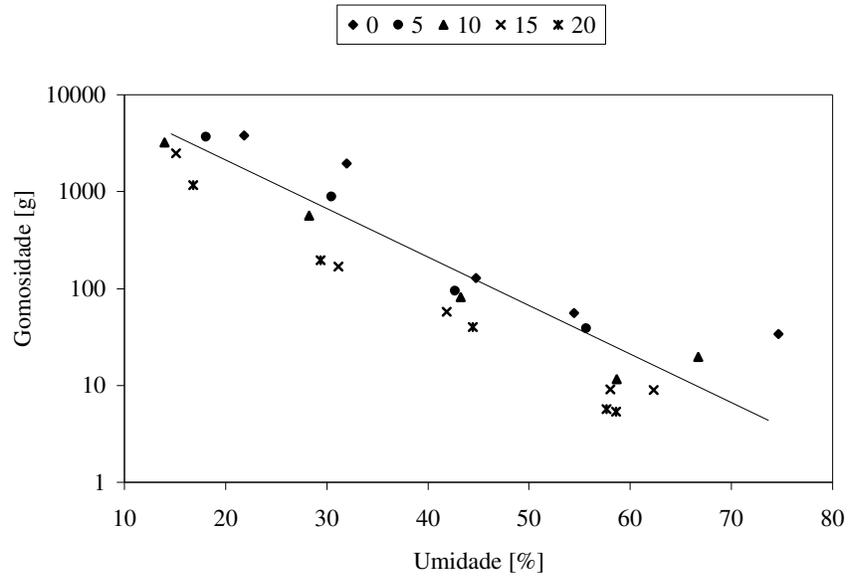


FIGURA 37 Valores médios de gomosidade de purê de banana em função de umidade experimental sob efeito de cinco teores de açúcar.

#### 4.2.5 Diferença de cor ( $\Delta E^*$ )

Os resultados das determinações de diferença de cor de purê de banana estão apresentados na Tabela 14.

TABELA 14 Valores médios para diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) do purê de banana desidratado em função da umidade e concentração de açúcar.

Médias finais para $\Delta E^*$					
Açúcar [%]	Umidade pretendida [%]				
	75	60	45	30	15
<b>0</b>	0,00	13,47	13,57	15,06	26,03
<b>5</b>	0,00	11,69	15,02	16,67	20,37
<b>10</b>	0,00	5,30	9,13	9,30	11,82
<b>15</b>	0,00	4,71	8,51	11,53	12,71
<b>20</b>	0,00	2,14	4,74	6,07	15,56

É bom acrescentar que o purê de banana ao nível de 75% de umidade não sofreu desidratação, portanto foi considerado zero para a diferença de cor ( $\Delta E^*$ ).

Pela Tabela 14, observa-se um aumento na diferença de cor com o aumento no nível de desidratação do purê de banana em todos os níveis de adição de açúcar. De forma contrária, detectou-se uma diminuição da diferença de cor com o aumento na porcentagem de açúcar adicionado ao purê. Esse comportamento pode ser explicado pelo aumento da viscosidade do purê de banana causado pelo incremento da concentração de açúcar, que deve ter dificultado as reações de escurecimento. Além disso, a sacarose é um açúcar não redutor, não contribuindo, portanto, para o escurecimento não enzimático do produto. Ressaltando ainda, com o aumento da adição de açúcar, diminui-se a umidade da solução do purê + açúcar, ocasionando um menor tempo gasto na desidratação, ou seja, menos tempo exposto a temperaturas mais elevadas, mais propícias para reações de escurecimento. De forma contrária, o purê de banana que ficou menos tempo sob temperaturas mais elevadas, apresentou menor diferença de cor.

Analisando as médias apresentadas na Tabela 14, conclui-se que a menor diferença de cor  $\Delta E^* = 2,14$  foi observada para a maior adição de açúcar (20%) e menor nível de desidratação (60%), ou seja, para as amostras que foram menos submetidas ao processo de desidratação. De forma contrária, as maiores médias para  $\Delta E^*$  foram obtidas nas amostras com maior tempo de desidratação (15% de umidade) e 0% de açúcar adicionado.

Preliminarmente ao ajuste de um modelo para diferença de cor de purê de banana em função das variáveis classificatórias (Teor de açúcar e Umidade experimental) procedeu-se com análise descritiva, conforme as Figuras 38 e 39.

Analisando os resultados apresentados por meio da Figura 4.25 e análise estatística feita, pode-se observar que houve efeito dos níveis de açúcar sobre a diferença de cor do purê de banana ( $p < 0,05$ ). Este resultado é confirmado pela variabilidade mostrada por cada “caixa”.

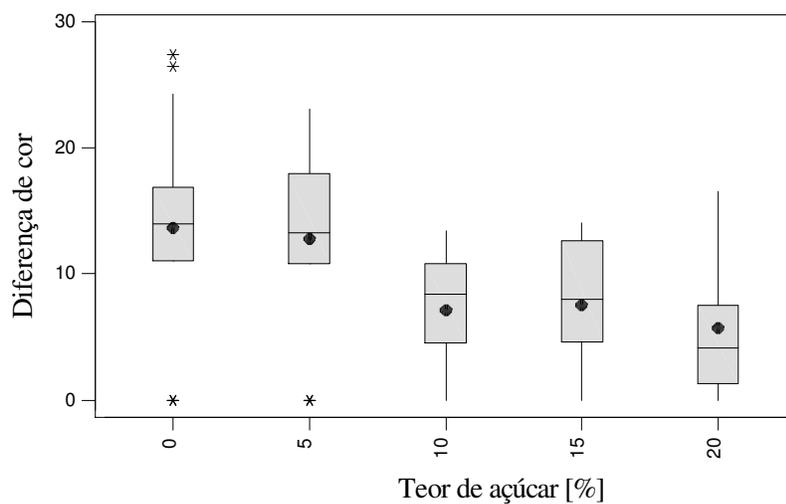


FIGURA 38 Box Plot para diferença de cor de purê de banana sob o efeito dos teores de adição de açúcar [%].

Avaliando o efeito da variação da umidade pretendida sobre a diferença de cor do purê de banana desidratado, pelos resultados apresentados na Figura 4.26, é claramente identificada uma diminuição significativa de  $\Delta E^*$  com o aumento da umidade do purê ( $p < 0,05$ ). Este resultado é confirmado pela variação das médias da diferença de cor em relação à umidade.

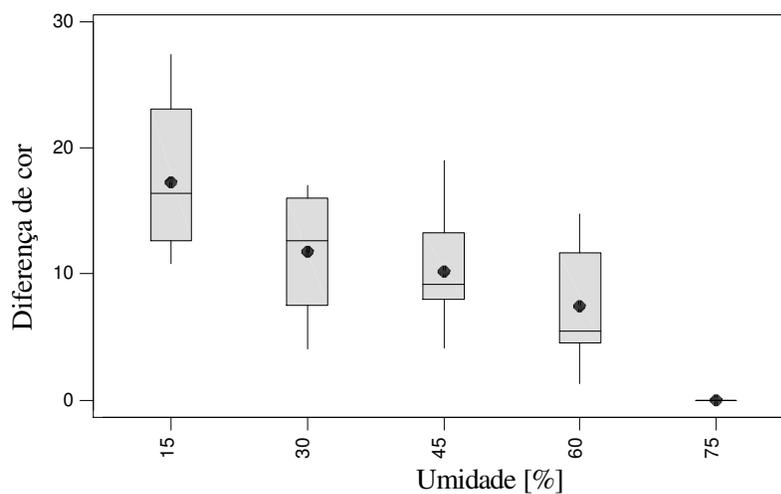


FIGURA 39 Box Plot para diferença de cor de purê de banana sob o efeito da umidade pretendida [%].

Comparando os efeitos dos métodos de desidratação: osmótico, convencional, à vácuo, microondas e liofilização, na diferença de cor de maçã, banana, cenoura e batata, Krokida et al. (1998) relataram:

- o parâmetro  $a^*$  dos produtos desidratados foi fortemente afetado pela secagem;
- a vermelhidão aumentou durante a secagem para todos os produtos examinados em todas as condições de processamento;
- a mudança do valor de  $a^*$  foi mais intensa durante a secagem convencional, que na secagem à vácuo;
- o parâmetro  $b^*$  foi muito afetado durante a secagem de todos os materiais examinados em todos os métodos de secagem.

Com base nos resultados obtidos experimentalmente, procedeu-se com o ajuste do modelo de regressão múltipla para  $\Delta E^*$  de purê de banana em função de açúcar e umidade experimental. O modelo, obtido pelo método Backward Elimination (Draper & Smith, 1981), que teve melhor qualidade no ajuste aos dados experimentais é a equação 4.6, cujo  $R^2$  foi 0,87.

$$\Delta E^* = 33,7 - 4,62 A\zeta - 0,429 U_{bu} + 0,208 A\zeta^2 + 0,178 A\zeta U_{bu} - 0,00177 A\zeta U_{bu}^2 - 0,00952 A\zeta^2 U_{bu} + 0,000100 A\zeta^2 U_{bu}^2 \quad (4.6)$$

onde:  $\Delta E^*$  - diferença de cor [adimensional]

$A\zeta$  - teor de açúcar adicionado ao purê [%]

$U_{bu}$  - umidade base úmida experimental [%]

Um outro fator que confirma o ajuste do modelo é dado pela significância dos parâmetros conforme os resultados apresentados por meio da Tabela 15.

TABELA 15 Análise da significância dos coeficientes por meio do teste t-student para diferença de cor de purê de banana sob desidratação e adição de açúcar.

<b>Parâmetro</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Estatística T</b>	<b>p-valor</b>
Intercepto	33,653	19,57	0,000
Ac	-4,6243	-7,41	0,000
U <sub>bu</sub>	-0,42910	-12,16	0,000
Aç <sup>2</sup>	0,20772	5,75	0,000
Aç U <sub>bu</sub>	0,17795	5,64	0,000
Aç U <sub>bu</sub> <sup>2</sup>	-0,0017672	-4,67	0,000
Aç <sup>2</sup> U <sub>bu</sub>	-0,009524	-4,85	0,000
Aç <sup>2</sup> U <sub>bu</sub> <sup>2</sup>	0,00010042	4,18	0,000

Os resultados apresentados na Tabela 4.15 evidenciam a significância dos coeficientes utilizados no modelo ( $p < 0,01$ ), indicando um alto poder preditivo.

Na Figura 40 são mostrados os valores médios de  $\Delta E^*$  de purê de banana em função de umidade e sob efeito de cinco teores de adição de açúcar.

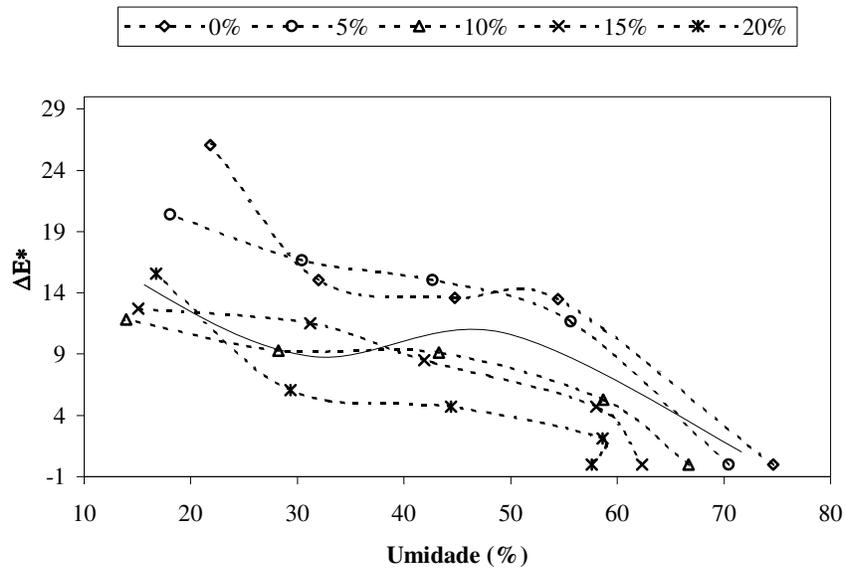


FIGURA 40 Valores médios de diferença de cor de purê de banana em função de umidade experimental e concentração de açúcar.

Pode-se observar (Figura 40) um aumento na diferença de cor com a diminuição da umidade em todos os níveis de desidratação. Este aumento pode ter sido ocasionado pelo aumento do tempo de exposição do purê a uma elevada temperatura (50°C) e conseqüentemente maior nível de escurecimento enzimático e não enzimático do mesmo. O mesmo foi observado por Bertolo et al. (2000), que verificou uma alteração crescente na cor de damasco e morango sob desidratação em ventilação forçada.

O mesmo comportamento foi verificado por Cano Chauca (2000), que observou para os componentes L\*, a\* e b\* uma forte correlação em relação à umidade, concluindo que a cor da banana variou ao longo do processo de secagem.

### 4.3 Propriedades termofísicas de purê de banana

#### 4.3.1 Condutividade térmica (k)

Os resultados das medições de condutividade térmica de purê de banana estão apresentados na Tabela 16.

TABELA 16 Valores médios para condutividade térmica de purê de banana desidratada em cinco níveis de umidade, cinco teores de adição de açúcar e cinco temperaturas.

Condutividade térmica [W/m <sup>2</sup> °C]						
Umidade [%]	Açúcar [%]	Temperatura [°C]				
		10	30	50	70	80
75	0	0,44	0,49	0,50	0,53	0,73
	5	0,43	0,47	0,50	0,56	0,65
	10	0,41	0,45	0,50	0,55	0,64
	15	0,39	0,43	0,47	0,56	0,66
	20	0,38	0,43	0,48	0,53	0,65
60	0	0,38	0,39	0,42	0,47	0,53
	5	0,39	0,40	0,45	0,49	0,58
	10	0,40	0,44	0,47	0,48	0,55
	15	0,41	0,45	0,47	0,51	0,55
	20	0,37	0,41	0,45	0,52	0,61
45	0	0,37	0,37	0,37	0,36	0,43
	5	0,37	0,38	0,39	0,41	0,47
	10	0,36	0,38	0,40	0,41	0,43
	15	0,35	0,37	0,39	0,38	0,44
	20	0,35	0,37	0,39	0,41	0,48
30	0	0,30	0,31	0,31	0,30	0,28
	5	0,31	0,32	0,31	0,30	0,34
	10	0,29	0,30	0,31	0,32	0,34
	15	0,33	0,33	0,34	0,35	0,34
	20	0,32	0,33	0,36	0,35	0,33
15	0	0,28	0,29	0,32	0,28	0,25
	5	0,30	0,30	0,32	0,27	0,26
	10	0,28	0,27	0,30	0,29	0,26
	15	0,28	0,26	0,28	0,29	0,27
	20	0,28	0,29	0,30	0,30	0,27

Preliminarmente ao ajuste do modelo para a condutividade térmica em função das variáveis classificatórias (Teores de açúcar Umidade pretendida e Temperatura) procedeu-se com análise descritiva, conforme as Figuras 41, 42 e 43.

Analizando os resultados apresentados por meio da Figura 4.29 e análise estatística feita, pode-se observar que não houve efeito significativo da adição de açúcar sobre a condutividade térmica do purê de banana ( $p < 0,05$ ). Este resultado é confirmado pelo fato das médias serem semelhantes, bem como a variabilidade mostrada por cada “caixa”.

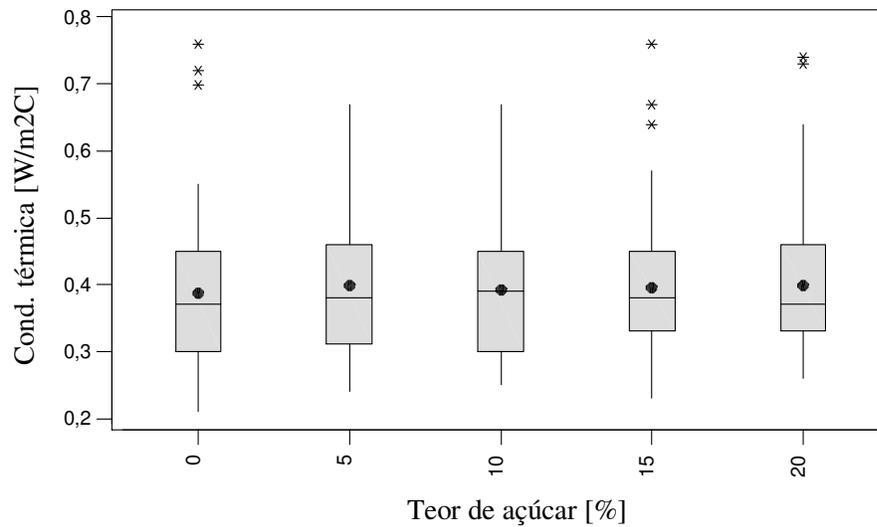


FIGURA 41 Box Plot para condutividade térmica (k) [ $\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ] de purê de banana sob o efeito dos níveis de açúcar [%].

Convém salientar que os níveis 0, 15 e 20 apresentaram pontos discrepantes. Supostamente essas observações foram ocasionadas por altos valores de temperatura (80 °C) e para as amostras sem desidratação (Nível de umidade pretendida 75%), onde estas apresentaram as maiores médias observadas para condutividade térmica.

Avaliando-se o efeito da variação da temperatura sobre a condutividade térmica do purê de banana desidratado, pelos resultados apresentados na Figura 4.30, é claramente identificado um aumento na condutividade térmica com o aumento da temperatura do purê ( $p < 0,05$ ). Este resultado é confirmado pela variação das médias da condutividade térmica em relação à temperatura.

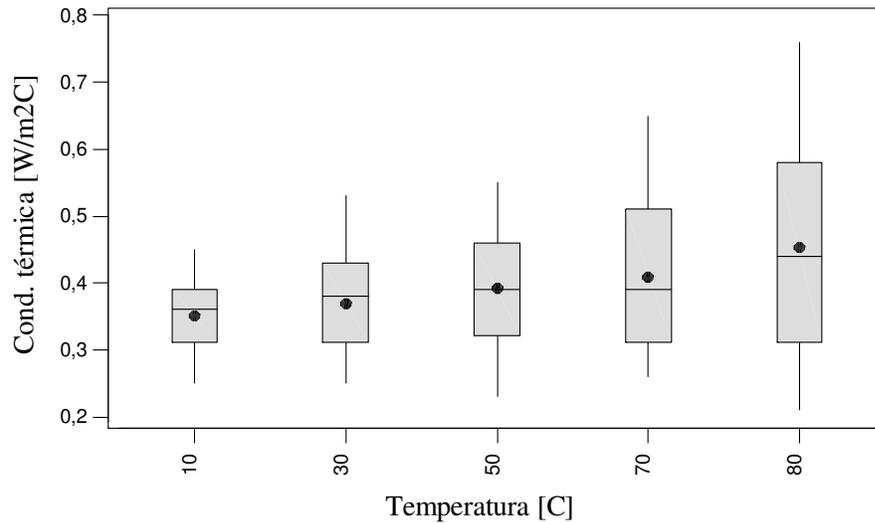


FIGURA 42 Box Plot para condutividade térmica (k) [W/m<sup>2</sup> °C] de purê de banana sob o efeito da temperatura [°C].

Este comportamento concorda com a revisão de literatura feita por Bhumbla et al. (1989), expondo vários modelos preditivos de condutividade térmica para sucos de frutas. O mesmo foi verificado por Chun et al. (2000), que observou o mesmo efeito da temperatura na condutividade térmica de arroz cozido.

Um outro ponto importante que pode ser discutido é o aumento gradativo da variabilidade dos valores observados com o aumento da temperatura, este comportamento é justificado pela formação de bolhas na amostra, causada pela elevação da temperatura. É sabido que este tipo de desuniformidade apresenta

um efeito indesejável na variável condutividade térmica, conforme destacado por Silva (1997).

Em relação ao efeito causado pela variação da umidade em relação à condutividade térmica, pela Figura 4.31 constata-se um aumento significativo de  $k$  com o aumento da umidade ( $p < 0,05$ ).

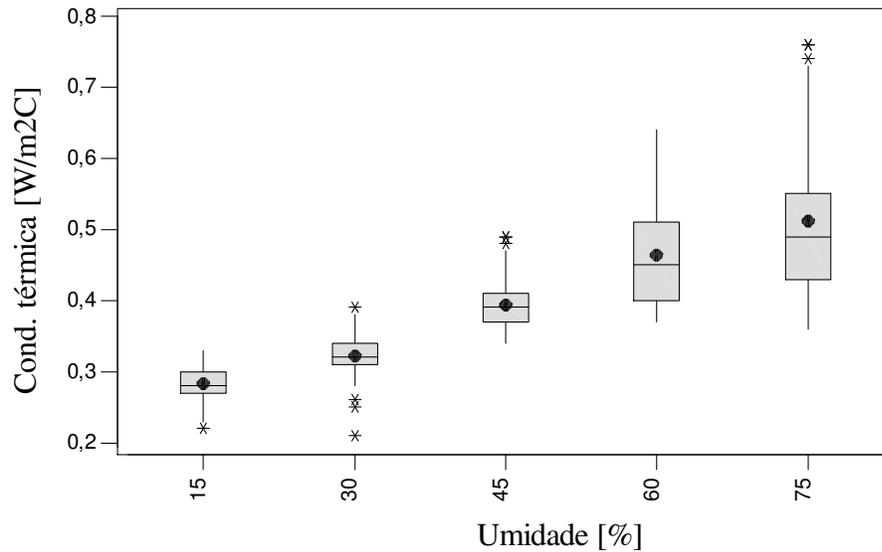


FIGURA 43 Box Plot para condutividade térmica ( $k$ ) [ $\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ] de purê de banana sob o efeito da umidade [%].

Comportamentos semelhantes foram encontrados por Njie et al. (1998) para banana, mandioca e inhame; Donsì et al. (1996), estudando a condutividade

térmica de batata e maçã; Mattea et al. (1986), que verificaram o mesmo para pêra e maçã; Schmalko et al. (1997), variando a umidade de erva mate; Bhumbra et al. (1989), estudando o comportamento da condutividade térmica de sucos de frutas em função da umidade.

Silva (1997), estudando polpa de abacaxi, atribuiu esse comportamento da condutividade térmica em relação à umidade a uma menor condutividade térmica do soluto em relação à da água.

Segundo Sweat (1974), existe uma forte correlação (direta) entre teor de umidade e condutividade térmica de frutos e hortaliças, exceto para aqueles menos densos que a água, sendo possível obter facilmente modelos lineares simples para expressarem essa correlação.

Com base nos resultados obtidos experimentalmente, procedeu-se com o ajuste do modelo de regressão múltipla para condutividade térmica de purê de banana em função de açúcar, temperatura e umidade experimental. O modelo, obtido pelo método Backward Elimination (Draper & Smith, 1981), que teve melhor qualidade no ajuste aos dados experimentais é a equação 4.7, cujo  $R^2$  foi 0,90.

$$k = 0,313 + 0,000032 A\check{c}T - 0,00318 T + 0,000067 T U_{bu} + 0,000014 T^2 + 0,000018 U_{bu}^2 \quad (4.7)$$

onde:  $k$  - condutividade térmica [ $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ]  
 $A\check{c}$  - teor de açúcar adicionado ao purê [%]  
 $U_{bu}$  - umidade base úmida [%]  
 $T$  - temperatura [ $^\circ C$ ]

Um outro fator que confirma a validação do modelo é a significância dos parâmetros conforme os resultados apresentados por meio da Tabela 17.

TABELA 17 Análise da significância dos coeficientes por meio do teste t-student para condutividade térmica de purê de banana.

<b>Parâmetro</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Estatística T</b>	<b>p-valor</b>
Intercepto	0,312703	40,07	0,000
Temperatura	-0,0031780	-8,78	0,000
Açúcar Temperatura	0,00003183	7,01	0,000
Temperatura Umidade	0,00006699	18,96	0,000
Temperatura <sup>2</sup>	0,00001437	4,10	0,000
Umidade base úmida <sup>2</sup>	0,00001807	8,10	0,000

Segundo os resultados apresentados na Tabela 4.17, todos os coeficientes ajustados foram significativos, apresentaram um valor estatisticamente diferente de zero, caracterizando uma contribuição no modelo.

Na Figura 44 são graficadas as médias experimentais de condutividade térmica vs médias preditas, referentes ao purê sem adição de açúcar.

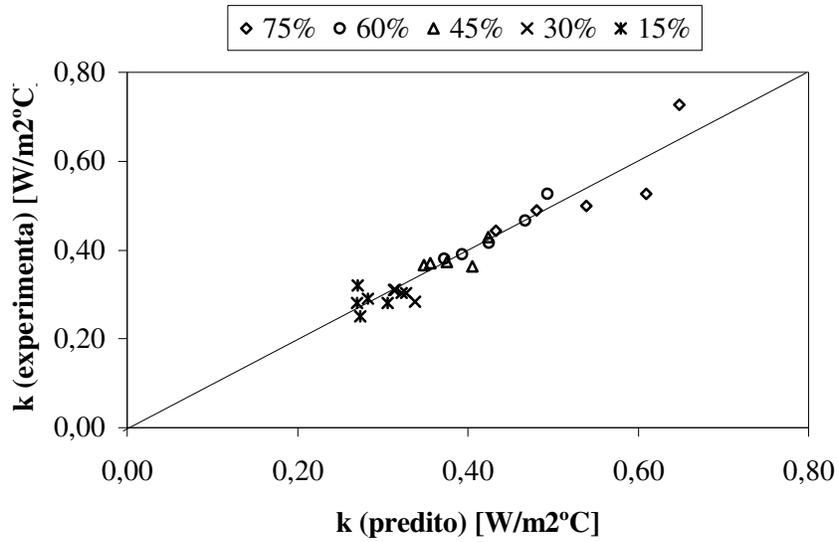


FIGURA 44 Resultados preditos pelo modelo vs valores experimentais de condutividade de purê de banana em função da temperatura e umidade pretendida.

Na Figura 45 são mostradas a título de exemplo ilustrativo algumas médias determinadas da condutividade térmica de purê de banana sem adição de açúcar em função de temperatura e de umidade pretendida.

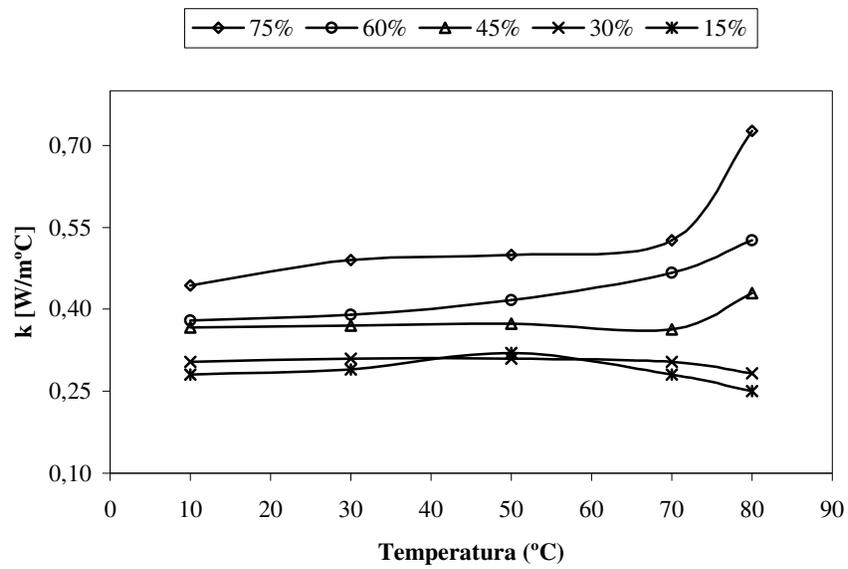


FIGURA 45 Valores médios de condutividade térmica (k) de purê de banana (sem adição de açúcar) em função de umidade pretendida e temperatura.

#### 4.3.2 Calor específico (Cp)

Os resultados das determinações de calor específico de purê de banana estão apresentados na Tabela 18.

TABELA 18 Valores médios de calor específico de purê de banana desidratada em cinco níveis de umidade, teores de adição de açúcar e cinco temperaturas.

Médias obtidas para Calor específico [kJ/kg °C]						
Açúcar (%)	Temperatura (°C)	Teor de Umidade [%]				
		75	60	45	30	15
0	20	3,436	2,923	2,829	2,431	2,304
	30	3,540	3,084	2,960	2,645	2,464
	50	3,636	3,236	3,101	2,753	2,632
	70	3,697	3,306	3,204	2,862	2,739
	80	3,775	3,363	3,257	2,924	2,795
5	20	3,334	2,801	2,797	2,399	2,274
	30	3,407	2,933	2,936	2,570	2,437
	50	3,502	3,079	3,080	2,750	2,658
	70	3,574	3,160	3,185	2,879	2,766
	80	3,663	3,227	3,248	2,945	2,832
10	20	3,384	2,941	2,815	2,489	2,270
	30	3,462	3,027	2,946	2,622	2,390
	50	3,579	3,146	3,093	2,790	2,635
	70	3,657	3,230	3,181	2,892	2,708
	80	3,754	3,287	3,242	2,951	2,764
15	20	2,962	3,193	2,822	2,569	2,265
	30	3,118	3,309	2,925	2,711	2,387
	50	3,214	3,429	3,071	2,879	2,629
	70	3,314	3,516	3,158	2,980	2,729
	80	3,389	3,578	3,216	3,033	2,788
20	20	3,033	2,972	2,758	2,535	2,232
	30	3,109	3,073	2,865	2,655	2,357
	50	3,230	3,198	3,021	2,822	2,576
	70	3,315	3,301	3,125	2,905	2,656
	80	3,370	3,371	3,182	2,957	2,713

Antes do ajuste do modelo para a condutividade térmica em função das variáveis classificatórias (Teores de açúcar, Umidade pretendida e Temperatura) procedeu-se com análise descritiva, conforme as Figuras 46, 47 e 48.

Observa-se que o calor específico é diretamente proporcional à temperatura (Figura 46), o que é confirmado pela análise de variância ( $p < 0,01$ ).

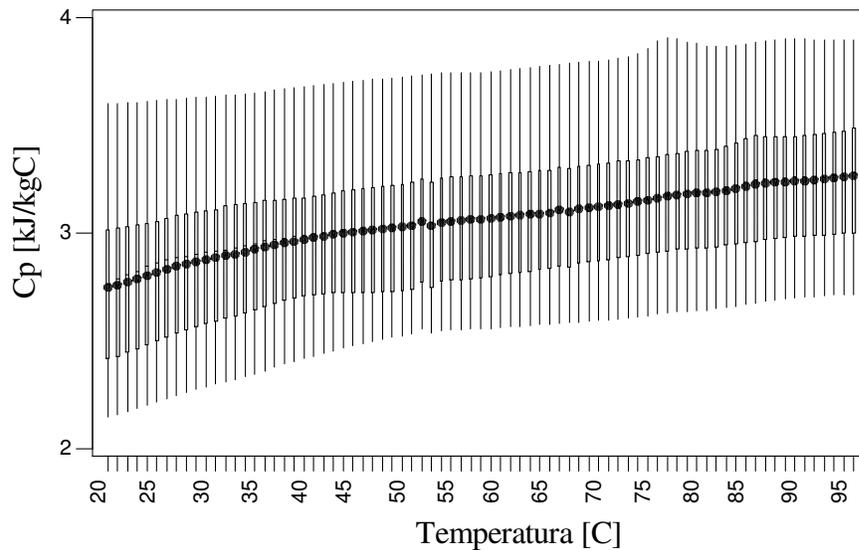


FIGURA 4.34 Box Plot para calor específico ( $C_p$ ) [kJ/kg °C] de purê de banana sob o efeito dos níveis de temperatura [°C].

Njie et al. (1998) também constataram um aumento do calor específico de banana, inhame e mandioca com o aumento da temperatura. Para a banana

(*Musa paradisiaca*), estes autores obtiveram uma variação de 2,795 a 2,969 kJ/kg °C, quando variada a temperatura de 36 a 51 °C, respectivamente, para um teor de umidade de 57% na banana.

O aumento do calor específico em função do aumento da temperatura foi observado por Baroni & Hubinger (2000), em estudo de propriedades físicas de tomate. Gandón & Sobral (2001) encontraram comportamento semelhante do calor específico em estudo realizado com xarope de laranja concentrado.

Analisando o efeito da adição de açúcar no calor específico (Figura 47), observa-se um comportamento não significativo dessa variável independente sobre o Cp ( $p < 0,05$ ). Isso se confirma pelo comportamento não diferenciado entre as médias.

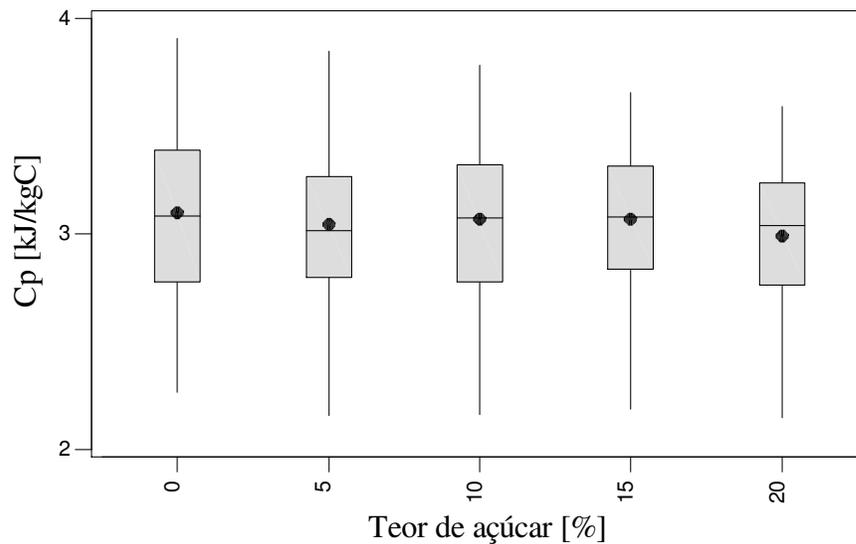


FIGURA 47 Box Plot para calor específico ( $C_p$ ) [kJ/kg °C] de purê de banana sob o efeito dos níveis de açúcar [%].

Uma informação relevante é que esta análise não apresentou valores discrepantes. Supostamente este fato indica uma precisão na leitura do equipamento (DSC), bem como uma boa condução dos experimentos, facilitando, portanto, a interpretação dos resultados, além de proporcionar resultados estatísticos mais confiáveis.

Com respeito ao efeito da umidade sobre o calor específico, é facilmente identificado um comportamento diferenciado em relação ao  $C_p$  ( $p < 0,05$ ), existindo uma proporcionalidade direta entre umidade e calor específico (Figura 48).

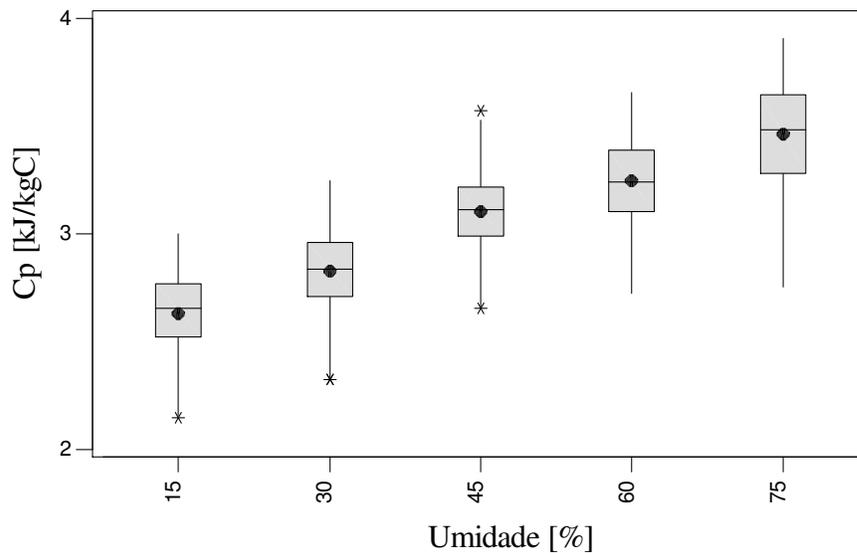


FIGURA 48 Box Plot para calor específico ( $C_p$ ) [kJ/kg °C] de purê de banana sob o efeito da umidade [%].

O comportamento observado para o calor específico em relação à umidade foi semelhante ao obtido por Njie et al. (1998) e Alvarado (1991) que também observaram um aumento do  $C_p$  com o aumento da umidade de banana.

Baroni & Hubinger (2000) detectaram comportamento semelhante em tomate, observaram que para amostras com umidades mais baixas, a água é fator mais importante que a temperatura na variação do  $C_p$ . Por outro lado, este efeito não é tão evidente para amostras com umidades mais altas.

Procedeu-se com o ajuste do modelo de regressão múltipla para  $C_p$  utilizando o método Backward Elimination (Draper & Smith, 1981), o modelo

que teve melhor qualidade no ajuste aos dados experimentais é a equação 4.8, cujo  $R^2$  foi 0,90.

$$C_p = 1,91 + 0,00697 A_{\zeta} + 0,0106 T + 0,0135 U_{bu} - 0,000360 A_{\zeta}^2 - 0,000038 T^2 + 0,000039 U_{bu}^2 \quad (4.8)$$

onde:  $C_p$  - calor específico [J/g °C]  
 $A_{\zeta}$  - teor de açúcar adicionado ao purê [%]  
 $U_{bu}$  - umidade base úmida [%]  
 $T$  - temperatura [°C]

Para o ajuste do modelo, realizou-se a análise de significância dos coeficientes (Tabela 19).

TABELA 19 Análise da significância dos coeficientes por meio do teste t-student para calor específico de purê de banana.

<b>Parâmetro</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Estatística T</b>	<b>p-valor</b>
Intercepto	1,91109	141,51	0,000
Teor de Açúcar	0,0069716	9,46	0,000
Temperatura	0,0105648	26,88	0,000
Umidade base úmida	0,0134510	31,26	0,000
Teor de Açúcar <sup>2</sup>	-0,00036049	-10,19	0,000
Temperatura <sup>2</sup>	-0,00003802	-11,38	0,000
Umidade base úmida <sup>2</sup>	0,00003914	7,83	0,000

Segundo os resultados apresentados na Tabela 4.19, todos os coeficientes ajustados foram significativos, isto é, apresentaram um valor estatisticamente

diferente de zero ( $p < 0,01$ ), promovendo um alto poder preditivo para o modelo ajustado.

Na Figura 49 são graficados os valores médios de calor específico obtidos experimentalmente vs valores médios preditos pela equação 4.8, para purê de banana sem adição de açúcar.

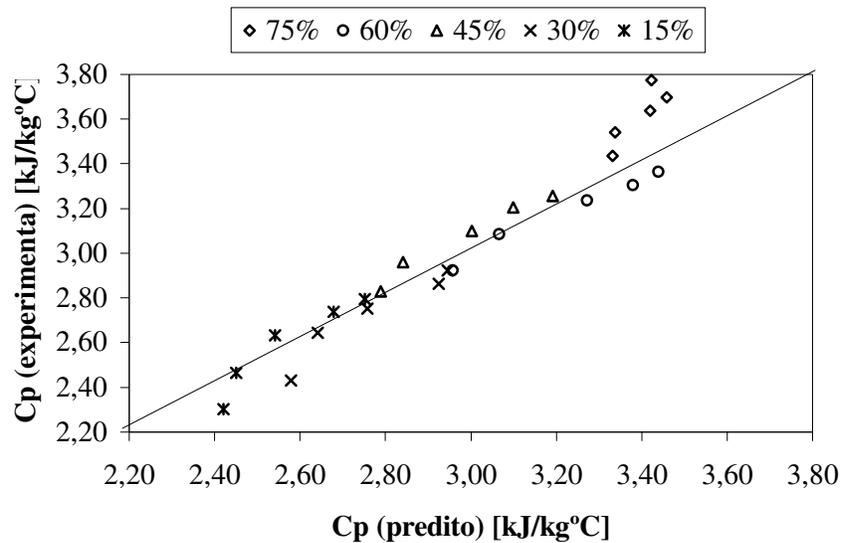


FIGURA 49 Resultados preditos pelo modelo vs valores experimentais calor específico de purê de banana em função da temperatura e umidade experimental.

Na Figura 50 são mostradas algumas médias observadas para calor específico de purê de banana sem adição de açúcar em função de temperatura e umidade pretendida.

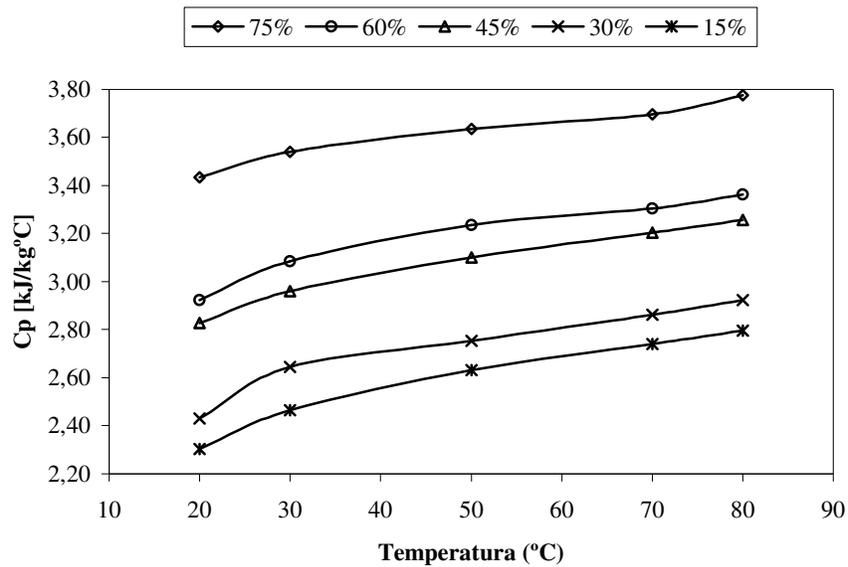


FIGURA 50 Valores médios de calor específico de purê de banana em função de umidade experimental e temperatura.

#### 4.3.3 Difusividade térmica ( $\alpha$ )

Os valores calculados de difusividade térmica do purê de banana estão apresentados na Tabela 20.

TABELA 20 Valores calculados para difusividade térmica de purê de banana em cinco níveis de adição de açúcar, temperatura e nível de desidratação.

Médias calculadas para Difusividade térmica [ $\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ]						
Açúcar (%)	Temperatura (°C)	Teor de Umidade [%]				
		75	60	45	30	15
0	10	0,133	0,119	0,109	0,100	0,092
	30	0,143	0,115	0,105	0,094	0,089
	50	0,142	0,117	0,102	0,090	0,092
	70	0,147	0,129	0,096	0,085	0,077
	80	0,198	0,143	0,111	0,078	0,068
5	10	0,136	0,127	0,109	0,105	0,099
	30	0,148	0,125	0,108	0,099	0,093
	50	0,152	0,134	0,106	0,091	0,092
	70	0,167	0,143	0,107	0,084	0,074
	80	0,190	0,167	0,120	0,092	0,069
10	10	0,126	0,124	0,106	0,095	0,087
	30	0,136	0,132	0,107	0,093	0,079
	50	0,147	0,138	0,107	0,089	0,081
	70	0,156	0,135	0,106	0,089	0,075
	80	0,178	0,154	0,111	0,092	0,068
15	10	0,129	0,116	0,106	0,104	0,090
	30	0,135	0,123	0,109	0,098	0,080
	50	0,143	0,124	0,110	0,096	0,076
	70	0,166	0,132	0,104	0,095	0,076
	80	0,190	0,140	0,116	0,090	0,070
20	10	0,120	0,121	0,106	0,102	0,094
	30	0,132	0,129	0,108	0,098	0,091
	50	0,142	0,136	0,108	0,101	0,086
	70	0,154	0,152	0,109	0,096	0,084
	80	0,185	0,175	0,126	0,089	0,074

Pelas médias calculadas para difusividade térmica de purê de banana (Tabela 20), observa-se um comportamento diretamente proporcional desta em relação à umidade. O maior valor calculado para  $\alpha$  (0,198), foi obtido nas amostras sem adição de açúcar, a uma temperatura de 80 °C e sem desidratação (75% de umidade pretendida).

Comparando-se os valores calculados pelo presente trabalho com os preditos por Chandra & Sobral (1999) para purê de banana, constata-se uma grande aproximação destes. Os autores ainda lamentam a inexistência de dados na literatura de valores experimentais de difusividade térmica para purê de banana, impossibilitando, portanto, uma comparação.

Para uma análise exploratória do comportamento da difusividade térmica em função de umidade, temperatura e açúcar adicionado ao purê, foram realizados os Box Plot de variância das médias (Figuras 51, 52, 53).

Observa-se um comportamento similar entre as médias da difusividade térmica em relação ao aumento de temperatura (Figura 51), não havendo, porém, um efeito significativo da temperatura em relação à difusividade térmica ( $p < 0,05$ ).

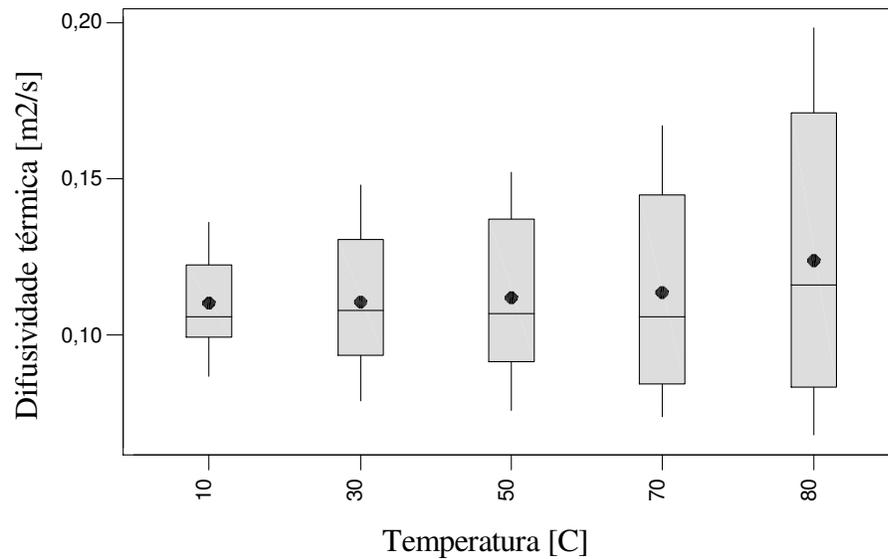


FIGURA 51 Box Plot para difusividade térmica [ $\mu\text{m}^2/\text{s}$ ] de purê de banana sob o efeito da temperatura [°C].

Uma informação importante fornecida pela Figura 4.39 é o comportamento crescente dos desvios em relação ao aumento da temperatura. Silva (1997) estudando difusividade térmica, também observou este comportamento o qual justificou pela formação de bolhas na amostra, causada pela elevação da temperatura.

Com relação ao comportamento da difusividade térmica do purê de banana em função da variação do teor de açúcar adicionado ao purê (Figura 52), as médias calculadas para  $\square$  não sofrem efeito significativo com aumento do teor de açúcar adicionado ( $p < 0,05$ ).

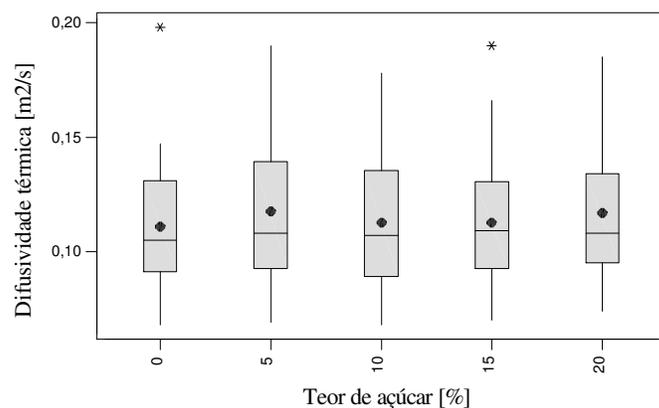


FIGURA 52 Box Plot para difusividade térmica [ $\mu \text{ m}^2/\text{s}$ ] de purê de banana sob o efeito da adição de açúcar [%].

Analisando o efeito da umidade na difusividade térmica de purê de banana (Figura 53), observa-se um comportamento diretamente proporcional da umidade em relação à difusividade térmica ( $p < 0,05$ ). Isso se confirma pelo comportamento diferenciado entre as médias calculadas.

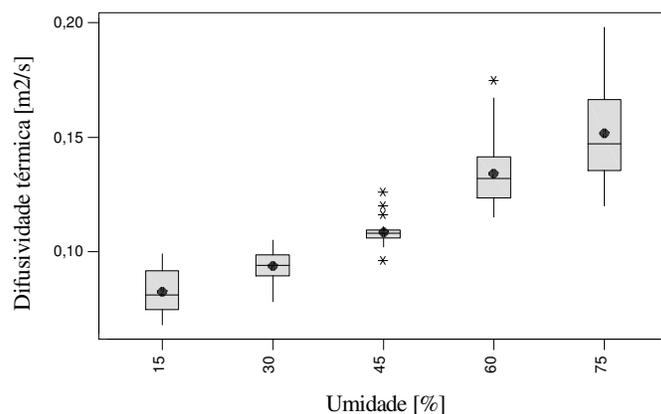


FIGURA 53 Box Plot para difusividade térmica [ $\mu\text{m}^2/\text{s}$ ] de purê de banana sob o efeito da umidade [%].

De acordo com os dados apresentados anteriormente, percebe-se um claro comportamento de aumento da difusividade térmica com o aumento da umidade. O mesmo foi observado por Njie et al. (1998) para banana, inhame e mandioca.

Com base nos valores calculados para difusividade térmica, procedeu-se com análise de regressão múltipla, onde o modelo que melhor se ajustou aos valores calculados é a equação 4.9, pelo método Backward Elimination (Draper & Smith, 1981), onde o  $R^2$  é de 0,92.

$$\alpha = 0,112 - 0,00124 T + 0,000011 U_{bu}^2 + 0,000008 A\check{c} T + 0,000005 T^2 + 0,000020 T U_{bu} \quad (4.9)$$

onde:  $\alpha$  - difusividade térmica [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]  
 $A\check{c}$  - teor de açúcar adicionado ao purê [%]  
 $U_{bu}$  - umidade base úmida [%]  
 $T$  - temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]

A validação do modelo acima foi verificada pela significância dos parâmetros, conforme os resultados apresentados na Tabela 21.

TABELA 21 Análise da significância dos coeficientes por meio do teste t-student para difusividade térmica de purê de banana.

<b>Parâmetro</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Estatística T</b>	<b>p-valor</b>
Intercepto	0,111767	18,18	0,000
Temperatura Umidade	0,00002043	12,26	0,000
Temperatura	-0,0012357	-7,65	0,000
Umidade base úmida	-0,0005515	-2,32	0,022
Teor de Açúcar Temperatura	0,00000839	4,21	0,000
Temperatura <sup>2</sup>	0,00000459	2,98	0,003
Umidade base úmida <sup>2</sup>	0,00001147	4,45	0,000

Observa-se, pelo teste de significância realizado, um efeito significativo de todos coeficientes ( $p < 0,05$ ), contribuindo, portanto, com o poder preditivo do modelo.

Na Figura 54 são graficadas médias de difusividade térmica obtidas experimentalmente vs médias previstas pela equação 4.9, para purê de banana sem adição de açúcar.

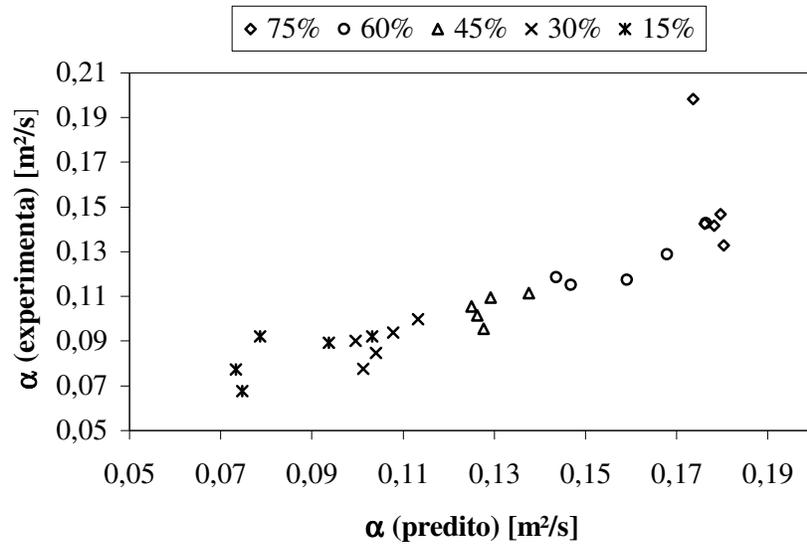


FIGURA 54 Resultados preditos pelo modelo vs valores experimentais de difusividade térmica de purê de banana em função de níveis de açúcar (0, 5, 10, 15, 20% de adição de açúcar) temperatura e de umidade experimental.

Na Figura 55 são mostrados os valores médios de difusividade térmica ( $\alpha$ ) em função de umidade experimental e temperatura, sob efeito de cinco teores de açúcar.

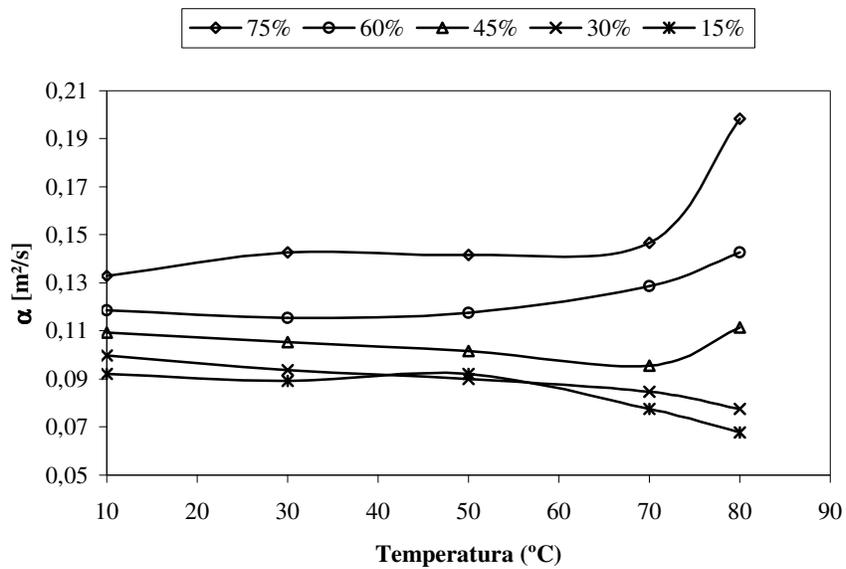


FIGURA 55 Valores médios de difusividade térmica de purê de banana em função de temperatura e de umidade pretendida.

#### 4.4 Propriedades físico-químicas de purê de banana

##### 4.4.1 Acidez titulável (A.T.)

Os valores médios de acidez total titulável de purê de banana determinados estão apresentados na Tabela 22.

TABELA 22 Valores médios para acidez total titulável de purê de banana desidratado em cinco níveis de umidade e cinco teores de adição de açúcar.

Médias finais para ATT [%]					
Açúcar [%]	Teor de Umidade [%]				
	<b>75</b>	<b>60</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>15</b>
<b>0</b>	0,682	0,715	0,833	0,860	1,084
<b>5</b>	0,553	0,587	0,782	0,894	1,017
<b>10</b>	0,497	0,548	0,637	0,749	0,872
<b>15</b>	0,447	0,481	0,514	0,648	0,793
<b>20</b>	0,436	0,419	0,492	0,592	0,659

Observa-se uma diminuição nos teores de ácido com a adição de açúcar, em todos os níveis de desidratação ( $p < 0,05$ ), o que pode ser verificado na Figura 56.

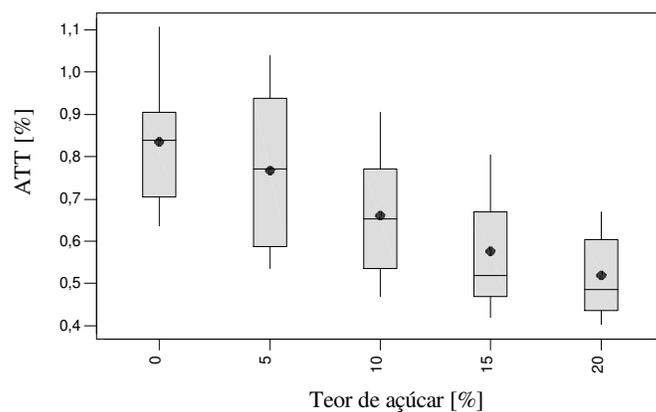


FIGURA 56 Box Plot da acidez titulável (AT) de purê de banana em função do teor de açúcar [%].

Este decréscimo é ocasionado pela diminuição na concentração relativa de ácido na solução final (purê + açúcar).

Com respeito ao efeito da umidade sobre a acidez do purê de banana, observa-se um decréscimo da acidez com o aumento da umidade, significativo ao nível de 95% de certeza, (Figura 57).

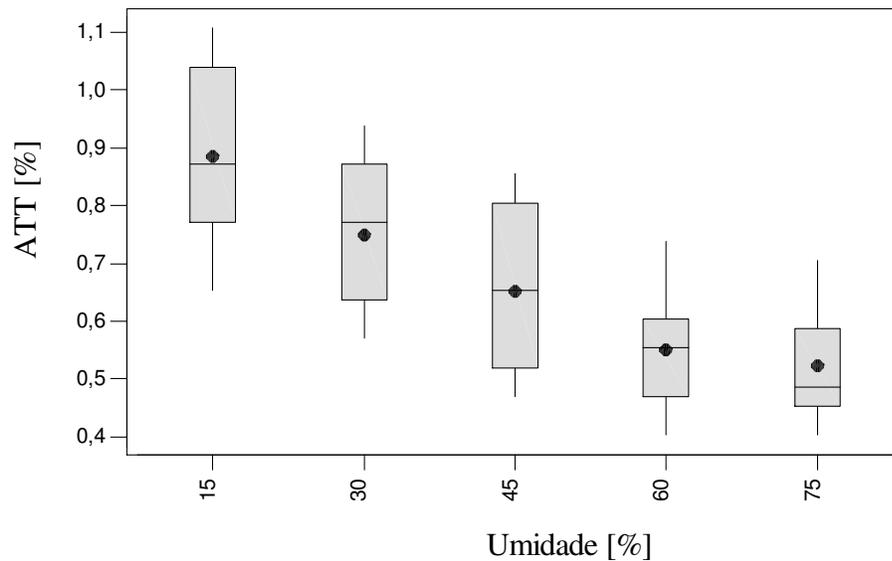


FIGURA 57 Box Plot para acidez titulável (AT) de purê de banana em função de umidade pretendida (%).

Menores teores de AT foram observados nas amostras que não foram submetidas ao processo de desidratação e adição de açúcar, sendo este valor de 0,68 de ácido málico, e maiores teores foram observados nas amostras que foram desidratadas até 15% de umidade, sem adição de açúcar.

Com base nos resultados anteriormente mencionados procedeu-se com o ajuste do modelo de regressão múltipla de AT em função de açúcar, temperatura e umidade experimental. O modelo que teve melhor qualidade no ajuste aos dados experimentais é a equação 4.10, cujo  $R^2$  foi 0,95. O método utilizado na

obtenção do modelo (Backward Elimination Method) foi descrito por Draper & Smith (1981).

$$ATT = 1,49 - 0,0607 A\grave{c} - 0,0225 U_{bu} + 0,000156 U_{bu}^2 + 0,00198 A\grave{c} U_{bu} + 0,00139 A\grave{c}^2 - 0,000022 A\grave{c} U_{bu}^2 - 0,000070 A\grave{c}^2 U_{bu} + 0,000001 A\grave{c}^2 U_{bu}^2 \quad (4.10)$$

onde: AT - acidez titulável [%]  
 Aç - teor de açúcar adicionado ao purê [%]  
 U<sub>bu</sub> - umidade base úmida [%]

Um outro fator que confirma a validação do modelo é dado pela significância dos parâmetros conforme os resultados apresentados na Tabela 23.

TABELA 23 Análise de significância dos coeficientes por meio do teste t-student para acidez total titulável de purê de banana.

Parâmetro	Coefficiente	Estatística T	p-valor
Intercepto	1,49118	21,34	0,000
Teor de açúcar	-0,06067	-4,12	0,000
Umidade (bu)	-0,022506	-6,98	0,000
Umidade (bu) <sup>2</sup>	0,00015585	4,68	0,000
Teor de Açúcar Umidade (bu)	0,0019795	2,67	0,009
Teor de açúcar <sup>2</sup>	0,0013860	1,98	0,052
Teor de Açúcar Umidade (bu) <sup>2</sup>	-0,00002190	-2,62	0,011
Umidade (bu) Teor de açúcar <sup>2</sup>	-0,00007023	-1,88	0,064
Umidade (bu) <sup>2</sup> Teor de açúcar <sup>2</sup>	0,00000088	2,00	0,051

Os resultados apresentados na Tabela 23 evidenciam que todos os coeficientes, seja no efeito linear ou quadrático, foram significativos ( $p < 0,05$ ), porém não houve efeito significativo dos coeficientes relativos à variável  $Aç^2$  ( $p < 0,05$ ). Mesmo assim, esses componentes foram mantidos no modelo, visto que este mostrou um alto poder preditivo (Figura 58).

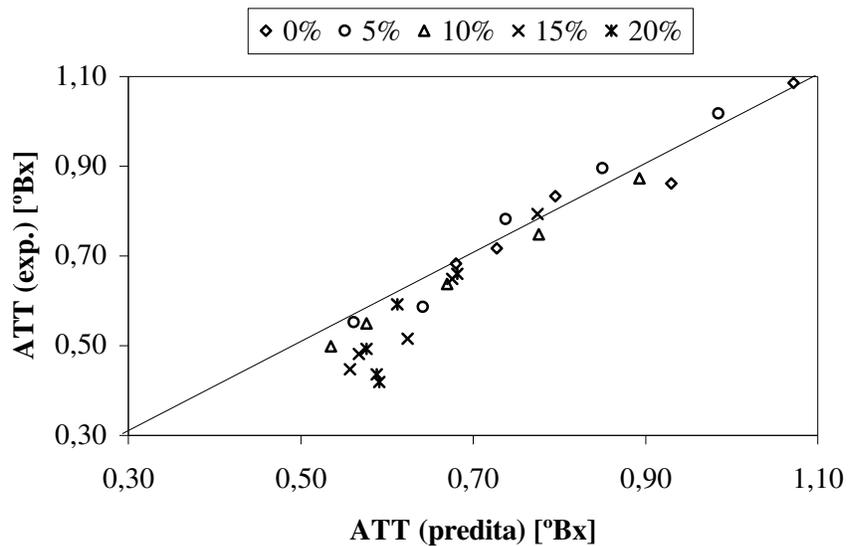


FIGURA 58 Resultados preditos pelo modelo vs valores experimentais de acidez titulável de purê de banana em função de níveis de açúcar (0, 5, 10, 15, 20% de adição de açúcar) e de umidade experimental

Na Figura 59 são mostrados os valores médios de AT em função de umidade experimental, sob efeito de cinco teores de açúcar.

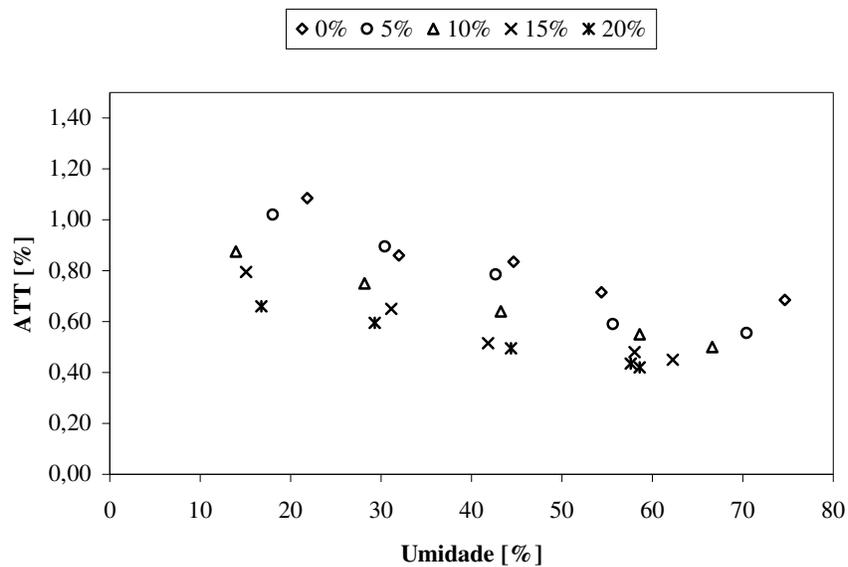


FIGURA 59 Valores médios de acidez total titulável de purê de banana em função de umidade experimental, sob efeito de cinco teores de açúcar.

É importante ressaltar que maiores valores de AT proporcionam uma maior manutenção da cor do alimento desidratado.

#### 4.4.2 pH

Os valores médios da pH de purê de banana determinados estão apresentados na Tabela 24.

TABELA 24 Valores médios de pH de purê de banana desidratado em cinco níveis de umidade e cinco teores de adição de açúcar.

Médias finais para pH					
Açúcar [%]	Teor de Umidade [%]				
	<b>75</b>	<b>60</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>15</b>
<b>0</b>	4,77	4,60	4,49	4,45	4,48
<b>5</b>	4,75	4,50	4,57	4,32	4,45
<b>10</b>	4,76	4,75	4,41	4,34	4,11
<b>15</b>	4,74	4,74	4,46	4,49	4,30
<b>20</b>	4,80	4,55	4,58	4,47	4,14

Pela Tabela 24, observa-se um aumento do pH com o aumento da umidade em todos os níveis de açúcar adicionado. A menor média obtida para o pH (4,80) representa a porcentagem máxima de adição de açúcar e para o purê não desidratado (75% de umidade). A média que representa o fruto *in natura*, Teor de Umidade 75% e Açúcar 0%, está bem próxima do valor obtido por Tsen e King (2002) de 4,53 para pH de banana *Musa sapientum L.*

Preliminarmente ao ajuste de um modelo para a dureza em função das variáveis classificatórias (teor de açúcar e umidade experimental) procedeu-se com análise descritiva, conforme as Figuras 60 e 61.

Analisando os resultados apresentados por meio da Figura 60, o pH do purê de banana não sofre efeito significativo com aumento do teor de açúcar adicionado ( $p < 0,05$ ), o que pôde ser comprovado por análise de variância.

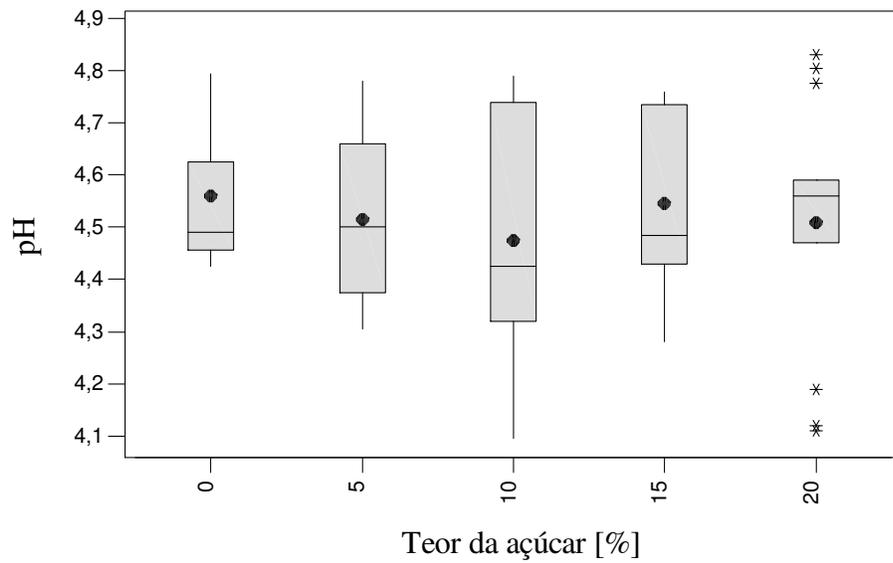


FIGURA 60 Box Plot para pH de purê de banana em função de adição de açúcar [%].

Em relação ao efeito da umidade sobre o pH do purê de banana, observa-se um aumento do pH com o aumento da umidade, significativo ao nível de 95% de certeza, (Figura 61).

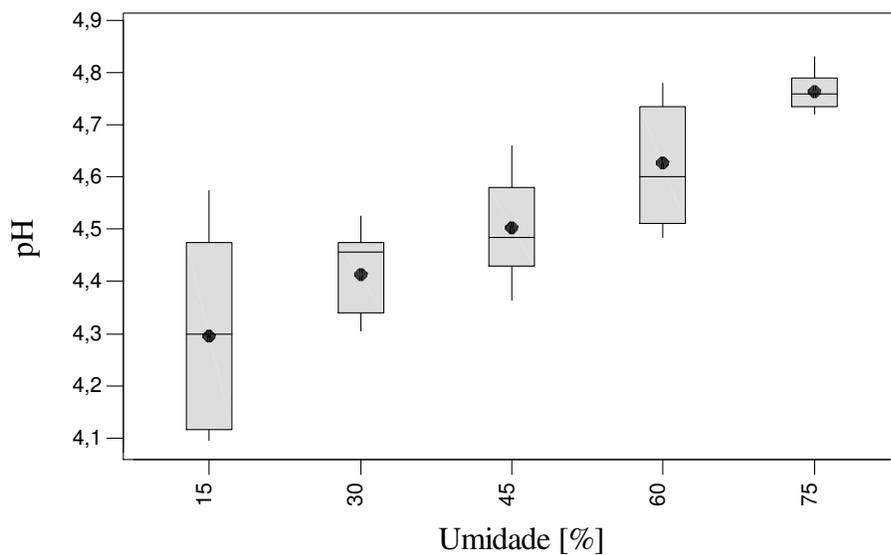


FIGURA 61 Box Plot para pH de purê de banana sob o efeito da umidade [%].

Observou-se uma correlação inversa entre pH e ATT com a diminuição da umidade do purê de banana em todas as concentrações de açúcar (Figuras 4.45 e 4.49). Entretanto, não se detectou esta mesma correlação, analisando-se o comportamento desta variável com a adição de açúcar no purê. É provável que a adição pode não ter causado este mesmo efeito inverso entre ATT e pH por este estar dentro de uma faixa tamponante.

Com base nos resultados obtidos experimentalmente, procedeu-se com o ajuste do modelo de regressão múltipla de pH de purê de banana em função de açúcar e umidade experimental. O modelo, obtido pelo método Backward

Elimination (Draper & Smith, 1981), que teve melhor qualidade no ajuste aos dados experimentais é a equação 4.11, cujo  $R^2$  foi 0,80.

$$\text{pH} = 4,39 - 0,0289 A_{\zeta} + 0,000065 U_{bu}^2 + 0,000583 A_{\zeta} U_{bu} + 0,000036 A_{\zeta}^2 U_{bu} - 0,000001 A_{\zeta}^2 U_{bu}^2 \quad (4.11)$$

onde:  $A_{\zeta}$  - teor de açúcar adicionado ao purê [%]

$U_{bu}$  - umidade base úmida [%]

Um outro fator que confirma a validação do modelo é dado pela significância dos parâmetros conforme os resultados apresentados na Tabela 25.

TABELA 25 Análise da significância dos coeficientes por meio do teste t-student para pH de purê de banana.

Parâmetro	Coefficiente	Estatística T	p-valor
Intercepto	4,39135	145,35	0,000
Teor de açúcar	-0,028851	-4,99	0,000
Umidade (bu) <sup>2</sup>	0,00006501	6,39	0,000
Teor de Açúcar Umidade (bu)	0,0005830	3,78	0,000
Umidade (bu) Teor de açúcar <sup>2</sup>	0,00003621	2,97	0,004
Umidade (bu) <sup>2</sup> Teor de açúcar <sup>2</sup>	-0,00000063	-2,96	0,004

Observa-se, pelo teste de significância realizado, um efeito significativo de todos coeficientes ( $p < 0,01$ ), contribuindo, portanto, com o poder preditivo do modelo (Figura 62).

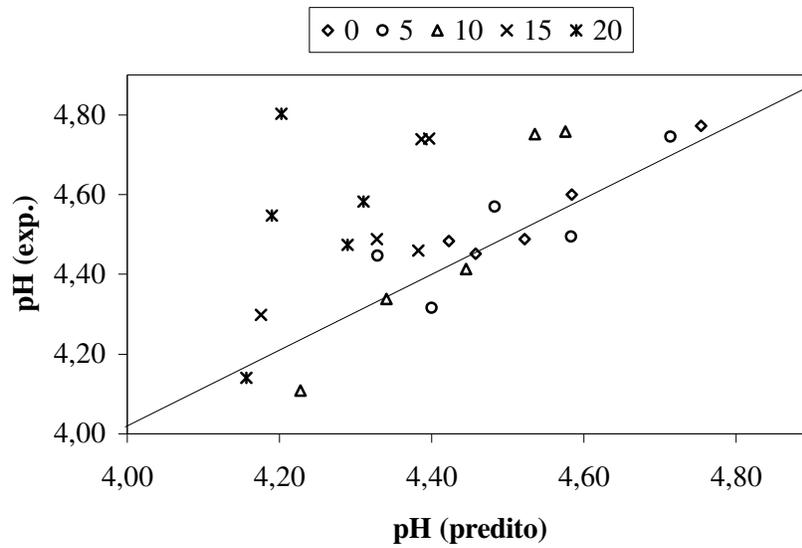


FIGURA 62 Resultados preditos pelo modelo vs valores experimentais de pH de purê de banana em função de níveis de açúcar (0, 5, 10, 15, 20% de adição de açúcar) e de umidade experimental

Na Figura 63 são mostrados os valores médios de pH em função de umidade experimental e teores de açúcar adicionado.

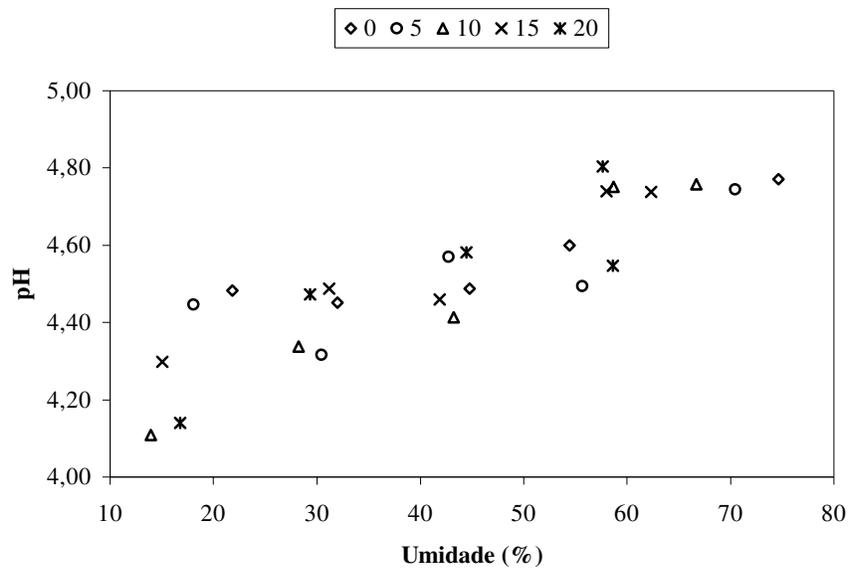


FIGURA 63 Valores médios de pH de purê de banana em função de umidade experimental e adição de açúcar.

#### 4.4.3 Sólidos solúveis totais (S.S.T.)

Os valores médios de sólidos solúveis totais de purê de banana estão apresentados na Tabela 26.

TABELA 26 Valores médios de sólidos solúveis totais de purê de banana desidratado em cinco níveis de umidade e cinco teores de adição de açúcar.

Médias finais para SST [°B]					
Açúcar [%]	Umidade pretendida [%]				
	<b>75</b>	<b>60</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>15</b>
<b>0</b>	24,83	41,33	50,17	61,50	69,50
<b>5</b>	28,50	40,50	52,33	61,67	75,33
<b>10</b>	32,17	40,50	56,67	65,33	78,67
<b>15</b>	37,67	41,17	56,83	61,83	80,17
<b>20</b>	42,33	42,50	56,33	68,17	82,17

Comparando os valores encontrados neste trabalho com os observados por Tsen & King (2002), constata-se uma razoável diferença nos níveis de sólidos solúveis de 24,70 para 18,2 °Bx, respectivamente. As prováveis causas da diferença encontrada podem estar relacionadas a fatores tais como variedade, tratamentos culturais e estágios de maturação.

Preliminarmente ao ajuste de um modelo para SST em função das variáveis classificatórias (teor de açúcar e umidade experimental) procedeu-se com análise descritiva, conforme as Figuras 64 e 65.

Analisando os resultados apresentados por meio da Figura 64, pode-se observar um pequeno aumento dos SST com o aumento de açúcar adicionado, este fato, porém, não foi estatisticamente significativo.

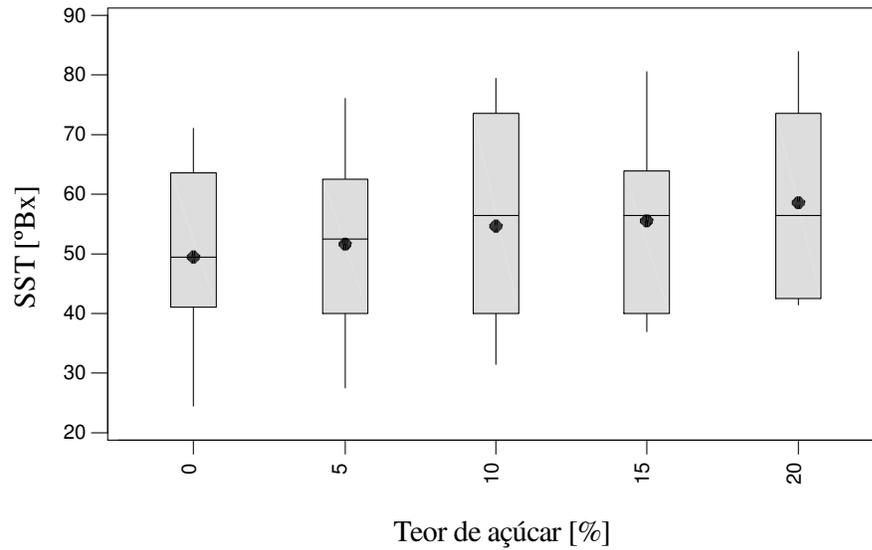


FIGURA 64 Box Plot para sólidos solúveis totais (SST) [°B] em função de adição de açúcar [%].

Avaliando o efeito da variação da umidade no número de sólidos solúveis totais de purê de banana, a umidade age de maneira negativa ( $p < 0,01$ ) sobre esta variável (Figura 65). Este resultado é confirmado pela variabilidade das médias de SST mostrada por cada “caixa”. Essa diferença se dá pela maior concentração dos sólidos no produto, ocasionado pelo maior nível de desidratação.

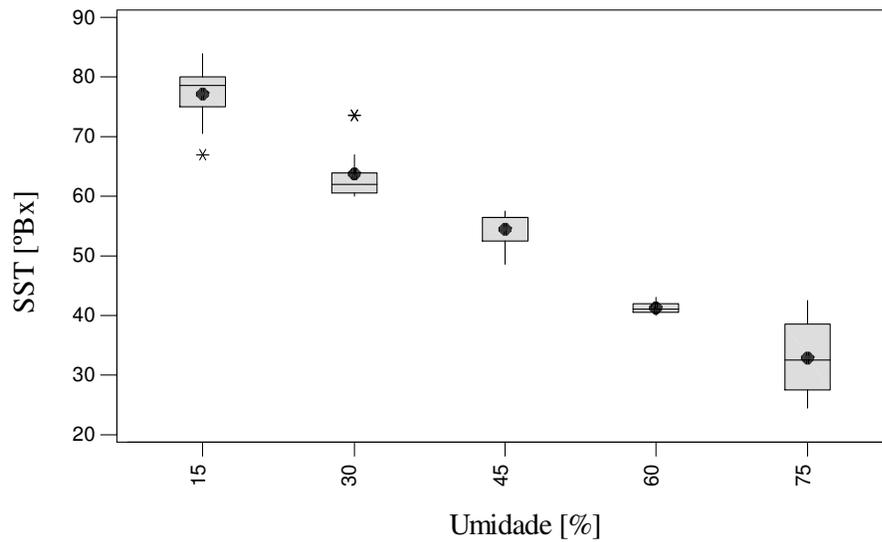


FIGURA 65 Box Plot para sólidos solúveis totais (SST) [°Bx] de purê de banana em função de umidade [%].

Com base nos resultados obtidos experimentalmente, procedeu-se com o ajuste do modelo de regressão múltipla de SST em função de açúcar e umidade experimental. O modelo, obtido pelo método Backward Elimination (Draper & Smith, 1981), que teve melhor qualidade no ajuste aos dados experimentais é a equação 4.12, cujo  $R^2$  foi 0,99.

$$SST = 88,8 - 0,857 U_{bu} + 0,0191 A\zeta^2 - 0,000160 A\zeta^2 U_{bu} \quad (4.12)$$

onde: SST - sólidos solúveis totais [°Bx]  
 Aç - teor de açúcar adicionado ao purê [%]  
 U<sub>bu</sub> - umidade base úmida [%]

Um outro fator que confirma a validação do modelo é dado pela significância dos parâmetros conforme os resultados apresentados na Tabela 27.

TABELA 27 Análise da significância dos coeficientes por meio do teste t-student para sólidos solúveis totais de purê de banana.

<b>Parâmetro</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Estatística T</b>	<b>p-valor</b>
Intercepto	88,7649	107,17	0,000
Umidade (bu)	-0,85667	-49,28	0,000
Teor de açúcar <sup>2</sup>	0,019072	4,68	0,000
Umidade (bu) Teor de açúcar <sup>2</sup>	-0,00016019	-1,80	0,076

Os resultados apresentados na Tabela 27 evidenciaram que todos os coeficientes ajustados foram significativos, isto é, apresentaram um valor estatisticamente diferente de zero, exceto para a interação Umidade e Açúcar<sup>2</sup> (p<0,01), porém, não foi descartada essa interação do modelo devido ao alto valor de R<sup>2</sup> encontrado (R<sup>2</sup> = 99,0%). Os demais coeficientes têm uma importante contribuição no modelo, mostrando um alto poder preditivo (Figura 66).

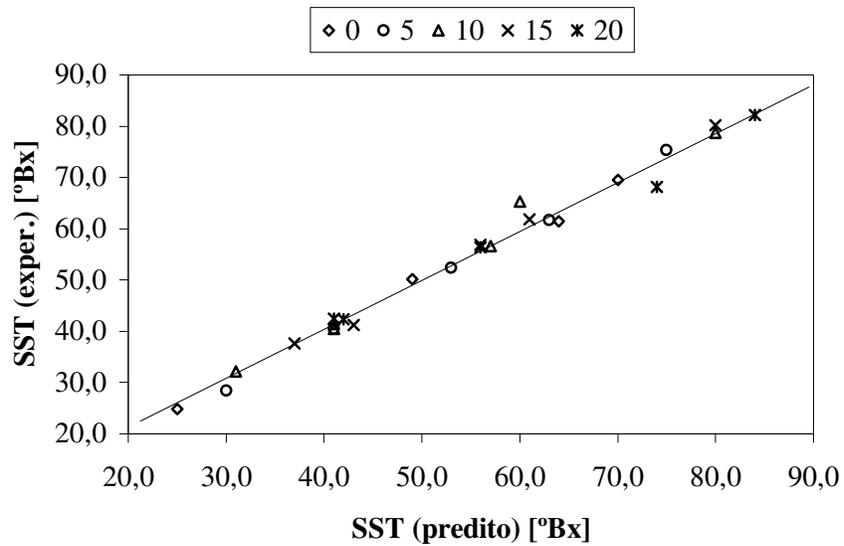


FIGURA 66 Resultados preditos pelo modelo vs valores experimentais de sólidos solúveis totais de purê de banana em função de níveis de açúcar (0, 5, 10, 15, 20% de adição de açúcar) e de umidade experimental.

Na Figura 67 são mostrados os valores médios de sólidos solúveis totais em função de umidade experimental e teores de açúcar adicionado.

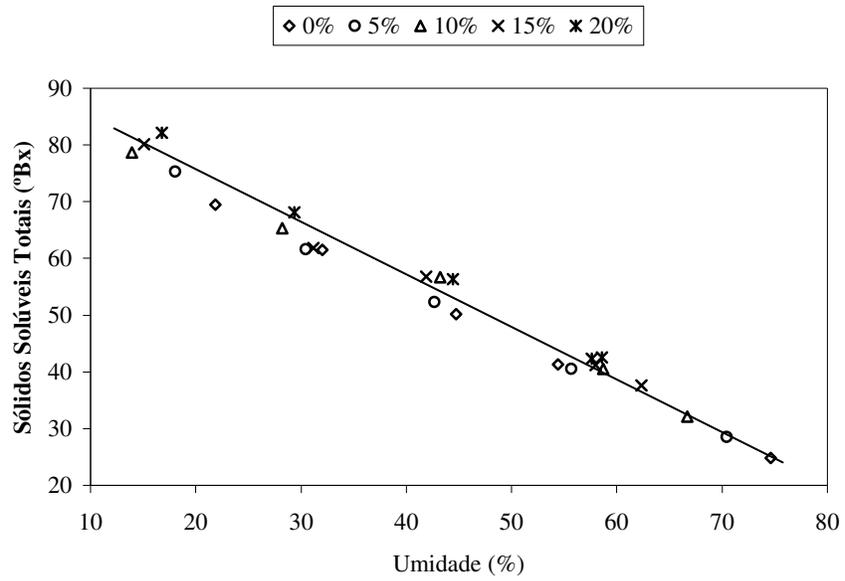


FIGURA 67 Valores médios de sólidos solúveis totais de purê de banana em função de umidade experimental e adição de açúcar.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e as discussões realizadas, pode-se concluir que:

- A adição de açúcar não causa efeito relevante sobre as variáveis analisadas;
- A elevação da temperatura promove um aumento nos valores das propriedades termofísicas estudadas;
- A condutividade térmica, calor específico e difusividade térmica do purê de banana são diretamente proporcionais ao teor de umidade;
- A condutividade térmica, medida pelo método da sonda, tem os desvios em relação à média aumentados à medida que se eleva a temperatura de análise;
- A diminuição da umidade pela desidratação e pela adição de açúcar age da mesma forma sobre a atividade de água do purê de banana;
- A desidratação promove alteração na cor do purê de banana, que tem seu efeito minimizado pela adição de açúcar, e conseqüentemente, menor tempo de exposição ao calor.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. O.; SOUZA, J. S.; CORDEIRO, Z. J. M.; INÁCIO, E. S. B. Mercado Mundial. **Banana Pós-colheita**. Brasília: Embrapa, 2001. v. 16, p. 9-14. (Série Frutas do Brasil).

ALVARADO, J. D. Densidad y gravedad específica. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. (Ed.). **Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos**. Zaragoza: Acríbia, 2001. 410 p.

ALVARADO, J. D. Specific heat of dehydrated pulps of fruits. **Journal of Food Process Engineering**, Connecticut, v. 14, n. 3, p. 189-195, Sept. 1991.

ALVES, D. G. **Obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem**. 2003. 149p. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ALVES, E. J. Colheita. **Banana pós-colheita**. Brasília: Embrapa, 2001. p. 20-22. (Série Frutas do Brasil, 16).

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16. ed. Washington, 1995. v. 2.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 12. ed. Washington, 1992. 1015 p.

BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Measurement and prediction of thermal properties of tomato using MDSC. **International Congress on Engineering and Food – ICEF, 8., 2000, Puebla City, Mexico. Proceedings...** Puebla City, Mexico, 2000. p. 23-27.

BERTOLO, G.; BROVETTO, B. R.; VECCHI, P.; CARDONE, G.; LEVA, A. A.; TORREGGIANI, D. Influence of temperature and extent of dehydration on texture and colour of apricot and strawberry ingredients. **International Congress on Engineering and Food – ICEF, 8., 2000, Puebla City, Mexico. Proceedings...** Puebla City, Mexico, 2000. p. 1220-1224.

BHUMBLA, V. K.; SINGH, A. K.; SINGH, Y. Prediction of thermal conductivity of fruit juices by a thermal resistance model. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 4, p. 1007-1012, July/Aug. 1989.

BOTREL, N.; SILVA, O. F.; BITTENCOURT, A. M. Procedimentos pós-colheita. **Banana Pós-colheita**. Brasília: Embrapa, 2001. p. 32-39. (Série Frutas do Brasil, 16).

BROCKMAN, M. C. Development of intermediate moisture foods for military use. **Food Technology**, Chicago, v. 24, n. 7, p. 896-900, July 1970.

CANO CHAUCA, M. N. **Avaliação dos parâmetros de qualidade envolvidos na desidratação de banana (*Musa spp. Nanica* (AAA))**. 2000. 74 p. Dissertação de mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CASTAÑÓN, X.; IBARZ, A.; WELTI-CHANES, J.; PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A. Water activity effects on air drying behavior and quality of mango. **International Congress on Engineering and Food – ICEF**, 8., 2000, Puebla City, Mexico. **Proceedings...** Puebla City, Mexico, 2000. p. 1066-1070.

CHANDRA, P. K.; SOBRAL, P. J. A. Expressões matemáticas de propriedades termofísicas para alimentos de umidade intermediária. **Ciência e Engenharia**, Uberlândia, v. 8, n. 2, p. 100-107, jul./dez. 1999.

CHEN, C. S. Thermodynamic analysis of the freezing and thawing of foods: enthalpy and apparent specific heat. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 4, p. 1158-1162, July/Aug. 1985.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320 p.

CHUN, J. K.; LEE, Y. J.; SHIN, S. G.; KIM, K. H. Effect of bulk density on the thermal conductivity of cooked rice. **International Congress on Engineering and Food – ICEF**, 8., 2000, Puebla City, Mexico. **Proceedings...** Puebla City, Mexico, 2000. p. 9-13.

CHUNG, D. S.; CHANG, D. I. Principles of food dehydration. **Journal of Food Protection**, Ames, v. 45, n. 5, p. 475-478, May 1982.

COLLINS, J. L.; CHEN, C. C.; PARK, J. R.; MUNDT, T. V.; MCCARTHY, J. E.; JOHNSTON, M. R. Preliminary studies on some properties of intermediate

moisture, deep-fried fish fresh. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 37, n. 2, p. 189-90, Mar./Apr. 1972.

CONSTENLA, D. T.; LOZANO, J. E.; CRAPISTE, G. H. Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 3, p. 663-668, May/June 1989.

CORRY, J. E. L. The safety of intermediate moisture foods with respect to salmonella. In: DAVIES, R.; BIRCH, G. G.; PARKER, K. J. (Ed.) **Intermediate moisture foods**. London: Applied Science Publication, 1976. p. 215-238.

DELGADO, A. E.; GALLO, A.; DE PIANTE, D.; RUBIOLO, A. Thermal conductivity of unfrozen and frozen strawberry and spinach. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 137-146, Feb. 1997.

DICKERSON, R. W. New apparatus for the measurement of the thermal diffusivity of foods. **Food Technology**, Chicago, v. 19, n. 5, p. 880-886, May 1965.

DONSI, G.; FERRARI, G.; NIGRO, R. Experimental determination of thermal conductivity of apple and potato at different moisture contents. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 30, n. 3/4, p. 263-268, Nov./Dec. 1996.

DRAPER, N. S.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2. ed. New York: J. Wiley, 1981. 709 p. (Wiley series in probability and mathematical statistics).

DURÁN, L.; FISZMAN, S. M.; BARBER, C. B. Propriedades mecánicas empíricas. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. (Ed.). **Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos**. Zaragoza: Acríbia, 2001. 410 p.

ELUSTONDO, D.; ELUSTONDO, M. P.; URBICAIN, M. J. Mathematical modeling of moisture evaporation from foodstuffs exposed to subatmospheric pressure superheated steam. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, n. 1, p. 15-24, July 2001.

ERICKSON, L. E. Recent developments in intermediate moisture foods. **Journal of Food Protection**, Ames, v. 45, n. 5, p. 484-91, May 1982.

FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U. Produtos. **Banana Pós-colheita**. Brasília: Embrapa, 2001. p. 65-67. (Série Frutas do Brasil, 16).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION-FAO. Disponível em:  
<<http://apps.fao.org>>. Acesso em: 10 fev. 2004.

GANDÓN, J.; SOBRAL, P. J. A. Determinación del calor específico de siropes concentrados de naranja. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS, 3., 2001, Valencia. **Anais...** Valencia, 2001. p. 99-104.

GARCÍA, A.; CASTRO, D.; FERNÁNDEZ, M.; SEVILLANO, E.; VICENTE, I.; ACOSTA, V.; CASALS, C. Propuesta de innovación tecnológica de pulpa de platano estabilizada por métodos combinados. **Alimentaria**, Madrid, v. 289, n. 36, p. 71-74, feb. 1998.

GARCÍA, R.; ARRIOLA, M. C.; PORRES, E.; ROLTS, C. Process for banana purée preservation at rural level. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 18, n. 5, p. 323-327, 1985.

HANSMANN, C. F.; JOUBERT, E.; FOURIE, P. C. The constant rate drying period during experimental fruit drying. **Drying Technology**, New York, v. 17, n. 7/8, p. 1459-1470, 1999.

HENSE, H. **Avaliação dos parâmetros termofísicos e cinética de congelamento de cação**. 1990. 167 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HOLDSWORTH, S. D. Dehydration on of food products. A Review. **Journal of Food Tecnology**, Oxford, v. 6, n. 4, p. 331-70, 1971.

HWANG, M. P.; HAYAKAWA, K. A specific heat calorimeter of foods. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 44, n. 2, p. 435-438, Mar./Apr. 1979.

**INSTITUTO ADOLFO LUTZ**. Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos. **3. ed. São Paulo, 1985. v. 1, 533 p.**

JIMÉNEZ, A.; GUTIÉRREZ, G. Color. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. (Ed.). **Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos**. Zaragoza: Acríbia, 2001. 410 p.

KAREL, M. Dehydration of foods. In: FENNEMA, O. R. **Principles of Food Science: preservation physical principles of food**. New York: Marcel Dekker, 1975. v. 4, cap. 10, p. 309-57.

KLEEBERG, H. F. **Estudo comparativo dos parâmetros termodinâmicos e da cinética de congelamento de filé de pescada (*Cynoscion petranus*) cru e cozido**. 1986. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Effect of drying method on physical properties of dehydrated products. **International Drying Symposium** 1998, Greece, v. A, p. 809-816, 1998.

LAND, C. M. van't. **Industrial drying equipment: selection and Application**. New York: Marcel Dekker, 1991. 362 p.

LEE, J. H.; CHOI, Y. H. Color changes in clarified fruit and vegetable juices by mixing ratio. **International Congress on Engineering and Food – ICEF**, 8., 2000, Puebla City, Mexico. **Proceedings...** Puebla City, Mexico, 2000. p. 956-960.

LOZANO, J. E.; ROTSTEIN, E.; URBICAIN, M. J. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 1, p. 1497-1502, Jan./Feb. 1983.

MAGEE, T. R. A.; BRANSBURG, T. Mensurament of thermal diffusivity of potato, malt bread and wheat flour. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 223-232, 1995.

MATTEA, M.; URBICAIN, M. J.; ROTSTEIN, E. Prediction of thermal conductivity of vegetable foods by the effective medium theory. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 51, n. 1, p. 113-115/134, Jan./Feb. 1986.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. Programa **paulista para melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortifrutigranjeiros**. Governo do Estado de São Paulo. 1998.

MIRANDA, R. B. **Avaliação da qualidade de mamões “Papaya” minimamente processados**. 2001. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of foods and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1980.

MORGADO, R. H. , ABREU, J. A. D. Textura de sólidos y semisólidos. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. (Ed.). **Métodos para medir**

**propriedades físicas en industrias de alimentos.** Zaragoza: Acríbia, 2001. 410 p.

NJIE, D. N.; RUMSEY, T. R.; SINGH, R. P. Thermal properties of cassava, yam and plantain. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 37, n. 1, p. 63-76, June 1998.

PARK, K. J.; MURR, F. E.; SALVADEGO, M. Medição da condutividade térmica de milho triturado pelo método da sonda. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 242-247, set./dez. 1997.

PLITMAN, M.; PARK, Y.; GOMEZ, R.; SINSKEY, A. T. Viability of staphylococcus aureus in intermediate moisture meats. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 32, n. 6, p. 1004-8, Sept./Oct. 1973.

RAO, M. A.; BARNARD, J.; KENNY, J. F. Thermal conductivity na thermal diffusivity of process variety squash and white potatoes. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 18, n. 6, 1188-1192, Nov./Dec. 1975

RAPUSAS, R. S.; DRISCOLL, R. H. Thermophysical properties of fresh and dried white onions slices. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 24, n. 2, p. 149-164, 1995.

SARAVACOS, G. D.; KOSTAROPOULOS, A. E. Transport properties in processing of fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 49, n. 9, p. 99-100, 102-105, Sept. 1995.

SCHMALKO, M. E.; MORAWICKI, R. O.; RAMALLO, L. A. Simultaneous determination of specific heat capacity and thermal conductivity using the finite-difference method. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 31, n. 4, p. 531-540, Mar. 1997.

SILVA, J. A. **Tópicos da engenharia de alimentos.** São Paulo: Varela. 2000. 227 p.

SILVA, S. B. **Propriedades termofísicas de polpa de abacaxi.** 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introducción a la Ingeniería de los alimentos.** Zaragoza: Acribia, 1998. 544 p.

SOBRAL, P. J. A.; LEBERT, A.; BIMBENET, J. J. Effet du séchage sur la rétrécissement de cubes de pomme de terre. **Sciences des Aliments**, Paris, v. 21, p. 231-242, 2001.

SOBRAL, P. J. A.; LEBERT, A.; BIMBENET, J. J. Isothermes de désorption de la pomme de terre entre 40 et 70 °C. **Sciences des Aliments**, Paris, v. 19, p. 771-720, 1999.

SUTER, D. A.; AGRAWAL, K. K.; CLARY, B. L. Thermal properties of peanut pods, hulls and kernels. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 18, n. 2, 370-375, Mar./Apr. 1975.

SWEAT, V. E. Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetables. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 39, n. 6, p. 1080-1083. Nov./Dec. 1974.

TAOUKIS, D. S.; BREENE, W. M.; LABUZA, T. P. Intermediate moisture foods. **Advances in Cereal Science and Technology**, Washington, v. 9, p. 91-128, 1988.

TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; SILVEIRA E. T. Desidratação de frutas. In: INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Desidratação de frutas e hortaliças: manual técnico**. Campinas, 2001. p. 3. 1-3. 40.

TSEN, J. H.; KING, V. A. E. Density of banana puree as a function of soluble solids concentration and temperature. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 55, n. 4, p. 305-308, Dec. 2002.

VILAS BOAS, E. V. B.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; MANEZES, J. B. Características da Fruta. **Banana Pós-colheita**. Brasília: Embrapa, 2001. p. 15-19. (Série Frutas do Brasil, 16).

VOUDOURIS, N.; HAYAKAWA, K. Simultaneous determination of thermal conductivity and diffusivity of foods using a point heat source probe: a theoretical analysis. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 27, n. 6, p. 522-532, 1994.

WANG, N.; BRENNAN, J. G. The influence of moisture content and temperature on the specific heat of potato measured by differential scanning calorimetry. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 19, n. 3, p. 303-310, 1993.