

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS AGROPECUÁRIAS  
LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**Desidratação osmótica de banana (*Musa spp.*): cinética de desidratação e  
avaliação de compostos bioativos**

**Juliana Araújo Rangel de Almeida**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ**

**AGOSTO – 2011**

**Desidratação osmótica de banana (*Musa spp.*): cinética de desidratação e avaliação de compostos bioativos**

**Juliana Araújo Rangel de Almeida**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título Mestre em Produção Vegetal”.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Nádía Rosa Pereira

Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daniela Barros de Oliveira

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

AGOSTO - 2011

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA / UENF 031/2012

Almeida, Juliana Araújo Rangel de

Desidratação osmótica de banana (*Musa spp.*):cinética de desidratação e avaliação de compostos bioativos / Juliana Araújo Rangel de Almeida. – 2011.

59 f. : il.

Orientador: Nádya Rosa Pereira.

Dissertação (Mestrado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2011.

Inclui bibliografia.

1. Desidratação por imersão-impregnação 2. Composto fenólico 3. Tanino 4. Atividade antioxidante 5. Planejamento experimental I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD – 664.0284

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA.....	iii
LISTA DE TABELA .....	v
LISTA DE ABREVIações.....	vii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1 BANANA.....	4
3.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA .....	9
3.2.1 Variáveis do processo .....	11
3.2.2 Cinética de desidratação osmótica.....	13
3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	14
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	14
4.1 Seleção e preparação da matéria-prima.....	14
4.2 Caracterização da matéria-prima e do produto final .....	16
4.3 Desidratação osmótica .....	20
4.3.1 Planejamento experimental.....	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.1 Caracterização da matéria-prima.....	24
5.2 Cinética da desidratação osmótica .....	25
5.3 Análise estatística do planejamento experimental .....	28
5.3.1 Cinética de desidratação osmótica.....	28
5.3.1.1 Perda de água.....	28

5.3.1.2	Ganho de sólidos .....	31
5.3.1.3	Perda de peso.....	32
5.3.2	Avaliação das características químicas e físicas .....	35
5.3.2.1	Retenção de compostos fenólicos .....	35
5.3.2.2	Retenção de taninos condensados .....	38
5.3.2.3	Retenção da Atividade Antioxidante .....	40
5.3.2.4	Análise de cor .....	43
5.3.2.5	pH .....	48
6	RESUMO E CONCLUSÕES .....	50
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51

## LISTA DE FIGURA

Figura 1. Estruturas de Galocatequina (LOPES et al., 2003).....	7
<b>Figura 2.</b> Estruturas de Taninos Hidrolisáveis: (a) Galotanino e (b) Elagitanino (BATTESTIN et al., 2004). .....	7
Figura 3. Estrutura de tanino condensado (BATTESTIN et al., 2004).....	8
<b>Figura 4.</b> Estrutura do ácido tânico (BATTESTIN et al., 2004).....	8
Figura 5. Mecanismo de oxidação da tirosina à melanina (SANTOS, 2005). .....	9
Figura 6. Principais fluxos que ocorrem durante o processo de desidratação osmótica (RODRIGUES, 2005).....	10
<b>Figura 7.</b> Coloração característica da casca das frutas utilizadas nos experimentos.....	15
Figura 8. Pré-tratamento de fatias de banana com solução de 0,5 % de ácido ascórbico e 1 % de ácido cítrico a 70 °C por 90 s.....	15
Figura 9. Agitação da amostra diluída de banana para leitura no refratômetro.....	17
<b>Figura 10.</b> Coordenadas $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ (HUNTERLAB, 2011).....	17
Figura 11. Fluxograma para a dosagem de taninos e fenóis totais das amostras <i>in natura</i> , branqueada e desidratada osmoticamente. ....	18
Figura 12. Liofilização das amostras de banana. ....	20
<b>Figura 13.</b> Frascos contendo amostras de banana imersas em solução de sacarose, posicionados na incubadora (a) e conjunto tampa com haste metálica e separadores para fixação das fatias (b). ....	21
<b>Figura 14.</b> Diagrama do processo de desidratação osmótica de banana nanica. ....	22
Figura 15. Foto da banana <i>in natura</i> (A) e da banana branqueada (B).....	25
<b>Figura 16.</b> Perda de água em função do tempo de desidratação osmótica de fatia de banana. ....	26
Figura 17. Ganho de sólidos em função do tempo de desidratação osmótica de fatia de banana. ....	27
<b>Figura 18.</b> Perda de peso em função do tempo de desidratação osmótica de fatia de banana. ....	27
<b>Figura 19.</b> Diagrama de Pareto para perda de água em 60 (a) e 180 min (b) de processo de desidratação osmótica.....	29

Figura 20. Diagrama de Pareto para ganho de sólidos em 60 min de processo de desidratação osmótica. ....	32
<b>Figura 21.</b> Diagrama de Pareto para perda de peso em 60 (a) e 180 min (b) de processo de desidratação osmótica. ....	34
<b>Figura 22.</b> Diagrama de Pareto para retenção de compostos fenólicos em 60 (a) e 180 min (b) de processo de desidratação osmótica. ....	36
<b>Figura 23.</b> Diagrama de Pareto para retenção de taninos condensados em 180 min de processo de desidratação osmótica. ....	39
<b>Figura 24.</b> Diagrama de Pareto para retenção da atividade antioxidante em 60 (a) e 180 min (b) de processo de desidratação osmótica. ....	42

## LISTA DE TABELA

Tabela 1. Composição química da polpa de banana nanica madura <i>in natura</i> .....	5
Tabela 2. Modelo do planejamento experimental fatorial realizado para avaliar a desidratação osmótica de banana Nanica em solução de sacarose com os valores reais e codificados das variáveis.....	23
Tabela 3. Composição química da banana nanica <i>in natura</i> (IN) e branqueada (BR).....	24
<b>Tabela 4.</b> Perda de água, ganho de sólidos e perda de peso para os tempos de 60 e 180 min de desidratação osmótica.....	28
Tabela 5. Estimativa dos efeitos das variáveis independentes e sua variação sobre a perda de água para os tempos de 60 e 180 min. ....	29
Tabela 6. Análise de Variância (ANOVA) para a perda de água para o processo de desidratação osmótica de banana nanica nos tempos de 60 e 180 min.....	30
Tabela 7. Estimativa dos efeitos das variáveis independentes e sua interação sobre o ganho de sólidos para os tempos de 60 e 180 min. ....	31
Tabela 8. Análise de Variância (ANOVA) para o ganho de sólidos para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica no tempo de 60 min.....	32
Tabela 9. Estimativa dos efeitos sobre a perda de peso para os tempos de 60 e 180 min. ....	33
Tabela 10. Análise de Variância (ANOVA) para a perda de peso para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica nos tempos de 60 e 180 min. ....	34
Tabela 11. Retenção de compostos fenólicos (RF), taninos condensados (RT) e atividade antioxidante (RA) para os tempos de 60 e 180 min de desidratação osmótica.....	35
Tabela 12. Estimativa dos efeitos sobre a retenção de compostos fenólicos para os tempos de 60 e 180 min. ....	36
Tabela 13. Análise de Variância (ANOVA) para a retenção de compostos fenólicos para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica no tempo de 60 e 180 min. ....	38
Tabela 14. Efeitos sobre a retenção de taninos condensados para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica. ....	39
Tabela 15. Análise de Variância (ANOVA) para a retenção de taninos para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica no tempo de 180 min. ....	40



Tabela 16. Efeitos sobre a retenção da atividade antioxidante para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica. ....	41
Tabela 17. Análise de Variância (ANOVA) para a retenção da atividade antioxidante para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica nos tempos de 60 e 180 min. ....	43
Tabela 18. Parâmetros de cor ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $\Delta E$ ) para o tempo de 60 e 180 min de desidratação osmótica. ....	44
Tabela 19. Efeitos sobre o parâmetro $L^*$ para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica no tempo 60 e 180 min. ....	45
Tabela 20. Análise de Variância (ANOVA) para o parâmetro L no processo de desidratação osmótica de banana Nanica nos tempos de 60 e 180 min. ....	47
Tabela 21. Valores de pH para o tempo de 60 e 180 min de desidratação osmótica. ....	48
Tabela 22. Estimativa dos efeitos sobre o pH para os tempos de 60 e 180 min. ....	48

## LISTA DE ABREVIações

<b>a*</b>	Índice de saturação vermelha definido pela CIE (1976)
<b>a<sub>0</sub></b>	Índice de saturação vermelha da amostra branqueada
<b>b*</b>	Índice de saturação amarelo definido pela CIE (1976)
<b>b<sub>0</sub></b>	Índice de saturação amarelo da amostra branqueada
<b>BR</b>	Branqueada
<b>C</b>	Concentração da solução osmótica (% p/p)
<b>DO</b>	Desidratação osmótica
<b>DP</b>	Desvio padrão
<b>DPPH</b>	2,2-difenil-1-picril hidrazil
<b>GL</b>	Graus de liberdade
<b>GS</b>	Ganho de sólidos (%)
<b>IN</b>	<i>In natura</i>
<b>L*</b>	Índice de luminosidade definido pela CIE (1976)
<b>L<sub>0</sub></b>	Índice de luminosidade da amostra branqueada
<b>MQ</b>	Média quadrática
<b>ns</b>	Não significativo
<b>p</b>	Significância da regressão
<b>PA</b>	Perda de água (%)
<b>PCT</b>	Condição do ponto central do planejamento experimental
<b>PP</b>	Perda de peso (%)
<b>R<sup>2</sup></b>	Coeficiente de determinação
<b>RA</b>	Retenção da atividade antioxidante (%)
<b>RF</b>	Retenção de compostos fenólicos totais (%)
<b>RT</b>	Retenção de taninos condensados (%)
<b>SQ</b>	Soma quadrática
<b>SST</b>	Sólidos solúveis totais (°Brix)
<b>T</b>	Temperatura (°C)
<b>UV-V</b>	Ultravioleta - visível
<b>VC</b>	Valor codificado das variáveis do planejamento experimental
<b>VR</b>	Valor real das variáveis do planejamento experimental
<b>X</b>	Conteúdo de umidade na amostra (%)
<b>Wa<sub>0</sub></b>	Massa de água do material inicial (t=0)
<b>Wa<sub>t</sub></b>	Massa de água do material no tempo t

<b><math>W_{s_0}</math></b>	Massa de sólidos do material inicial ( $t=0$ )
<b><math>W_{s_t}</math></b>	Massa de sólidos do material no tempo $t$
<b><math>W_0</math></b>	Massa do material inicial
<b><math>\Delta E</math></b>	Varição de cor em relação à amostra branqueada

## RESUMO

A banana é uma das frutas tropicais mais consumidas mundialmente, mas cerca de 50% da produção é perdida pelo rápido amadurecimento do fruto e condições não adequadas de transporte e armazenamento. A desidratação osmótica proporciona um produto com maior vida de prateleira e pode proporcionar melhor qualidade ao produto final. Neste trabalho, foram estudadas as transferências de massa e a retenção dos compostos fenólicos, dos taninos condensados e da atividade antioxidante em fatias de banana nanica (*Musa cavendishi*) no processo de desidratação osmótica. As fatias de banana foram desidratadas osmoticamente de acordo com o planejamento experimental fatorial  $2^2$  com 3 repetições do ponto central. As variáveis independentes analisadas foram temperatura (30, 40 e 50 °C) e concentração da solução osmótica (45, 55 e 65 °Brix). O processo foi realizado em incubadora com agitação constante de 80 rpm e razão fruta:solução de 1:11 durante 180min. As respostas analisadas foram perda de água, ganho de sólidos, perda de peso, pH, retenção dos compostos fenólicos, retenção dos taninos condensados, retenção da atividade antioxidante e parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) das fatias processadas durante 60 e 180min. Foi observado aumento na perda de água, redução no parâmetro  $L^*$  e retenção de compostos fenólicos e atividade antioxidante com aumento da temperatura da solução e aumento no ganho de sólidos com aumento da concentração da solução osmótica. A retenção da atividade antioxidante da fruta osmoticamente desidratada foi superior a 97%, então se conclui que o processo de desidratação osmótica promove redução parcial da umidade da fruta, mantendo a atividade antioxidante dos seus compostos bioativos com intensificação da coloração da fruta. Dessa maneira, este estudo pode ser útil para desenvolvimento de processos de alimentos que utilizem a desidratação osmótica, ou para processamento mínimo ou como pré-tratamento, e que tenham como enfoque a preservação das qualidades funcionais do produto processado.

Palavras-chave: desidratação por imersão-impregnação, compostos fenólicos, taninos, atividade antioxidante, planejamento experimental.

## ABSTRACT

Banana is one of the most consumed tropical fruits worldwide, but about 50% of the production is lost by the rapid fruit ripening and an unsuitable transport and storage conditions. Osmotic dehydration process provides a product with longer shelf life and may provide a product with better quality. In this work, it has been studied the mass transfer and the retention of phenolic compounds, tannins and antioxidant activity in banana (*Musa cavendishi*) submitted to osmotic dehydration process. The banana slices were osmotically dehydrated according to a 2-level factorial experimental design with three repetitions at the central point. The independent variables were osmotic solution temperature (30, 40 and 50 °C) and concentration (45, 55 and 65 °Brix). The processes were carried out in a thermostatic shaker with constant agitation of 80 rpm and fruit to sucrose syrup ratio of 1:11 during 180min. The analyzed responses were water loss, solids gain, weight loss, retention of phenolic compounds, retention of condensed tannins, retention of antioxidant activity and color parameters ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ) of the slices processed during 60 and 180min. It was observed an increase in water loss, a reduction in  $L^*$  color parameter and in retention of phenolics and antioxidant activity with an increase of the solution temperature and an increase in solids gain with an increase of solution concentration. However, the retention of antioxidant activity of osmotically dehydrated fruits was higher than 97%. This leads to the conclusion that the osmotic dehydration process partially decreases the water content of the fruit maintaining the antioxidant activity of its bioactive compounds with an intensification of fruit color. Therefore, this work brings useful information for the development of food processing with employment of osmotic dehydration, either for minimum process or as a pre-treatment, and which aims the preservation of the functional qualities of the product.

Keywords: dewatering-impregnation soaking process, phenolic compounds, tannins, antioxidant activity, experimental design.

## 1 INTRODUÇÃO

A banana é uma das frutas que apresentam alto valor energético e calórico, por isso esta fruta é um componente importante na dieta humana. Entretanto, sofre rápida deterioração após a colheita, devido ao seu rápido amadurecimento, e apresenta baixo valor de mercado. Então, torna-se interessante prolongar a vida de prateleira deste alimento por meio da implantação de métodos de transformação dessa matéria-prima, como a desidratação osmótica, para minimizar essas perdas e para agregar valor ao produto.

As frutas processadas vêm sendo valorizadas pelos consumidores, pois constituem produtos saudáveis com características como praticidade e higiene. Porém, para um produto processado apresentar características sensoriais e nutricionais similares às da matéria-prima é necessária eliminação dos fatores que contribuem para a alteração dessas características. A desidratação osmótica é um processo brando de preservação que mantém a qualidade dos produtos agrícolas. Esse processo reduz a água e aumenta a concentração de açúcares na fruta, proporcionando assim aumento na vida útil do produto sem alterar significativamente as características da fruta *in natura*. O fenômeno de transferência de massa desta tecnologia ocorre em virtude do gradiente osmótico produzido entre a fruta e a solução concentrada de soluto, geralmente sacarose.

O processo de desidratação osmótica pode ser usado para reduzir as perdas nas safras, aumentar a vida de prateleira do produto, melhorar os atributos sensoriais, preservar os valores nutricionais e reduzir o peso do produto, que proporciona a redução do custo da embalagem e do transporte.

Embora este processo promova poucas alterações no produto, há a ocorrência de transferência de substâncias importantes da fruta para a solução desidratante, como vitaminas, minerais e compostos bioativos. Poucos relatos são encontrados na literatura sobre a relação entre as condições da desidratação osmótica e a concentração de vitaminas e compostos bioativos em produtos desidratados osmoticamente.

Como a banana possui importantes compostos bioativos como compostos fenólicos e taninos, que possuem atividade antioxidante, torna-se interessante a avaliação desses compostos no produto submetido ao processo de desidratação osmótica. Estes dados são relevantes principalmente devido à crescente procura por alimentos processados ricos em nutrientes e compostos bioativos por parte

dos consumidores. Portanto, verificar a relação entre a alteração desses compostos na fruta e a cinética de desidratação osmótica da banana é interessante para proporcionar condições de processo que resultem em produtos que apresentem pouca redução na qualidade nutricional e para contribuir com a literatura científica da área, visto que a desidratação osmótica pode ser empregada no processamento mínimo de alimentos e como pré-tratamento a outros processos de preservação, como congelamento e secagem.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho foi estudar a cinética de desidratação osmótica de fatias de banana e avaliar os teores de compostos bioativos, atividade antioxidante e cor, visando à obtenção de um produto com características semelhantes à fruta *in natura*.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência da temperatura e da concentração da solução osmótica no processo de desidratação osmótica de fatias de banana sobre a perda de água, o ganho de sólidos e a perda de peso;
- Avaliar a influência da temperatura e da concentração da solução osmótica nos aspectos relacionados à característica do produto final como: compostos fenólicos totais, taninos condensados, atividade antioxidante, pH e cor.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 BANANA

A bananeira é uma planta herbácea da família Musaceae originária do continente Asiático e, atualmente, vem sendo cultivada em várias regiões tropicais (YANG et al., 2008; DA SILVA et al., 2006). A fruta desta planta, a banana (*Musa spp.*), é uma das mais produzidas no mundo, estando em quarto lugar, sendo precedida apenas pelo arroz, trigo e milho (FAO, 2005). Segundo FIORAVANÇO (2003), a produção mundial de banana apresentou um crescimento considerável de 40 % entre os períodos de 1991-92 a 2001-02.

Segundo a FAO (2008), o Brasil é o quarto maior produtor de banana, perdendo apenas para Índia, Filipinas e China. No Brasil foram produzidos cerca de 7,1 milhões de toneladas de banana no ano de 2007, sendo que no estado do Rio de Janeiro foram produzidas 159 mil toneladas (IBGE, 2009).

A banana é uma das frutas mais consumidas no mundo, tanto pelas classes privilegiadas como pelas classes menos favorecidas (BORGES, 2003). O Brasil é apontado como o maior consumidor mundial de banana, devido ao seu valor socioeconômico, alto valor energético e por conter substâncias com valores nutricionais e/ou propriedades funcionais como: vitaminas A e C, fibras, compostos fenólicos, potássio e outros (DE JESUS et al., 2004; SOMEYA et al. 2002). A tabela 1 apresenta a composição química média da banana nanica madura.

As transformações que ocorrem durante o processo de maturação afetam os compostos químicos dos frutos. A hidrólise do amido é uma das mudanças bioquímicas mais importantes que ocorrem durante o amadurecimento da banana, que é a conversão do amido em açúcares pela ação da enzima amilase, a qual promove alteração na textura da fruta (BOTREL, 2002). De acordo com ADÃO; GLÓRIA (2005) a banana verde contém alto teor de amido, 16 g/100g, e durante a maturação este teor diminui significativamente para 3 g/100g.

Devido às transformações que os carboidratos sofrem, ocorre um aumento na pressão osmótica na polpa da fruta, o que favorece a migração de água da casca para polpa. Com isso a banana verde contém em média 70% de umidade e este valor aumenta para 75% quando completa o amadurecimento (MORTON apud IZIDORO, 2007).

**Tabela 1.** Composição química da polpa de banana nanica madura *in natura*.

Composição química	1	2	3	4
Umidade (g/100g)	74,12	74	74	--
Amido (g/100g)	2,95	--	--	--
Glicose (g/100g)	13,44	--	--	--
Sacarose (g/100g)	5,72	--	--	--
Carboidrato (g/100g)	--	23,8	21,8	--
Lipídios (g/100g)	0,9	0,1	0,3	--
Proteínas (g/100g)	1,31	1,4	1,1	--
Taninos (g/100g)	0,63	--	--	--
Vitamina C (mg/100g)	--	5,9	11,7	17,49
Cinzas (g/100g)	0,61	0,8	--	--
Potássio (mg/100g)	--	376	385	--
Polifenóis totais (mg/100g)	--	--	--	26,58
Flavonoides (mg/100g)	--	--	--	1,30
Carotenoides totais (µg/g)	--	--	--	1,89

Fonte: 1- MEDINA (1985); 2- TACO (2006); 3- AURORE et al. (2009); 4- AMORIN et al. (2011)

Outras transformações ocorrem durante o amadurecimento como a diminuição do teor de vitamina C, devido à atuação direta da enzima ácido ascórbico oxidase (ascorbinase), ou pela ação de enzimas oxidantes como a peroxidase (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Segundo BORGES (2003), a concentração de vitamina C na banana nanica verde é de 17 mg/100g e na madura, 12 mg/100g. Esses resultados estão de acordo com os valores relatados por BOBBIO; BOBBIO (2003), e WALL (2006) que obteve valores 10 mg/100g e 13 mg/100g, respectivamente na banana nanica brasileira.

Quando a maioria das frutas é cortada, amassada ou triturada, ocorre a redução dos compostos fenólicos. Esses compostos são substratos para o escurecimento enzimático, isto é, a oxidação dos compostos fenólicos em *o-quinonas* mediados pela enzima polifenoloxidase.

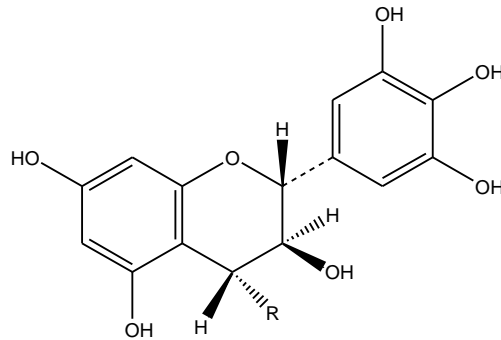
Os compostos fenólicos são estruturas químicas que apresentam hidroxilas e anéis aromáticos, na forma simples ou de polímeros, que apresentam atividade antioxidante (ANGELO; JORGE, 2007). Estes compostos estão amplamente distribuídos no reino vegetal e nos micro-organismos, fazendo também parte do metabolismo animal por ingestão dos mesmos (CARVALHO et al., 2007).

Os compostos fenólicos são biossintetizados a partir do metabolismo secundário das plantas e apresentam baixo peso molecular. Estas substâncias fazem parte do sistema de crescimento e reprodução das plantas, pois atuam protegendo-as, além de plantas e contribuem na pigmentação. Existem cerca de cinco mil fenóis, como os flavonoides, ácidos fenólicos, cumarinas, taninos e lignanas (ANGELO; JORGE, 2007; ARAÚJO, 2004).

Segundo ANGELO e JORGE (2007), os compostos fenólicos possuem atividade antioxidante, ou seja, substâncias que em pequenas concentrações previnem significativamente o início ou a propagação da cadeia de reações de oxidação. O mecanismo de ação dos antioxidantes possui importante papel na redução da oxidação lipídica em tecidos vegetais e animais, sendo assim, quando incorporados na alimentação humana, previnem o risco de desenvolver enfermidades, como arteriosclerose, câncer, envelhecimento precoce e doenças cardiovasculares.

Além dos compostos fenólicos, existem outras substâncias nutracêuticas que apresentam como mecanismo de ação a atividade antioxidante, como os carotenoides e a vitamina C. Essas moléculas ocorrem em uma ampla variedade de vegetais, podendo ser encontradas nas raízes, na casca, nas folhas, nos frutos, nas sementes e na seiva. A polpa da banana possui cerca de 30 mg/100g de galocatequina (figura 1) que é um flavonoide (substância fenólica), que atua como sequestrador de radicais livres (antioxidante) (SOMEYA et al., 2002).

A banana apresenta uma alta porcentagem de taninos, sendo que o fruto verde possui maior concentração de taninos, que o de vez e o maduro (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Os taninos são compostos polifenólicos distribuídos em plantas, alimentos e bebidas (PANSERA et al., 2003). Quimicamente, são classificados em dois grupos principais, cujas estruturas são muito diferentes entre si, embora todos tenham moléculas poli-idroxiladas ou seus derivados. Os pertencentes ao primeiro grupo são denominados taninos hidrolisáveis (figura 2), que incluem os galitaninos e os elagitaninos, polímeros derivados dos ácidos gálicos e elágico e são mais utilizados para curtimento de couro. O outro grupo é composto por taninos condensados (figura 3), que são detectados em maior concentração e possuem maior importância em alimentos (BOBBIO; BOBBIO, 2003).

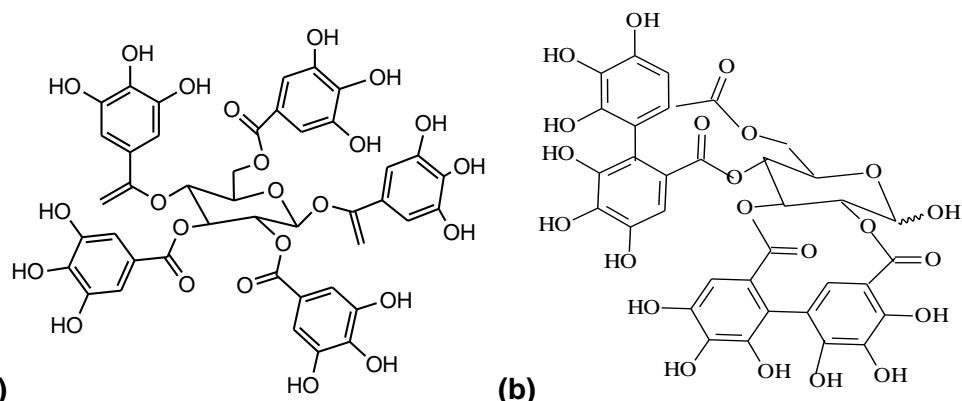


**Figura 1.** Estruturas de Galocatequina (LOPES et al., 2003).

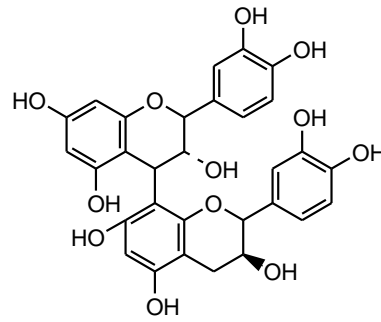
De acordo com DEGÁSPARI et al. (2005), frutos com baixa concentração de taninos possuem característica sensorial desejável. Enquanto a presença de altas concentrações confere-lhes características adstringentes. A sensação de adstringência é proporcionada pela propriedade de precipitação de proteínas que os taninos apresentam. A sensação de adstringência é promovida pelo contato do complexo insolúvel formado pelas proteínas com a saliva.

As plantas ricas em taninos são usadas para diversas moléstias, tais como diarreia, hipertensão arterial, reumatismo, hemorragias, feridas, queimaduras, problemas estomacais (azia, náusea, gastrite e úlcera gástrica), renais e do sistema urinário, e processo inflamatório em geral (SANTOS; MELLO, 2007).

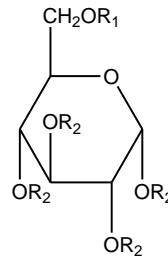
Os trabalhos de pesquisa para quantificação de taninos em banana são escassos, mas segundo ARRUDA et al. (2007), o percentual de taninos na bebida fermentada alcoólica de banana é baixo (0,014 % em média) em relação à banana de vez, pois este processo utilizou a fruta madura para a fermentação. Segundo CHITARRA; CHITARRA (2005), a banana verde possui 0,25% de ácido tânico (figura 4), enquanto a banana madura possui 0,11%.



**Figura 2.** Estruturas de Taninos Hidrolisáveis: (a) Galotanino e (b) Elagitanino (BATTESTIN et al., 2004).



**Figura 3.** Estrutura de tanino condensado (BATTESTIN et al., 2004).

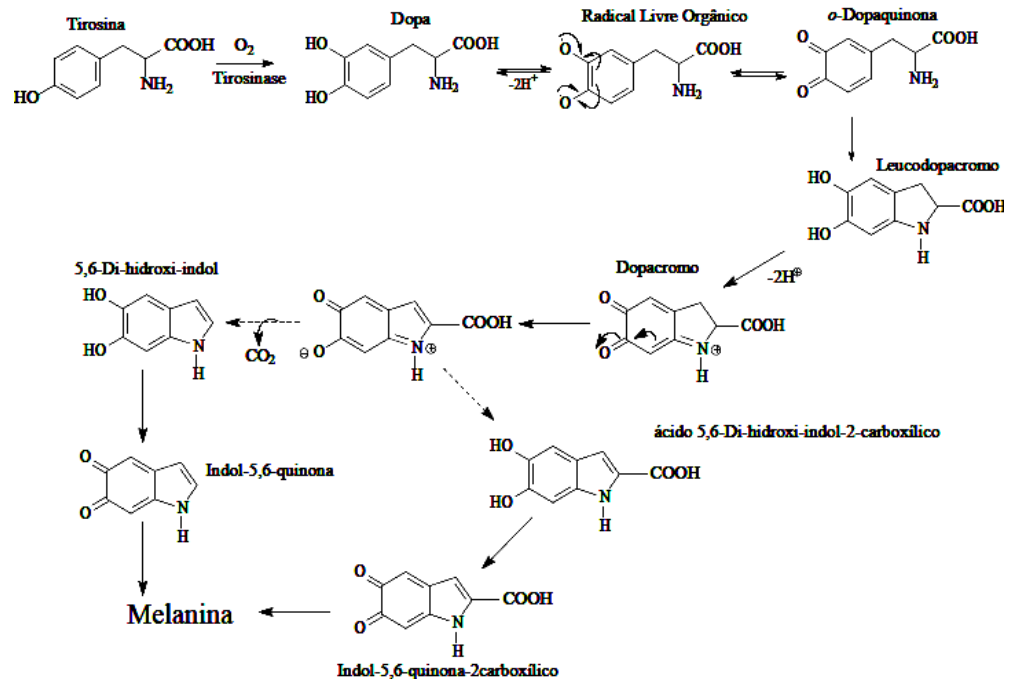


**Figura 4.** Estrutura do ácido tânico (BATTESTIN et al., 2004).

Todavia, existem outras moléculas aromáticas que foram detectadas na banana, como por exemplo, a dopamina, que também sofre oxidação, ou seja, este substrato é oxidado pela enzima polifenol oxidase, ocorrendo escurecimento da fruta como consequência da formação de pigmentos escuros insolúveis, denominados melanina (figura 5) (BOBBIO; BOBBIO, 2003).

A dopamina é um neurotransmissor de ação central e atua em receptores específicos presentes no sistema nervoso central, nos vasos mesentéricos, renais e nas coronárias. Esse neurotransmissor é utilizado em tratamentos de diversos tipos de choque e da hipotensão grave após infarto agudo do miocárdio, dilatando os vasos sanguíneos renais e com isso aumentando o fluxo de sangue (LUPETTI et al., 2003).

A banana *in natura* sofre deterioração devido ao seu rápido amadurecimento e apresenta cerca de 50% de perda da produção assim como outras frutas tropicais. Desta forma, é crescente o interesse dos produtores por tecnologias que permitam a obtenção da banana com maior prazo de validade. A desidratação osmótica, por ser um processo que prolonga a vida de prateleira do produto, apresenta-se como uma possível solução para este problema.



**Figura 5.** Mecanismo de oxidação da tirosina à melanina (SANTOS, 2005).

Contudo, para que um produto desidratado tenha qualidade é necessário que o mesmo mantenha ao máximo as características nutritivas e sensoriais da fruta *in natura*. Desta forma, torna-se importante a avaliação dos compostos fenólicos, dos taninos e da atividade antioxidante da banana após o processo de desidratação osmótica para a verificação da degradação dessas moléculas na fruta após o processamento.

### 3.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

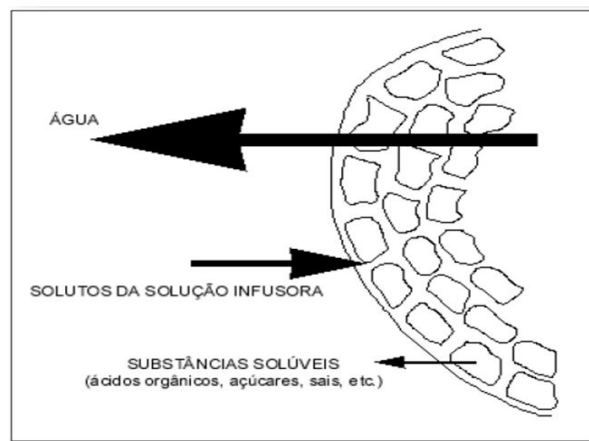
A desidratação osmótica (DO) é uma importante tecnologia utilizada para a concentração de frutas e vegetais, por meio da imersão destes alimentos em solução hipertônica de açúcar ou sal (TORREGGIANI, 1993). Esse processo promove a remoção parcial da água do alimento sem mudança de fase, o que reduz as alterações na qualidade do produto (LAZARIDES, 2001).

A vantagem da incorporação de solutos e da redução da umidade do alimento é a criação de um meio desfavorável para as reações enzimáticas e para o desenvolvimento de micro-organismo, com conseqüente prolongação da vida útil do produto.

A desidratação osmótica ocorre quando o alimento é imerso em uma solução hipertônica de determinado soluto (sacarose, maltose, sal, etc), que

apresenta baixa atividade de água e alta pressão osmótica, proporcionando assim, gradiente de concentração entre a fruta e a solução (RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004). Então é estabelecido um fenômeno caracterizado por dois tipos de fluxo em contracorrente simultaneamente: a transferência de água do produto para a solução e a transferência de soluto da solução para o produto, como mostra a figura 6 (TORREGIANI, 1993).

Essas transferências ocorrem através da membrana celular semipermeável dos alimentos, pois os vegetais apresentam uma parede celular complexa que não é completamente seletiva aos íons e compostos presentes tanto na solução osmótica quanto no interior do alimento. A velocidade da transferência de água do alimento para a solução é maior que a velocidade de incorporação de soluto (NONO et al., 2001) em virtude da seletividade da membrana celular e das diferentes difusividades de água e solutos.



**Figura 6.** Principais fluxos que ocorrem durante o processo de desidratação osmótica (RODRIGUES, 2005).

Em contrapartida, ocorre também um terceiro fluxo, que é a transferência de solutos (açúcar, ácidos orgânicos, minerais etc.) do produto para a solução (figura 6). Este não apresenta uma perda quantitativamente significativa, mas é essencial para a qualidade sensorial e nutricional do produto final (TORREGIANI, 1993).

O processo de desidratação osmótica não produz alimentos com atividade de água baixa, portanto, o produto não apresenta estabilidade durante o armazenamento em temperatura ambiente (MAIA et al., 2009), sendo necessário mantê-lo sob refrigeração. Esse método é utilizado como pré-tratamento à operação de secagem por reduzir o tempo de processo, reduzir o gasto de

energia, melhorar algumas propriedades nutricionais, sensoriais e funcionais do produto final e por reduzir o teor de água sem proporcionar mudança de fase durante o processo (TORREGIANI, 1993). Pode-se utilizar como processos adicionais a secagem com ar quente, secagem a vácuo, secagem com micro-ondas, pasteurização ou congelamento. Assim, obtendo-se um produto com boas características de conservação e com características similares ao *in natura*.

### 3.2.1 Variáveis do processo

As transferências que ocorrem durante o processo de desidratação osmótica são influenciadas pelos seguintes fatores: temperatura, concentração da solução osmótica, tempo de desidratação, agitação, característica do tecido vegetal da matéria-prima, característica (tamanho da partícula do soluto) do agente osmótico, proporção fruta/solução e geometria da amostra (TORREGIANI, 1993).

A temperatura da solução é um parâmetro muito importante para a cinética de desidratação osmótica, em que temperaturas mais altas proporcionam um aumento nas transferências de massa entre a fruta e a solução (NONO et al., 2001). Provavelmente, o aumento da temperatura promove a diminuição na viscosidade da solução osmótica, proporcionando com isso um aumento na perda de água e ganho de sólidos. Também pode provocar colapso das células com exposição dos grânulos de amido na região da periferia, com diminuição no turgor celular na região central causado pela transferência de massa da desidratação osmótica (ARAUJO, 2000).

A temperatura também pode influenciar nas taxas de reação química e físico-químicas de osmose e difusão. PONTING et al. (1966) observaram que temperaturas acima de 49 °C podem proporcionar o escurecimento enzimático e, em alguns produtos, a alteração de sabor.

De acordo com HENG et al. (1990), o aumento da temperatura é um fator crítico na degradação de carotenoides durante a desidratação osmótica de mamão, sendo que as temperaturas utilizadas foram de 50 e 70 °C. Mas, segundo ANTONIO (2002), a temperatura apresenta importante efeito positivo sobre a perda de água e a atividade de água no processo de desidratação osmótica de banana com temperaturas de 30, 45 e 60 °C.



As transferências de massa também são influenciadas pelo aumento na concentração da solução osmótica, por proporcionar aumento na diferença da concentração entre a solução e a fruta. COLLIGNAN; RAOULT-WACK (1994) observou que a concentração da solução influencia positivamente a perda de água e o ganho de sólidos no processo de desidratação osmótica.

De acordo com ANTONIO (2002), apenas a concentração da solução apresentou efeito sobre o ganho de sólidos, no qual obteve uma média global de 11,7%. Mas, ARAUJO (2000) e MAURO (1992) observaram que na desidratação osmótica de banana a temperatura também influenciou o ganho de sólidos, embora com efeito reduzido em relação à concentração.

Segundo HENG et al. (1990), a penetração do açúcar favorece o processo por proporcionar efeito protetor na lixiviação de compostos. Estes autores observaram redução da migração dos carotenoides para a solução osmótica com o aumento do ganho de sólidos. Além disso, a penetração de solutos na fruta, combinado com os outros efeitos da desidratação, promovem realce da cor e modificação na estrutura do produto desidratado osmoticamente. Estas alterações favorecem a cor e a retenção de vitaminas, pigmentos e aromas durante a secagem convectiva e o armazenamento em freezer de produtos secos e congelados (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001).

O tempo de tratamento é um fator importante que afeta diretamente o processo de desidratação osmótica. Quanto maior o tempo de contato da fruta com a solução osmótica, maior é a perda de água e o ganho de sólidos (LAZARIDES et al., 2007). No entanto, o gradiente osmótico tende ao equilíbrio, e assim, proporciona uma redução na velocidade de osmose com o tempo.

De acordo com COLLIGNAN; RAOULT-WACK (1994), a transferência de massa no processo de desidratação osmótica de frutas e hortaliças ocorre durante as duas primeiras horas de processo, devido à grande diferença entre a amostra e a solução. A transferência é reduzida progressivamente após esse período até atingir o equilíbrio.

A agitação é outro parâmetro que apresenta importante influência no processo de desidratação osmótica, pois a camada limite criada ao redor da fruta é reduzida pela agitação externa, resultando em efeito positivo para a transferência de água. A agitação promove a homogeneização da solução e com

isso permite outro efeito positivo durante a desidratação osmótica (BUCHWEITZ, 2005; ANTONIO, 2002).

Com relação ao efeito da DO na composição da banana, foi observado por ARAUJO (2000), redução na concentração de ácido ascórbico. RÓZEK et al.(2010) observaram que durante a desidratação osmótica com sacarose e extrato de uva, o conteúdo de fenólicos totais e a capacidade de sequestrar radicais foram aumentados significativamente em banana.

Segundo WALISZEWSKI et al. (2007), durante a desidratação osmótica de banana a 50 e 60 °C, foi observada redução na atividade da enzima polifenoloxidase, mas uma atividade residual ainda foi detectada.

### 3.2.2 Cinética de desidratação osmótica

A cinética de desidratação osmótica pode ser estudada por meio dos cálculos de perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e perda de peso (PP) durante o processo, de acordo com as equações 1, 2 e 3.

$$PA(\%) = \frac{W_{a_0} - W_{a_t}}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

$$GS(\%) = \frac{W_{s_t} - W_{s_0}}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

$$PP(\%) = PA - GS \quad (3)$$

em que:  $W_{a_0}$  = massa de água do material inicial (t=0);

$W_{a_t}$  = massa de água do material no tempo t;

$W_{s_0}$  = massa de sólidos do material inicial (t=0);

$W_{s_t}$  = massa de sólidos do material no tempo t;

$W_0$  = massa do material inicial.

Os efeitos das condições do processo na perda de água, no ganho de sólidos e na perda de peso de banana foram estudados por vários autores (MAURO, 1992; TORREGGIANE, 1993; ARAUJO, 2000; ANTONIO, 2002; PEREIRA, 2007). Geralmente, esses processos de desidratação utilizam soluções osmóticas com concentração de 50 a 75 °Brix e obtêm produtos com remoção de água que varia de 40 a 70 % p/p, enquanto que a incorporação de solutos fica entre 5 e 25 % p/p em relação ao produto inicial (RAOULT-WACK *et al.*, 1994).

Vários autores estudaram o efeito das condições da desidratação osmótica na cinética de perda de água e ganho de sólidos. MAURO (1992) e ARAUJO (2000) constataram, ao trabalhar com desidratação osmótica de banana, que os aumentos da temperatura e da concentração da solução osmótica contribuem para maior perda de água e ganho de sólidos. Resultados semelhantes foram encontrados por WALISZEWSKI et al., (1997), também na desidratação osmótica de banana. No entanto, no trabalho de ANTONIO (2002), apenas a concentração da solução osmótica apresentou efeito no ganho de sólidos de banana desidratada osmoticamente que foi de 8,05 % a 15,54 %.

Além disso, de acordo com SOUZA et al. (2003), a proporção fruta/solução também influencia o transporte de massa. No qual, ao final do processo osmótico de banana por 5 horas, a perda de água variou entre 18,71 e 33,14 % entre os experimentos (concentração de sacarose de 45, 55 e 65 °Brix) e o ganho de sólidos entre 4,74 e 14,69 %.

### **3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Devido à importância da desidratação osmótica na tecnologia de processamento de frutas, em especial de banana, verificou-se a importância do estudo sobre a retenção dos compostos fenólicos, taninos e da atividade antioxidante na desidratação osmótica de banana nanica. Além da importância da presença desses compostos na dieta dos seres humanos, pela sua capacidade de prevenir certas enfermidades, são escassos os trabalhos da literatura que relacionam a degradação e/ou lixiviação dos mesmos pelo processo de desidratação osmótica.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Seleção e preparação da matéria-prima**

Bananas firmes e maduras da variedade nanica (*Musa acuminata* subgrupo *Cavendish*) foram adquiridas no mercado local e processadas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. As frutas foram escolhidas de acordo com o grau de maturação pela coloração da casca (casca amarela e cabo verde) e pelo teor de sólidos solúveis totais (16 a 20 °Brix). A Figura 7 ilustra a coloração

da casca das frutas utilizadas. Em seguida, as frutas foram lavadas, descascadas manualmente e cortadas em fatias de 10 mm de espessura com fatiador elétrico de frios (Fun Kitchen).



**Figura 7.** Coloração característica da casca das frutas utilizadas nos experimentos.

Para minimizar o escurecimento enzimático foi realizado o branqueamento das fatias antes da desidratação osmótica. Adotou-se como pré-tratamento a imersão da fruta em solução de 0,5% de ácido ascórbico e 1% de ácido cítrico, a 70 °C, por 90 s do banho termostático (Figura 8). Em seguida, as fatias foram imersas em água destilada a 0 °C por 30 s para interromper o cozimento. Este processo foi escolhido a partir da observação visual, em testes preliminares, da mudança de coloração na superfície das fatias. Para realização desses experimentos, foram testadas três temperaturas (70, 80 e 90 °C) e intervalos de tempos (30, 60 e 90 s) de imersão na solução de ácido ascórbico e ácido cítrico. As observações das fatias foram realizadas logo após a imersão, assim como depois do armazenamento, por 18 h, sob condições ambientes e sob refrigeração a 5 °C.



**Figura 8.** Pré-tratamento de fatias de banana com solução de 0,5 % de ácido ascórbico e 1 % de ácido cítrico a 70 °C por 90 s.

#### **4.2 Caracterização da matéria-prima e do produto final**

As frutas *in natura*, branqueadas e desidratadas osmoticamente foram caracterizadas pela determinação do teor de umidade, sólidos solúveis totais (SST), cor, teor de compostos fenólicos, teor de taninos condensados e atividade antioxidante. Todas as análises foram realizadas em triplicata exceto as de taninos condensados e fenólicos que foram analisadas em duplicata.

Para as análises de taninos condensados e atividade antioxidante, as amostras foram secas em liofilizador a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  (marca: Liotop; modelo: L101) durante 12 h. Esta etapa foi necessária, pois foi observado em estudos preliminares que a presença de água interfere na extração e quantificação dos taninos e na detecção da atividade antioxidante.

- **Determinação de umidade**

O teor de umidade foi determinado segundo o método da AOAC (1995), que consiste na pesagem de 2 g da amostra e secagem em estufa (marca Fanem; modelo: 315SE), à pressão atmosférica, a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por 6 h e, em seguida, em estufa a vácuo (marca Fisher Scientific; modelo: 280A) sob pressão  $\leq 100\text{ mmHg}$ , a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , até atingir massa constante. As amostras foram pesadas em balança semianalítica digital (marca Shimadzu; modelo: UX4200H).

- **Sólidos Solúveis Totais (SST)**

Para determinar o teor de sólidos solúveis totais, uma parte da fruta foi diluída e homogeneizada com microtritador de aço inox, com cabeçote do tipo dentado com hélice (marca Tecnal; modelo: TE-102) na proporção de três partes de água e uma fruta (em massa) durante 1 min para a homogeneização (figura 9). Uma gota da solução, previamente filtrada em Whatmann 1, foi colocada no prisma de refratômetro de bancada (marca Quimis; modelo 109B) para leitura do teor de sólidos solúveis totais em  $^{\circ}\text{Brix}$ .

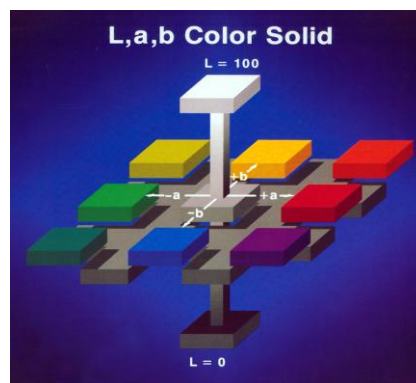


**Figura 9.** Agitação da amostra diluída de banana para leitura no refratômetro.

- **Cor**

As medidas de cor das bananas *in natura*, branqueadas e desidratadas osmoticamente foram realizadas por um espectrofotômetro portátil (Minolta Colour Reader CR-10). A cor foi expressa pelo sistema de coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  definido pela CIE 1976 como mostra a figura 10. O parâmetro  $L^*$  indica a luminosidade (branco a preto), o parâmetro  $a^*$  representa o índice de saturação vermelha (vermelho a verde) e o parâmetro  $b^*$  indica o índice de saturação amarelo (amarelo a azul). A leitura foi realizada diretamente sobre a superfície de 5 fatias diferentes. A variação da cor das fatias desidratadas osmoticamente foi avaliada pelo parâmetro  $\Delta E^*$ , tomando como referência a amostra branqueada ( $L_0$ ,  $a_0$  e  $b_0$ ), de acordo com a equação 4.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (4)$$



**Figura 10.** Coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  (HUNTERLAB, 2011).

- **Dosagem de Compostos Fenólicos Totais**

A amostra (500 mg) foi extraída com 4 X 5 mL de solução de acetona/água (7:3). As porções foram unidas em balão volumétrico e o volume completado para 25 mL. Em seguida, transferiu-se 0,5 mL de extrato das amostras para um balão

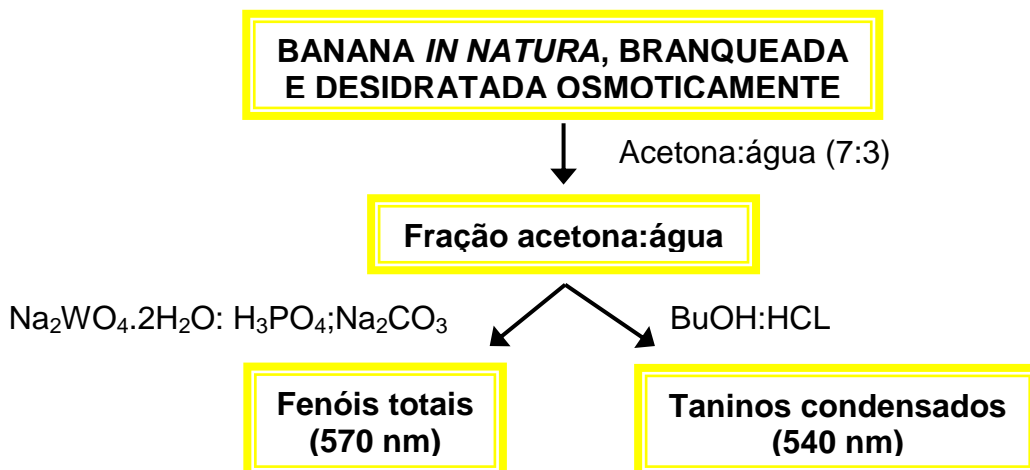
de 10 mL, adicionou-se 0,5 mL de reagente de Folin-Denis e 3 mL de água destilada. A solução ficou em repouso por 1 h (MOREIRA, 2000).

Posteriormente adicionou-se 1 mL da solução de carbonato de cálcio saturada, e as amostras positivas desenvolveram coloração azul intensa. O volume foi completado com água destilada e foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 760 nm (MOREIRA, 2000).

- **Dosagem de Taninos Condensados**

A amostra seca (500 mg) foi extraída com 4 X 5 mL de solução de acetona/água (7:3). As porções foram unidas em balão volumétrico e o volume completado para 25 mL. Em seguida, foi transferido 1 mL de extrato das amostras par um tubo de rosca e foi adicionado 4 mL de solução de butanol (BuOH) em ácido clorídrico (HCl) 5 %, e aqueceu posteriormente em banho-maria a 95 °C por 2 h. As amostras positivas apresentaram coloração vermelha ou violácea e as absorbâncias das amostras foram lidas a 540 nm após 5-10 min. (MOREIRA, 2000).

A Figura 12 ilustra as etapas das metodologias para a dosagem de compostos fenólicos e taninos condensados das amostras de banana *in natura*, branqueada e desidratada osmoticamente.



**Figura 11.** Fluxograma para a dosagem de taninos e fenóis totais das amostras *in natura*, branqueada e desidratada osmoticamente.

- **Atividade antioxidante**

A avaliação da atividade antioxidante foi realizada pelo método fotolorimétrico do radical livre estável DPPH (1,1-difenil-2-picrilidrazila).

Este método se baseia no sequestro do radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazila (DPPH) pelos antioxidantes, que produzem uma diminuição de absorção em 515 nm. Quando uma solução de DPPH é misturada com uma substância que pode doar um átomo de hidrogênio, a forma reduzida do radical gerado é acompanhada de perda de cor (ALI, et al.; 2009).

Essa técnica consiste em adicionar 1 mL do extrato seco em concentrações que variam de 0,1 - 1000 µg/mL. Em seguida, foi adicionado 1 mL de uma solução metanólica de DPPH (0,1 mM), e a reação foi processada em shaker com agitação de 80 rpm por 1 h à temperatura ambiente. Imediatamente, a absorção do DPPH foi verificada em 515 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Shimadzu Mini 1240). Todos os experimentos foram realizados em triplicata. A atividade foi medida nas três diluições e foram utilizados os resultados da concentração que expressou maior capacidade de sequestro do radical livre DPPH (concentração de 1000 µg/mL).

A atividade sequestradora de radicais livres de cada extrato foi expressa pela relação da absorção de DPPH, baseado na solução de DPPH ausente do extrato (controle negativo) e uma solução de um padrão de substância aromática (controle positivo), o 2,6-di-(tert-butil)-4-metilfenol (BHT), quercetina, rutina e ácido ascórbico. Posteriormente, foi calculado o percentual sequestrador de radicais livres (TAIT et al., 1996; KOLEVA et al., 2002). A capacidade de sequestrar radical livre foi expressa como percentual de inibição de oxidação do radical e calculado conforme a equação 5 (ROESLER, et al., 2007).

$$\% \text{ inibição} = \frac{A_{\text{DPPH}} - A_{\text{Extr}}}{A_{\text{DPPH}}} \times 100 \quad (5)$$

em que:

$A_{\text{DPPH}}$  = absorvância da solução de DPPH;

$A_{\text{Extr}}$  = absorvância da amostra em solução.

Como os experimentos de desidratação osmótica foram realizados com frutos diferentes, optou-se por expressar os valores de retenção de compostos fenólicos, taninos condensados e atividade antioxidante das amostras processadas em relação às amostras branqueadas de cada experimento de acordo com a equação 6.



$$\% \text{reten\c{c}\~{a}o} = \frac{\% \text{DO}}{\% \text{branqueada}} \times 100 \quad (6)$$

em que:

%reten\c{c}\~{a}o = porcentagem de reten\c{c}\~{a}o da subst\~{a}ncia da amostra desidratada osmoticamente em rela\c{c}\~{a}o \~{a} fruta branqueada;

%DO = porcentagem da subst\~{a}ncia da amostra desidratada osmoticamente;

%branqueada = porcentagem da subst\~{a}ncia branqueada.

As amostras utilizadas para a an\~{a}lise de taninos condensados e atividade antioxidante foram liofilizadas (Figura 12) antes da extra\c{c}\~{a}o, pois como descrito anteriormente, a \~{a}gua interfere na extra\c{c}\~{a}o e modifica o resultado final.



**Figura 12.** Liofiliza\c{c}\~{a}o das amostras de banana.

### **4.3 Desidrata\c{c}\~{a}o osm\~{o}tica**

As vari\~{a}veis do processo de desidrata\c{c}\~{a}o osm\~{o}tica avaliadas neste trabalho foram temperatura e concentra\c{c}\~{a}o da solu\c{c}\~{a}o de sacarose. As diferentes condi\c{c}\~{o}es utilizadas na desidrata\c{c}\~{a}o osm\~{o}tica foram escolhidas baseadas nos estudos realizados por MAURO e MENEGALLI (1995), ARA\~{U}JO (2000) e ANTONIO (2002). Foram utilizadas solu\c{c}\~{o}es de sacarose com concentra\c{c}\~{a}o de 45, 55 e 65% e temperaturas de 30, 40 e 50 °C, sendo mantida agita\c{c}\~{a}o constante de 80 rpm e propor\c{c}\~{a}o fruta:solu\c{c}\~{a}o de 1: 11 (kg fruta : kg solu\c{c}\~{a}o).

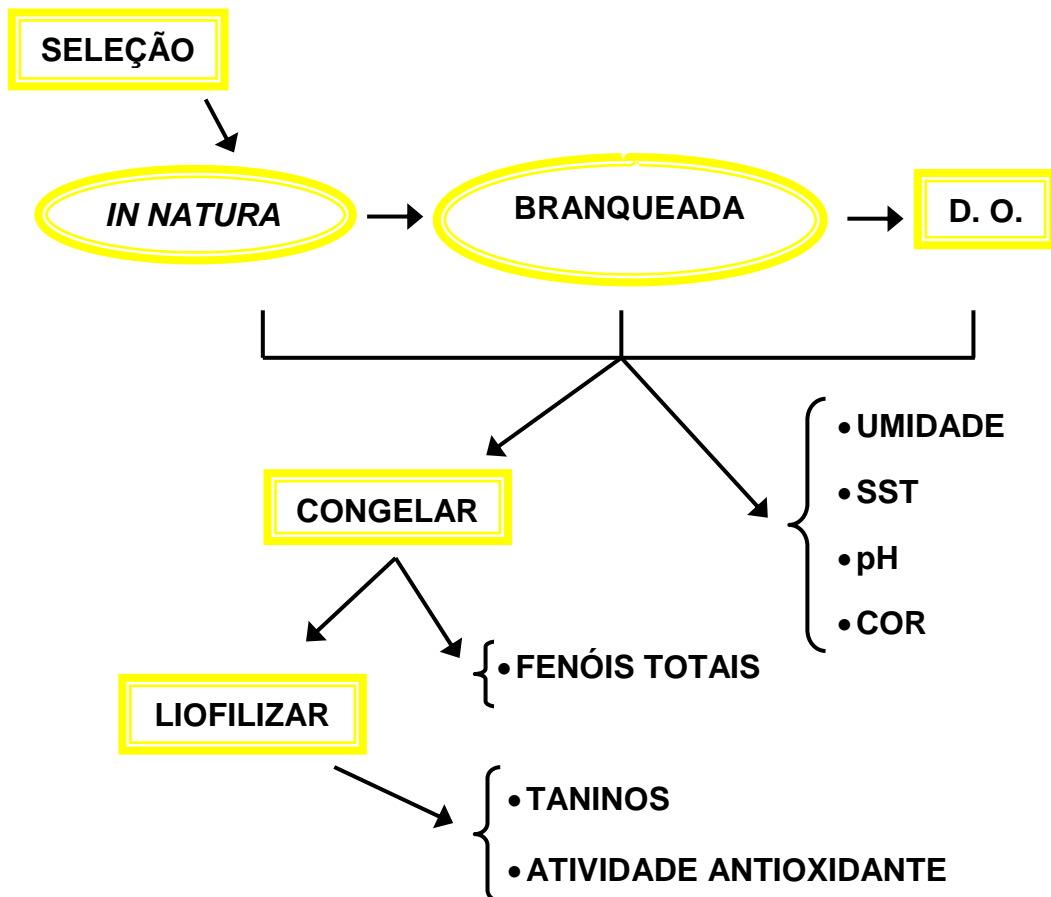
Para o acompanhamento da cin\~{e}tica de desidrata\c{c}\~{a}o osm\~{o}tica, o processo foi realizado da seguinte maneira. Os frascos contendo 138 mL da solu\c{c}\~{a}o de sacarose foram colocados dentro da incubadora (marca Marconi, MA832/1) at\~{e} que o equil\~{i}brio t\~{e}rmico fosse atingido. Em seguida, duas fatias, previamente branqueadas, foram pesadas e inseridas em uma haste met\~{a}lica presa \~{a} tampa do frasco. Para permitir o contato da solu\c{c}\~{a}o osm\~{o}tica com a superf\~{i}cie das

fatias, as mesmas foram separadas a uma distância de 1 cm por um conjunto de o-rings. Este sistema foi montado para permitir completa imersão das frutas na solução de sacarose (figura 13). Finalmente, as amostras foram inseridas nos frascos contendo solução osmótica na temperatura de processo e levadas à incubadora, iniciando assim o processo osmótico.



**Figura 13.** Frascos contendo amostras de banana imersas em solução de sacarose, posicionados na incubadora (a) e conjunto tampa com haste metálica e separadores para fixação das fatias (b).

Um conjunto de 2 frascos, contendo duas fatias em cada, foi retirado em intervalos regulares de 15 min na primeira meia hora, de 30 min até completar 2 h de processo e depois foi retirado com mais 1 hora de DO, totalizando 180 min. As amostras retiradas da incubadora foram drenadas, imersas três vezes em água destilada para retirar o excesso de solução osmótica, gentilmente enxugadas com papel toalha na superfície e pesadas. Após a pesagem, parte das amostras foi utilizada para determinação do conteúdo de umidade, teor de sólidos solúveis totais e pH. Outra parte das amostras foi congelada em nitrogênio líquido em porções separadas para cada uma das análises posteriores de taninos condensados, fenóis totais e atividade antioxidante. As amostras destinadas à análise de compostos fenólicos totais foram pesadas em frascos individuais com 500 mg previamente ao congelamento. A figura 14 ilustra o diagrama de processo dos experimentos de desidratação osmótica.



**Figura 14.** Diagrama do processo de desidração osmótica de banana nanica.

#### 4.3.1 Planejamento experimental

O processo de desidração osmótica de fatias de banana nanica em solução de sacarose foi estudado mediante planejamento experimental fatorial, com dois níveis e duas variáveis independentes ( $2^2$ ). Foram realizadas três repetições no ponto central, totalizando sete experimentos, conforme mostrado na Tabela 1. As variáveis independentes do planejamento foram temperatura e concentração da solução osmótica. As variáveis dependentes do planejamento foram perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), perda de peso (PP), retenção de compostos fenólicos totais, retenção de taninos e de atividade antioxidante, pH e cor instrumental.

A análise quantitativa dos resultados obtidos pelo planejamento experimental fatorial foi realizada por meio de métodos estatísticos (NETO et al., 2001). A partir da análise estatística dos resultados obtidos, estimou-se o efeito das condições de processo nas respostas avaliadas. A significância estatística dos efeitos individuais e as interações das variáveis independentes são

confirmadas nos diagramas de Pareto, nos quais os efeitos estatisticamente significativos estão à direita da reta vertical indicativa do limite de confiança.

**Tabela 2.** Modelo do planejamento experimental fatorial realizado para avaliar a desidratação osmótica de banana Nanica em solução de sacarose com os valores reais e codificados das variáveis.

Ensaio	Valores codificados		Valores reais	
	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Temperatura (°C)	Concentração (%)
1	-1	-1	30	45
2	+1	-1	50	45
3	-1	+1	30	65
4	+1	+1	50	65
5	0	0	40	55
6	0	0	40	55
7	0	0	40	55

Através do presente estudo foi possível obter modelos estatísticos capazes de prever o comportamento das variáveis dependentes (resposta) em função das variáveis independentes, na faixa adotada para as últimas. As faixas de temperatura e concentração da solução de sacarose utilizadas neste trabalho foram baseadas na literatura sobre a desidratação osmótica de banana (MAURO, 1992; ARAUJO, 2000, ANTONIO, 2002; PEREIRA, 2007).

Para determinação do modelo estatístico preditivo, foi assumido existir uma função matemática  $\omega$  para cada resposta  $\Phi$  (PA, GS, PP, RF, RT, RA, L, a, b,  $\Delta E$  e pH) em função das duas variáveis independentes (temperatura e concentração):

$$\phi = \omega(T, C) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 C + \beta_3 T \cdot C \quad (7)$$

Em que  $\beta$  corresponde ao coeficiente da equação e subíndices 0, 1, 2 e 3 correspondem ao valor médio da função  $\omega$ , temperatura, concentração e interação entre temperatura e concentração, respectivamente. A equação 7 corresponde ao modelo codificado das variáveis dependentes avaliadas neste estudo. A fim de se obter o valor real (VR) das variáveis independentes a partir do valor codificado (VC) a equação 8 pode ser usada para a faixa de trabalho utilizada (EL-AOUAR, 2005).

$$VC = \frac{VR - PCT}{\Delta VR_{PCT}} \quad (8)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização da matéria-prima

A tabela 3 apresenta os resultados médios obtidos da composição química e cor da banana *in natura* (IN) e branqueada (BR) de acordo com os métodos descritos no item 4.2. Os valores apresentados correspondem a uma média da composição das frutas utilizadas em todos os experimentos com o respectivo desvio padrão.

**Tabela 3.** Composição química da banana nanica *in natura* (IN) e branqueada (BR).

Análise	IN	BR
Umidade (g/100g) (%)	76 ± 2	76 ± 1
SST (°Brix)	19 ± 2,0	17 ± 2,7
pH	4,5 ± 0,1	4,4 ± 0,1
Fenólicos totais (g/g bs)	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Taninos condensados (g/g)	7 ± 1	7 ± 1
Atividade Antioxidante (%)	93± 1	94 ± 1
L*	69 ± 5	74 ± 2
a*	4,6 ± 0,5	3,6 ± 0,5
b*	24 ± 1	26 ± 1

A banana utilizada nesse trabalho foi selecionada de acordo com a coloração da casca, como mostra o item 4.1. A banana utilizada nesse trabalho apresentava uma coloração mais amarelada do que verde, ou seja, estava no estágio 4, de acordo com o índice de coloração da casca da banana utilizada no estudo realizado por AURORE et al. (2009).

Ao analisar a tabela 3, observa-se que o teor de umidade da banana *in natura* foi próximo ao encontrado por MEDINA (1985), ANTONIO (2002) e PEREIRA (2007). No entanto, o teor de sólidos solúveis totais foi superior ao encontrado por esses autores que também estudaram desidratação osmótica de banana, cujos valores encontrados variaram de 9,5 a 11 °Brix. Estas diferenças encontradas na composição da banana ocorrem devido a fatores como o local e época de plantio e colheita, variedade do fruto e maturação.

Segundo NASCIMENTO JUNIOR et al. (2008), a banana nanica apresenta uma redução nos compostos fenólicos durante o amadurecimento, que variaram

de 0,032 a 0,004 g/100g entre o 2º e 14º dias após a colheita, respectivamente. O teor de compostos fenólicos de 0,02 g/g (bs) foi superior aos encontrados por SOMEYA et al. (2002), de 232 mg/100g (bs), e por OLIVEIRA et al. (2007), de 310 µg/g para a mesma variedade de banana.

A polpa da banana apresenta 74,5% de inibição da reação de escurecimento enzimático catalisado por peroxidase, sendo que apenas a polpa da laranja e do limão apresentou maior porcentagem de inibição do que a polpa da banana, de 98% e 93%, respectivamente (OLIVEIRA et al., 2007). O valor de atividade antioxidante, medido pela capacidade de sequestro do radical livre DPPH pelo extrato metanólico da polpa de banana, encontrado neste trabalho, foi de 93%. De acordo com BERNARDES et al. (2011), os extratos metanólicos da polpa de ameixa, maçã e kiwi também apresentaram atividade antioxidante superior a 85% (BERNARDES et al., 2011).

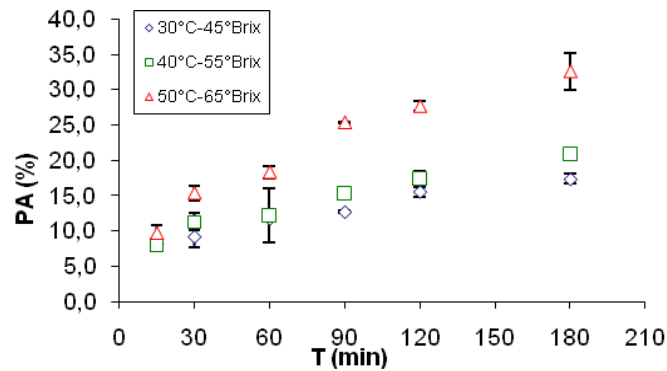
Ao comparar a banana *in natura* com a branqueada, verificou-se que, apesar da alta temperatura utilizada no branqueamento, não foram observadas alterações na composição da fruta. No entanto, os parâmetros de cor, L\*, a\* e b\* apresentaram variação, como pode ser observado visualmente na Figura 15. Os parâmetros L\* e b\* apresentaram um discreto aumento após o processo de branqueamento em solução de 0,5% de ácido ascórbico e 1% de ácido cítrico a 70°C por 90 s, ou seja, a banana apresentou maior intensificação na luminosidade (branco) e no amarelo. O parâmetro a\* apresentou uma redução, que indica a redução da cor vermelha.



**Figura 15.** Foto da banana *in natura* (A) e da banana branqueada (B).

## 5.2 Cinética da desidratação osmótica

As figuras 16, 17 e 18 ilustram a cinética de perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e perda de peso (PP), respectivamente, durante 180 min de desidratação osmótica de fatias de banana para os experimentos realizados nos limites superior e inferior e no ponto central do planejamento experimental.



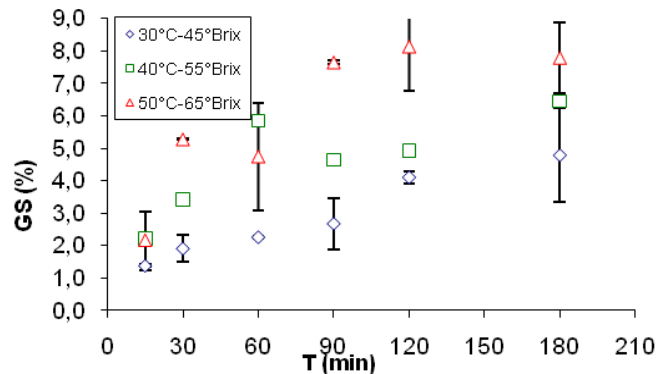
**Figura 16.** Perda de água em função do tempo de desidratação osmótica de fatia de banana.

A perda de água é crescente ao longo do tempo de desidratação osmótica. Verificou-se maior variação na perda de água na primeira hora de processo em comparação à perda de água alcançada nas duas horas seguintes. A perda de água variou entre 16% e 35%, sendo maior para as condições superiores do planejamento experimental, alta concentração e temperatura da solução osmótica (50° e 65%).

Como pode ser observado pelas figuras 16 e 17, o processo osmótico proporciona valores de perda de água (máximo de 35%) superiores aos de ganho de sólidos (máximo de 9%). Alguns autores, como PEREIRA (2007), MAURO (1992) e TORREGGIANNI (1993), também discutiram sobre essa tendência que ocorre pelas diferenças difusionais entre a água e os açúcares, mais precisamente pelas suas massas molares, e pela permeabilidade seletiva da parede da membrana celular. Além disso, o branqueamento, realizado para minimizar o escurecimento enzimático da fruta fatiada, foi importante na obtenção de maior perda de água e incorporação de sólidos do que da fruta sem esse processo, provavelmente pela alteração na permeabilidade da membrana celular (TORREGGIANNI, 1993; ANTONIO, 2002). PEREIRA (2007) também observou essas características para perda de água e ganho de sólidos ao desidratar osmoticamente a banana nanica, onde foi alcançado aproximadamente 23% e 7%, respectivamente, utilizando solução de sacarose a 55 °Brix e 40 °C.

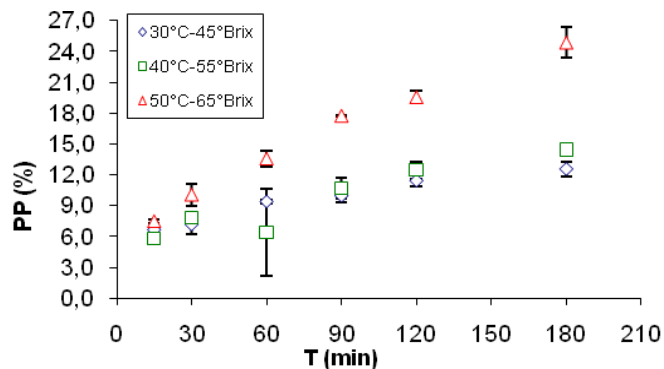
No processo de desidratação osmótica associado ao branqueamento prévio, MORENO *et al.* (2000) observaram a perda de líquido nos tecidos de morangos tratados, devido ao tratamento térmico que causa a desnaturação da célula, ou seja, provoca a destruição da parede celular com mudanças na permeabilidade da membrana durante o branqueamento. Este fenômeno

proporciona uma maior incorporação de soluto pelo produto durante a desidratação osmótica.



**Figura 17.** Ganho de sólidos em função do tempo de desidratação osmótica de fatia de banana.

O ganho de sólidos, ou seja, a incorporação de sacarose na fatia de banana é crescente até aproximadamente 60 min. Após este período, ocorre uma tendência à interrupção no ganho de sólidos que pode ter sido proporcionada pela obstrução dos espaços disponíveis para transferência de massa.



**Figura 18.** Perda de peso em função do tempo de desidratação osmótica de fatia de banana.

A perda de peso é crescente com o tempo de processo, como pode ser observado na figura 18, pois está diretamente relacionada com a perda de água e o ganho de sólidos. FERRARI et al. (2005) observaram que após completar 120 min de processo, a perda de peso tende à estabilidade devido ao equilíbrio atingido entre a fruta e a solução de sacarose.



### 5.3 Análise estatística do planejamento experimental

O planejamento experimental foi realizado com o objetivo de avaliar a influência das variáveis independente do processo (temperatura e concentração da solução osmótica) sobre a perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), perda de peso (PP), pH, percentuais de retenção do teor de compostos fenólicos (RF), do teor de taninos condensados (RT) e da atividade antioxidante (RA).

#### 5.3.1 Cinética de desidratação osmótica

A tabela 4 apresenta os resultados de PA, GS e PP dos ensaios realizados de acordo com o planejamento experimental nos tempos de 60 e 180min de desidratação osmótica.

**Tabela 4.** Perda de água, ganho de sólidos e perda de peso para os tempos de 60 e 180 min de desidratação osmótica.

Ensaio	T(°C)	C(%)	Tempo de imersão (min)					
			60			180		
			PA (%)	GS (%)	PP (%)	PA (%)	GS (%)	PP (%)
1	30	45	9,89	3,71	6,18	16,29	6,19	10,10
2	50	45	13,88	3,60	10,29	24,79	8,06	16,73
3	30	65	13,38	5,62	7,76	21,60	8,36	13,23
4	50	65	21,29	6,75	14,54	35,14	7,66	27,48
5	40	55	13,36	4,17	9,19	20,22	4,76	15,46
6	40	55	13,82	3,44	10,39	23,05	6,48	16,57
7	40	55	14,56	3,07	11,49	22,62	3,52	19,10

##### 5.3.1.1 Perda de água

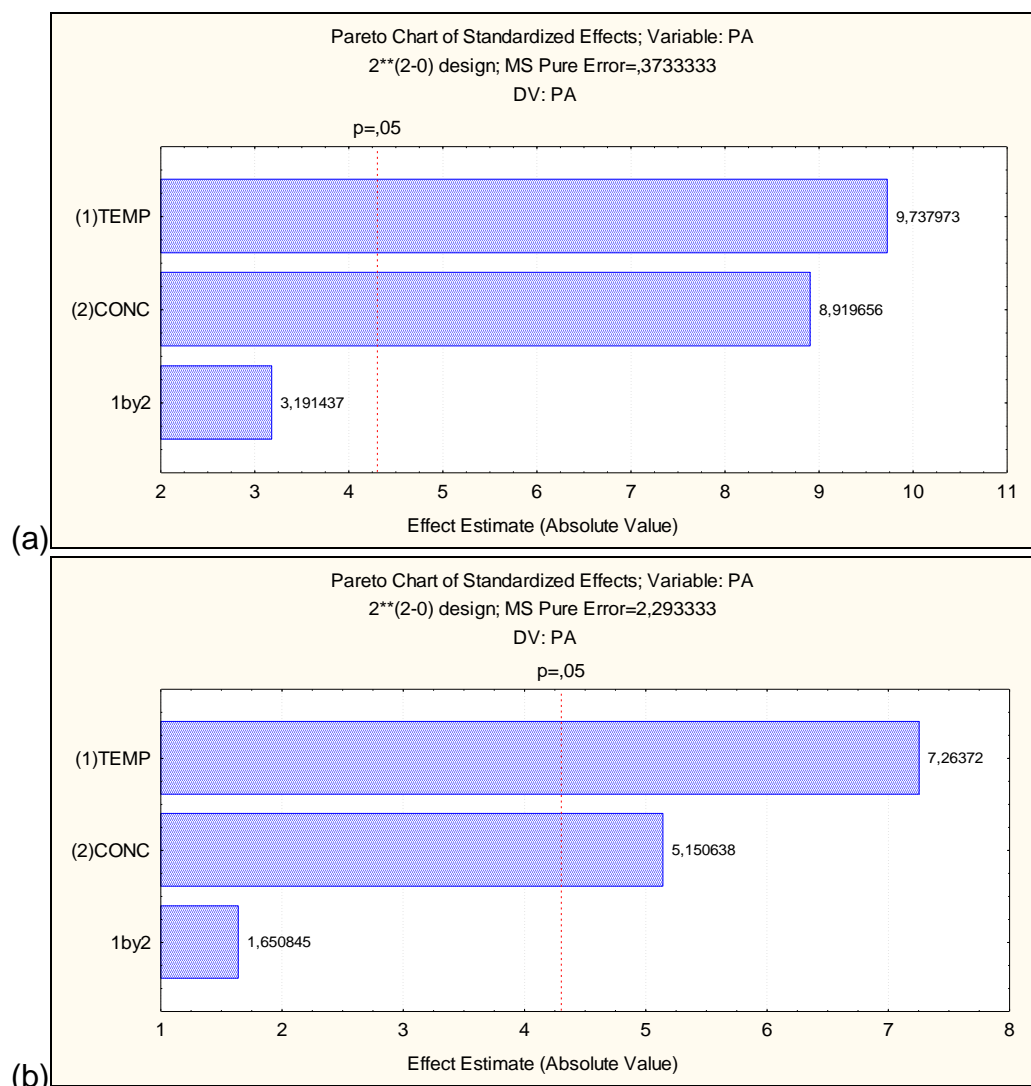
Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de perda de água (PA) na desidratação osmótica de banana nanica estão apresentados na tabela 5. Os efeitos foram todos estimados em nível de significância de 5%, ou seja, a variável é considerada estatisticamente significativa quando  $p \leq 0,05$ .

De acordo os diagramas de Pareto (figura 19) e tabela 5, observa-se que as variáveis temperatura e concentração da solução de sacarose apresentaram efeito positivo sobre a resposta perda de água, sendo que o efeito da temperatura foi o que mais influenciou no fluxo de saída de água da fruta para a solução osmótica tanto no tempo de 60 min quanto no tempo de 180 min, apresentando, no entanto, efeito mais acentuado em relação à concentração da solução aos 180 min.

**Tabela 5.** Estimativa dos efeitos das variáveis independentes e sua variação sobre a perda de água para os tempos de 60 e 180 min.

Variável	Tempo de imersão (min)					
	60			180		
	Efeito	DP	p	Efeito	DP	p
Média	14	0,23	0,0003	23	0,57	0,0006
Temperatura	6	0,61	0,010	11	1,51	0,02
Concentração	5	0,61	0,012	8	1,51	0,04
T x C	2	0,61	0,086 (ns)	2	1,51	0,24(ns)

\*ns: não significativo



**Figura 19.** Diagrama de Pareto para perda de água em 60 (a) e 180 min (b) de processo de desidratação osmótica.

ANTONIO (2002) estudando a cinética de desidratação osmótica de banana nanica observou que a temperatura apresentou maior influência do que a

concentração da solução osmótica na perda de água. A influência da temperatura no aumento da remoção da água também foi observada no trabalho de MAURO (1992), ao analisar o efeito de varias temperaturas, 30, 40 e 50 °C, para concentração de sacarose de 47,16%.

O efeito de interação da temperatura com a concentração da solução osmótica (T x C) não foi significativo em nível de 5% de significância. Então se eliminou o efeito não significativo e verificou-se por meio da Análise de Variância (ANOVA), a significância da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância, utilizando o teste F para o planejamento estudado (tabela 6).

**Tabela 6.** Análise de Variância (ANOVA) para a perda de água para o processo de desidratação osmótica de banana nanica nos tempos de 60 e 180 min.

Fonte de variação	60 min					
	SQ	GL	MQ	Fcalc	Ftab	R <sup>2</sup>
Regressão	64,0	2,0	32,0	21,3	6,9	0,92
Resíduo	6,0	4,0	1,5			
Falta de ajuste	5,0	2,0	2,5	5,0	19,0	
Erro puro	1,0	2,0	0,5			
Total	70,0	6,0				
Fonte de variação	180 min					
	SQ	GL	MQ	Fcalc	Ftab	R <sup>2</sup>
Regressão	182,0	2,0	91,0	16,5	6,9	0,89
Resíduo	22,0	4,0	5,5			
Falta de ajuste	17,0	2,0	8,5	3,4	19,0	
Erro puro	5,0	2,0	2,5			
Total	204,0	6,0				

Analisando a tabela 6, observa-se que os modelos codificados apresentados nas equações 7 e 8 para estimar a perda de água em função da temperatura (T) e concentração da solução osmótica (C) apresentaram regressão significativa ( $F_{calculado} > F_{tabelado}$ ), falta de ajuste não significativa ( $F_{calculado} < F_{tabelado}$ ). Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) indicam que os modelos explicam 92% e 89% da variação dos dados observados, respectivamente. Desta forma os modelos foram considerados significativos.

$$PA (60) = 14 + 3 \cdot T + 2,7 \cdot C \quad (7)$$

$$PA (180) = 23 + 5,5 \cdot T + 4 \cdot C \quad (8)$$

### 5.3.1.2 Ganho de sólidos

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de ganho de sólidos (GS) estão apresentados na Tabela 7. Os efeitos foram estimados em nível de significância de 10%. A banana desidratada osmoticamente apresenta estrutura mais frágil, provavelmente por cozimento do tecido na superfície, que desfavorece seu manuseio, interferindo nos balanços de massa para determinação do ganho de sólidos. Como consequência, observou-se um desvio padrão das médias das medidas maiores do que das outras respostas (em torno de 12% e 18% para 60 e 180 min, respectivamente), sendo necessária a redução do nível de significância para avaliação do efeito das variáveis no ganho de sólidos.

**Tabela 7.** Estimativa dos efeitos das variáveis independentes e sua interação sobre o ganho de sólidos para os tempos de 60 e 180 min.

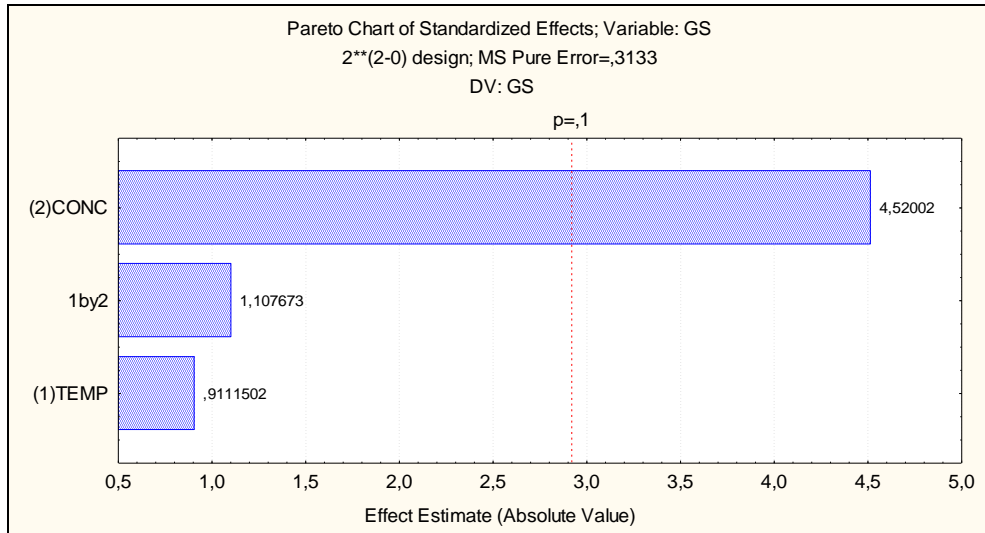
Variável	Tempo de imersão (min)					
	60			180		
	Efeito	DP	p	Efeito	DP	p
Média	4,34	0,21	0,002	6,43	0,56	0,007
Temperatura	0,55	0,57	0,44 (ns)	0,58	1,48	0,73 (ns)
Concentração	2,55	0,57	0,05	0,88	1,48	0,61 (ns)
T x C	0,65	0,57	0,37 (ns)	-1,28	1,48	0,48 (ns)

\*ns: não significativo

De acordo com a tabela 7, apenas a variável concentração da solução, para tempo de imersão de 60 min, teve efeito significativo sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de banana. Isto pode ter ocorrido devido ao aumento do desvio padrão no ganho de sólidos para tempos mais longos de desidratação osmótica, provocado provavelmente pelo cozimento da fruta, que desfavorece a integridade da superfície das fatias de banana conforme discutido anteriormente (MAURO; MENEGALLI, 1995).

A Figura 20 mostra que quanto maior a concentração da solução de sacarose maior será a incorporação de sólidos no produto. Este resultado está de acordo com ANTONIO (2002) que verificou que a banana desidratada osmoticamente por 120min, nas mesmas condições desse trabalho, apresentou apenas influência da variável concentração de sacarose para a resposta ganho de

sólidos. No entanto, de acordo com MAURO (1992) e ARAUJO (2000), a variável temperatura também apresentou efeito sobre o ganho de sólidos, embora em proporções menores que a concentração da solução.



**Figura 20.** Diagrama de Pareto para ganho de sólidos em 60 min de processo de desidratação osmótica.

De acordo com a análise de variância apresentada na Tabela 8, apenas a fonte de variação da regressão é significativa para o modelo proposto na equação 9. No entanto, o coeficiente de determinação explica 59% do modelo proposto, portanto, o modelo foi considerado estatisticamente significativo para a resposta ganho de sólidos aos 60 min de desidratação osmótica.

**Tabela 8.** Análise de Variância (ANOVA) para o ganho de sólidos para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica no tempo de 60 min.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calc</sub>	F <sub>tab</sub>	R <sup>2</sup>
Regressão	6,0	1,0	6,0	6,0	4,1	0,59
Resíduo	5,0	5,0	1,0			
Falta de ajuste	4,0	3,0	1,3	2,7	9,2	
Erro puro	1,0	2,0	0,5			
Total	11,0	6,0				

$$GS(60) = 4,3 + 1,3 \cdot C \quad (9)$$

### 5.3.1.3 Perda de peso

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de perda de peso (PP) estão apresentados na Tabela 9. Os efeitos foram estimados em nível de significância de 5%.

De acordo com a Tabela 9 e Figura 21, observa-se que apenas a variável temperatura apresentou efeito positivo sobre a resposta perda de peso para os dois tempos de desidratação osmótica. Então quanto maior a temperatura maior será a perda de peso do produto.

**Tabela 9.** Estimativa dos efeitos sobre a perda de peso para os tempos de 60 e 180 min.

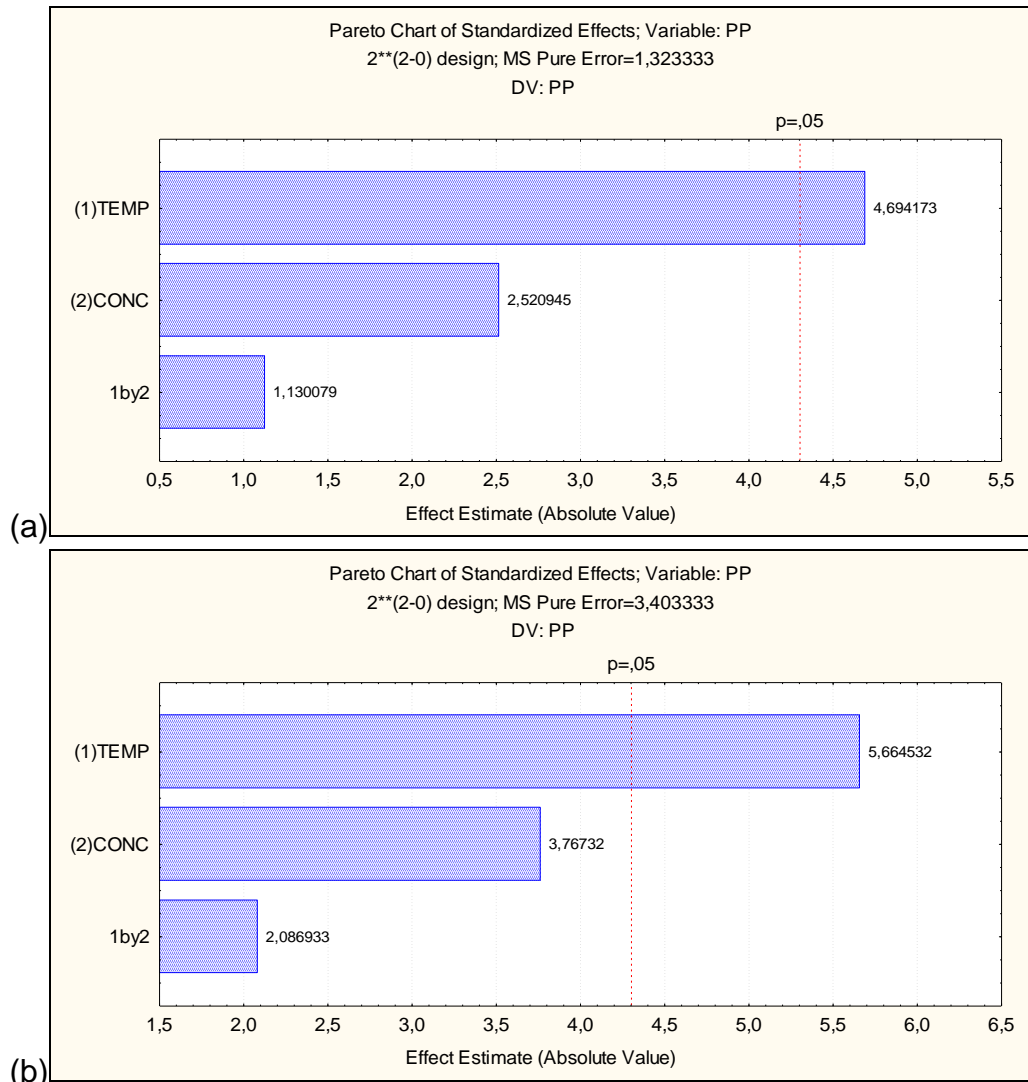
Variável	Tempo de imersão (min)					
	60			180		
	Efeito	DP	p	Efeito	DP	p
Média	9,98	0,43	0,002	16,96	0,70	0,002
Temperatura	5,40	1,15	0,04	10,45	1,84	0,03
Concentração	2,90	1,15	0,13 (ns)	6,95	1,84	0,06 (ns)
T x C	1,30	1,15	0,38 (ns)	3,85	1,84	0,17 (ns)

\*ns: não significativo

A perda de peso ocorre por causa da diferença de perda de água e ganho de sólidos, mas como a perda de água é maior que o ganho de sólidos, então a perda de peso aumenta com a temperatura devido ao aumento de perda de água, conforme foi observado pela análise desta resposta anteriormente.

Analisando a Tabela 10, observa-se que os modelos codificados propostos nas equações 10 e 11 para estimar a perda de peso em função da temperatura nos tempos de 60 e 180min, respectivamente, apresentaram regressão significativa ( $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ), falta de ajuste não significativa ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ), desta forma os modelos foram considerados significativos.

Embora os modelos tenham sido considerados significativos, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) explicou 68% e 61% da variação dos experimentos observados, respectivamente.



**Figura 21.** Diagrama de Pareto para perda de peso em 60 (a) e 180 min (b) de processo de desidratação osmótica.

**Tabela 10.** Análise de Variância (ANOVA) para a perda de peso para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica nos tempos de 60 e 180 min.

Fonte de variação	60 min					
	SQ	GL	MQ	Fcalc	Ftab	R <sup>2</sup>
Regressão	29,0	1,0	29,0	10,4	6,6	0,68
Resíduo	14,0	5,0	2,8			
Falta de ajuste	11,0	3,0	3,7	2,4	19,2	
Erro puro	3,0	2,0	1,5			
Total	43,0	6,0				
Fonte de variação	180 min					
	SQ	GL	MQ	Fcalc	Ftab	R <sup>2</sup>
Regressão	109,0	1,0	109,0	7,8	6,6	0,61
Resíduo	70,0	5,0	14,0			
Falta de ajuste	63,0	3,0	21,0	6,0	19,2	
Erro puro	7,0	2,0	3,5			
Total	179,0	6,0				

$$PP(60) = 9,9 + 2,7 \cdot T \quad (10)$$

$$PP(180) = 16,9 + 5,2 \cdot T \quad (11)$$

### 5.3.2 Avaliação das características químicas e físicas

A Tabela 11 apresenta os resultados referentes às análises dos compostos bioativos: retenção de compostos fenólicos (RF), retenção de taninos condensados (RT) e retenção da atividade antioxidante (RA) dos ensaios realizados de acordo com o planejamento experimental nos tempos de 60 e 180 min de desidratação osmótica.

**Tabela 11.** Retenção de compostos fenólicos (RF), taninos condensados (RT) e atividade antioxidante (RA) para os tempos de 60 e 180 min de desidratação osmótica.

Ensaio	T(°C)	C(%)	Tempo de imersão (min)					
			60			180		
			RF (%)	RT (%)	RA (%)	RF (%)	RT (%)	RA (%)
1	-1	-1	97,99	98,38	97,40	97,96	94,07	99,38
2	1	-1	80,87	69,09	98,39	53,17	80,27	98,98
3	-1	1	89,84	99,93	98,86	77,67	79,19	99,92
4	1	1	69,49	98,53	100,00	55,90	92,78	100,00
5	0	0	85,59	87,51	99,97	74,40	91,64	99,52
6	0	0	80,13	99,95	99,51	75,28	93,05	99,20
7	0	0	88,68	95,00	99,89	87,01	95,89	99,44

#### 5.3.2.1 Retenção de compostos fenólicos

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de retenção de compostos fenólicos na desidratação osmótica de banana nanica estão apresentados a seguir (Tabela 12). Os efeitos foram todos estimados em nível de significância de 5%.

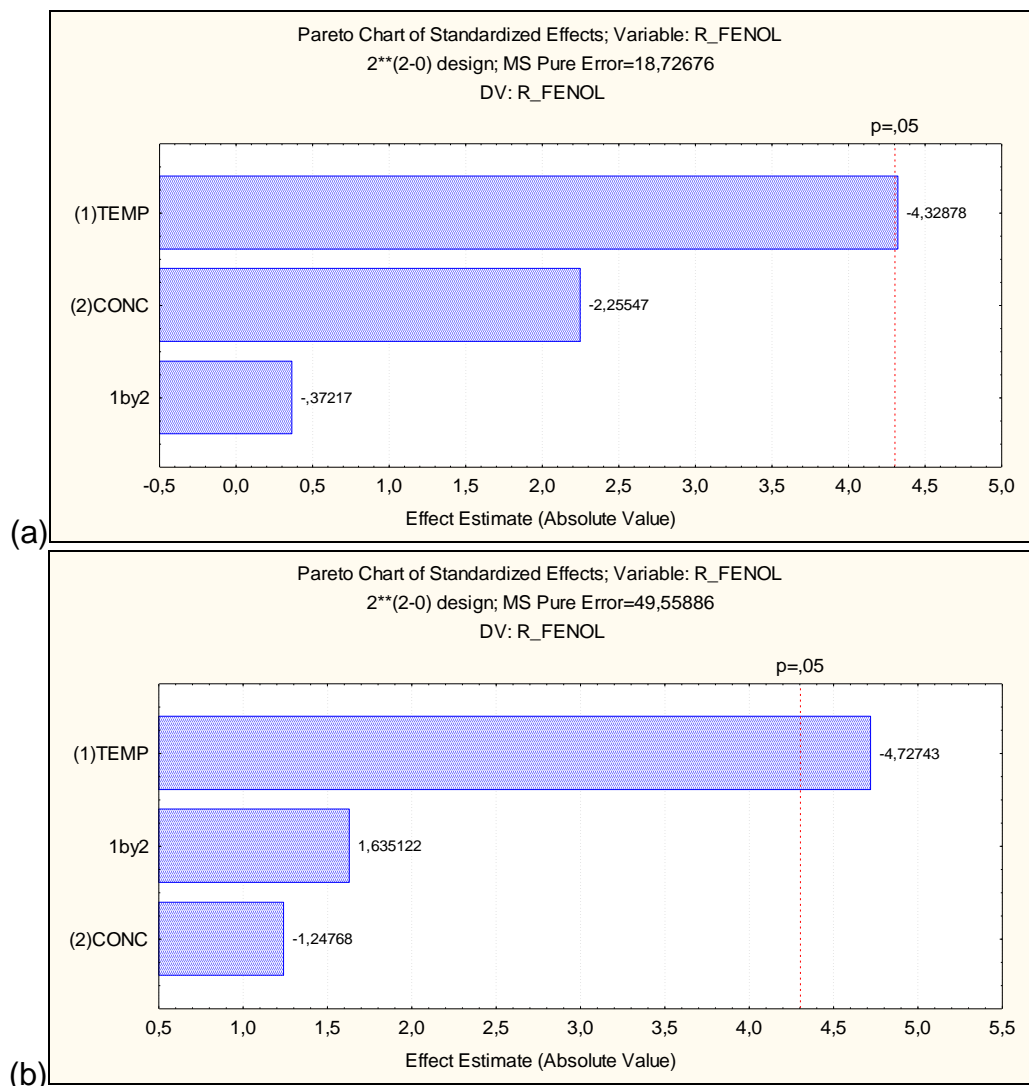
De acordo com a Figura 22 e a Tabela 12, a variável temperatura apresentou efeito negativo sobre a resposta retenção de compostos fenólicos para os dois tempos analisados e as outras variáveis não apresentaram efeitos significativos para esta resposta. Ou seja, quanto maior a temperatura da solução osmótica menor será a retenção de compostos fenólicos no produto. A variação na retenção de compostos fenólicos foi de 97% a 70% para 60min e 97% a 56% para 180min nos limites inferior (-1, -1) e superior (+1, +1) do planejamento experimental, respectivamente (Tabela 11).



**Tabela 12.** Estimativa dos efeitos sobre a retenção de compostos fenólicos para os tempos de 60 e 180 min.

Variável	Tempo de imersão (min)					
	60			180		
	Efeito	DP	p	Efeito	DP	p
Média	84,66	1,64	0,0004	74,49	2,66	0,001
Temperatura	-18,73	4,33	0,05	-33,28	7,04	0,04
Concentração	-9,76	4,33	0,15 (ns)	-8,78	7,04	0,34 (ns)
T x C	-1,61	4,33	0,75 (ns)	11,51	7,04	0,24 (ns)

\*ns: não significativo



**Figura 22.** Diagrama de Pareto para retenção de compostos fenólicos em 60 (a) e 180 min (b) de processo de desidratação osmótica.

A aplicação de calor durante a desidratação osmótica pode proporcionar reação química de hidrólise da molécula ou modificação (oxidação) dos

compostos fenólicos. No entanto, os compostos finais das reações são quantificados como compostos fenólicos totais. Desta forma, esses resultados não trazem informações sobre as possíveis reações que ocorrem durante o processo osmótico. Uma análise de compostos individuais poderia auxiliar nesta questão, como aquela realizada por SHI; LE MAGUER (2001) que observou redução na degradação de licopeno de tomate após 60min de desidratação osmótica.

O efeito da temperatura sobre a retenção de compostos fenólicos é significativo e crescente com o tempo de processo. De acordo com a literatura, o aumento da temperatura da desidratação osmótica ou pré-tratamentos, como o branqueamento, pode promover colapso celular, com redução da permeabilidade e seletividade da membrana, com conseqüente favorecimento de perda de água (ANTONIO, 2002). Este fenômeno corrobora com os resultados de perda de água observados no presente trabalho e que foram discutidos anteriormente. Portanto, pode-se supor com os resultados aqui apresentados que o aumento da temperatura favorece a lixiviação dos compostos fenólicos.

Uma observação relevante sobre esses fenômenos é que o aumento do tempo de desidratação osmótica apresentou uma redução na retenção dos compostos fenólicos, embora apresente um aumento no ganho de sólidos. De acordo com outros autores, a incorporação de solutos pode proporcionar efeito protetor dos compostos fenólicos pela complexação dos mesmos com moléculas de açúcares, formando complexos maiores que poderiam não atravessar a membrana celular (HENG et al., 1990; WEISS-HORTALA et al., 2010). TORREGIANI e BERTOLO (2001) verificaram o efeito protetor da impregnação de açúcares em morangos e kiwis osmodesidratados em compostos como vitamina C, clorofila e antocianidinas (TORREGIANI; BERTOLO, 2001) durante o congelamento. No entanto, com os resultados do presente trabalho supõe-se que a provável perda de seletividade da membrana favoreça o fluxo de fenólicos em direção à solução osmótica conjuntamente ao fluxo de água.

O efeito da concentração da solução osmótica e da sua interação com a temperatura não foi significativo em nível de 5% de significância.

**Tabela 13.** Análise de Variância (ANOVA) para a retenção de compostos fenólicos para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica no tempo de 60 e 180 min.

Fonte de variação	60 min					
	SQ	GL	MQ	F <sub>calc</sub>	F <sub>tab</sub>	R <sup>2</sup>
Regressão	351,0	1,0	351,0	13,0	6,6	0,72
Resíduo	135,0	5,0	27,0			
Falta de ajuste	98,0	3,0	32,7	1,8	19,2	
Erro puro	37,0	2,0	18,5			
Total	486,0	6,0				
Fonte de variação	180 min					
	SQ	GL	MQ	F <sub>calc</sub>	F <sub>tab</sub>	R <sup>2</sup>
Regressão	1108,0	1,0	1108,0	13,5	6,6	0,73
Resíduo	411,0	5,0	82,2			
Falta de ajuste	312,0	3,0	104,0	2,1	19,2	
Erro puro	99,0	2,0	49,5			
Total	1519,0	6,0				

Analisando a tabela 13, observa-se que os modelos codificados propostos nas equações 12 e 13 para estimar a retenção de compostos fenólicos nos tempos de 60 e 180 min em função da temperatura apresentaram regressão significativa ( $F_{calculado} > F_{tabelado}$ ) e falta de ajuste não significativa ( $F_{calculado} < F_{tabelado}$ ). Desta forma os modelos codificados foram considerados significativos, sendo que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) explicaram 72% e 73% da variação dos experimentos observados, respectivamente.

$$RF(60) = 84,6 + 9,4 \cdot T \quad (12)$$

$$RF(180) = 74,5 + 16,6 \cdot T \quad (13)$$

### 5.3.2.2 Retenção de taninos condensados

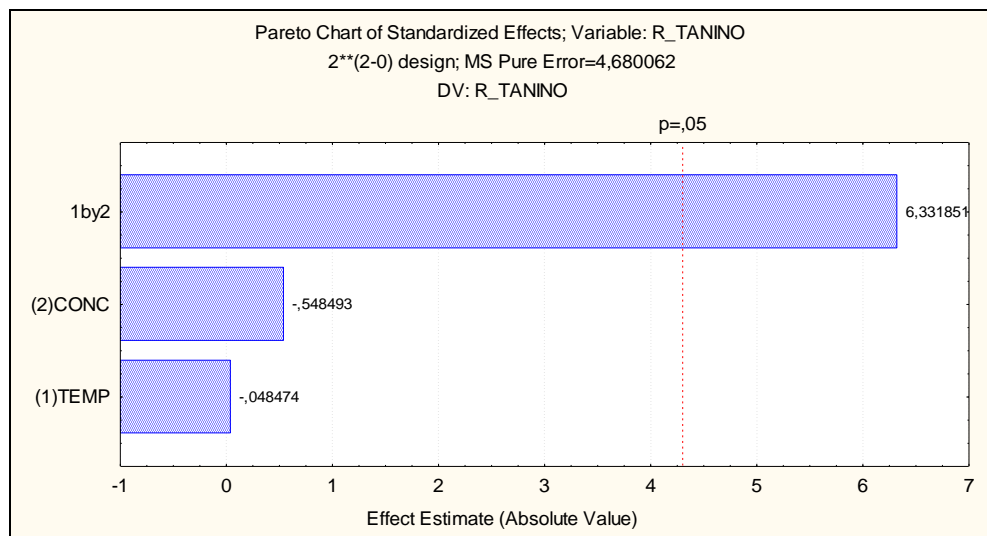
Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de retenção de taninos condensados na desidratação osmótica de banana nanica estão apresentados na tabela 14. Os efeitos foram estimados em nível de significância de 5%. Observa-se que nem a temperatura nem a concentração da solução tiveram efeito significativo sobre a retenção de taninos condensados em 60 min de imersão das amostras. O valor médio de retenção de taninos condensados de todas as condições experimentais foi de 93%, variando entre 69% e 100% para os experimentos (+1,-1) e (-1,+1), respectivamente.

**Tabela 14.** Efeitos sobre a retenção de taninos condensados para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica.

Variável	Tempo de imersão (min)					
	60			180		
	Efeito	DP	p	Efeito	DP	p
Média	92,62	2,37	0,0006	89,56	0,82	0,0001
Temperatura	-15,34	6,26	0,13 (ns)	-0,10	2,16	0,97 (ns)
Concentração	15,49	6,26	0,13 (ns)	-1,19	2,16	0,64 (ns)
T x C	13,94	6,26	0,15 (ns)	13,70	2,16	0,02

\*ns: não significativo

Para o tempo de 180 min (figura 23), somente a interação entre as variáveis (independentes) temperatura e concentração apresentou efeito positivo sobre a retenção de taninos condensados. Provavelmente, a concentração de açúcares na fruta, como resultado do aumento de ganho de sólidos e perda de água em razão do aumento da concentração da solução e temperatura, respectivamente, pode promover um efeito protetor aos taninos, pela inibição da oxidação destes compostos pela exclusão do oxigênio nos tecidos (ARAÚJO, 2002) e pela formação de uma barreira protetora que previne a lixiviação destes compostos (HENG et al, 1990).



**Figura 23.** Diagrama de Pareto para retenção de taninos condensados em 180 min de processo de desidratação osmótica.

Analisando a tabela 15, observa-se que o modelo codificado proposto na equação 14 para estimar a retenção de taninos condensados em função da interação da temperatura e concentração apresentou regressão significativa ( $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ), falta de ajuste não significativa ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ). Desta forma o modelo codificado foi considerado significativo, com coeficiente de determinação de 67%.

**Tabela 15.** Análise de Variância (ANOVA) para a retenção de taninos para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica no tempo de 180 min.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calc</sub>	F <sub>tab</sub>	R <sup>2</sup>
Regressão	188,0	1,0	188,0	10,1	6,6	0,67
Resíduo	93,0	5,0	18,6			
Falta de ajuste	84,0	3,0	28,0	6,2	19,2	
Erro puro	9,0	2,0	4,5			
Total	281,0	6,0				

$$RT = 89,6 + 6,8 \cdot T.C \quad (14)$$

### 5.3.2.3 Retenção da Atividade Antioxidante

Os valores de retenção da atividade antioxidante das amostras de banana desidratadas osmoticamente foram superiores a 97% para todas as condições do planejamento experimental estudadas. Isso demonstra que este processo pode ser aplicado com sucesso para reduzir o teor de umidade da banana sem alterar a capacidade de sequestro de radicais livres dos compostos bioativos presentes na fruta.

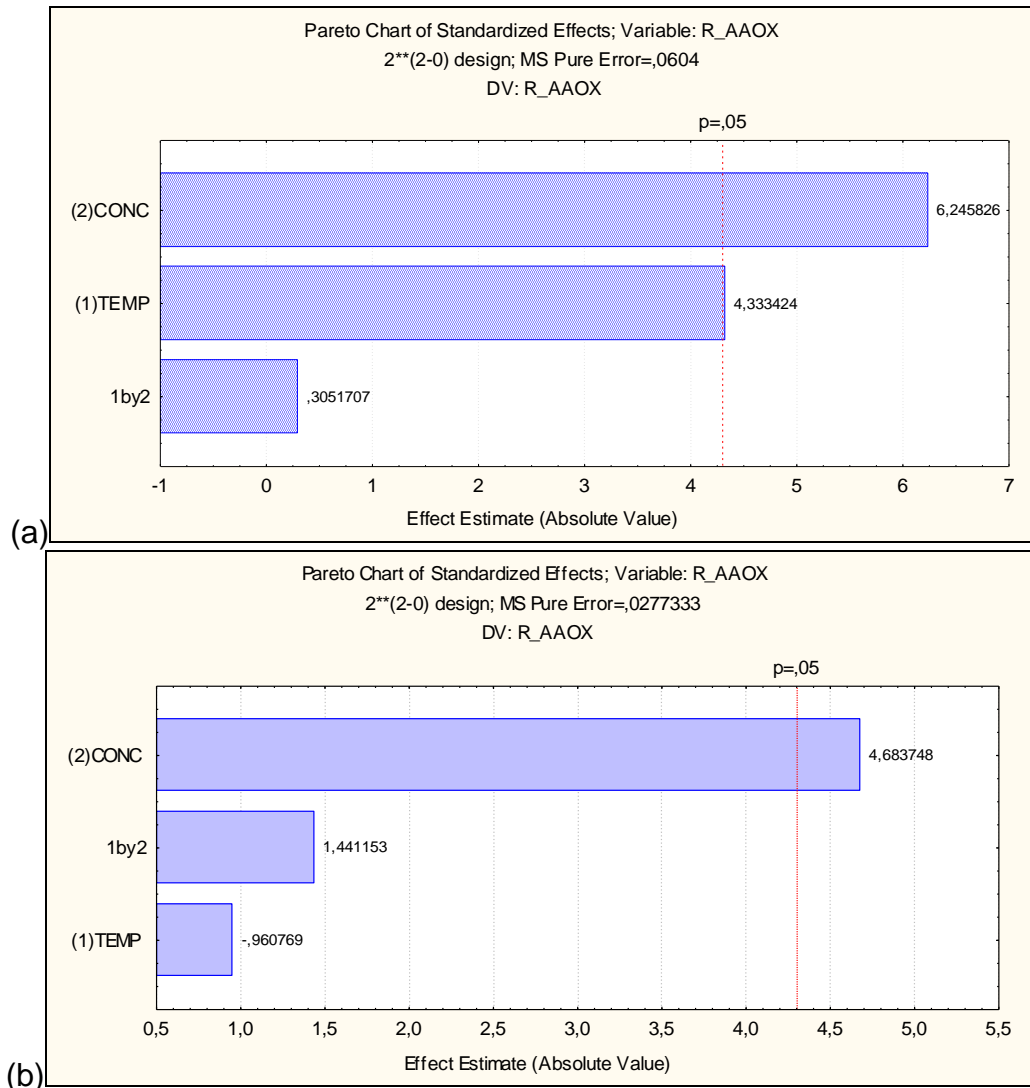
Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de retenção da atividade antioxidante na desidratação osmótica de banana nanica estão apresentados na tabela 16. Os efeitos foram todos estimados em nível de significância de 5%. Aos 60 min de desidratação, observa-se que tanto a temperatura quanto a concentração da solução tiveram efeito significativo sobre a retenção da atividade antioxidante na desidratação osmótica de banana nanica. No entanto, aos 180 min de imersão, apenas a concentração da solução apresentou efeito sobre a retenção da atividade antioxidante.

**Tabela 16.** Efeitos sobre a retenção da atividade antioxidante para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica.

Variável	Tempo de imersão (min)					
	60			180		
	Efeito	DP	p	Efeito	DP	p
Média	99,15	0,09	0	99,49	0,06	0
Temperatura	1,06	0,25	0,05	-0,16	0,16	0,44 (ns)
Concentração	1,54	0,25	0,02	0,78	0,16	0,04
T x C	0,07	0,25	0,79(ns)	0,24	0,16	0,28 (ns)

\*ns: não significativo

De acordo com a tabela 16 e a figura 24, a variável concentração da solução osmótica teve efeito positivo sobre a retenção da atividade antioxidante nos dois tempos de desidratação. Sendo assim, quanto maior a concentração da solução maior é a retenção da atividade antioxidante, pois quanto maior a incorporação de sacarose maior é o seu efeito protetor criado na superfície da fruta, prevenindo o fluxo de compostos que conferem atividade antioxidante, principalmente as macromoléculas. No entanto, estas foram reduzidas, pois a desidratação osmótica de banana nos dois tempos apresentou alta retenção de compostos fenólicos e taninos condensados, que proporcionam atividade antioxidante, conforme discutido anteriormente. Além destes compostos, a banana também apresenta outros compostos que promovem essa atividade, como flavonoides e vitaminas C e E (SOMEYA et al., 2002; VIJAYAKUMAR et al., 2008; AURORE et al., 2009).



**Figura 24.** Diagrama de Pareto para retenção da atividade antioxidante em 60 (a) e 180 min (b) de processo de desidratação osmótica.

A temperatura também apresentou efeito positivo no tempo de 60 min, pois a temperatura promove colapso nas células da banana, promovendo redução na seletividade e permeabilidade da membrana. Portanto, com o aumento da permeabilidade da membrana, favorece a entrada de sacarose que proporciona efeito protetor, através da complexação de compostos que promovem atividade antioxidante com moléculas de açúcares, formando complexos maiores que podem não atravessar a membrana celular (HENG et al., 1990; WEISS-HORTALA et al., 2010). De acordo com TORREGIANI e BERTOLO (2001), esse efeito protetor da impregnação de açúcares foi observado em morangos e kiwis osmodesidratados.

A atividade antioxidante da banana permite que quando a mesma é ingerida ocorra inibição do estresse oxidativo e assim evita a alteração no

mecanismo de controle do apoptose. Então, previne o aparecimento de várias enfermidades como: doenças cardiovasculares, câncer etc (YUNES; CALIXTO, 2001).

**Tabela 17.** Análise de Variância (ANOVA) para a retenção da atividade antioxidante para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica nos tempos de 60 e 180 min.

Fonte de variação	60min					
	SQ	GL	MQ	Fcalc	Ftab	R <sup>2</sup>
Regressão	3,88	2,0	1,94	3,66	6,94	0,60
Resíduo	2,12	4,0	0,53			
Falta de ajuste	2,00	2,0	1,00	16,67	19,00	
Erro puro	0,12	2,0	0,06			
Total	6,00	6,0				
Fonte de variação	180min					
	SQ	GL	MQ	Fcalc	Ftab	R <sup>2</sup>
Regressão	0,61	1,0	0,61	16,05	6,61	0,76
Resíduo	0,19	5,0	0,04			
Falta de ajuste	0,14	3,0	0,05	1,86	19,16	
Erro puro	0,05	2,0	0,02			
Total	0,80	6,0				

Analisando a tabela 17, a retenção da atividade antioxidante em função da concentração da solução osmótica e da temperatura no tempo de 60 min de desidratação osmótica não apresentou regressão significativa ( $F_{calculado} < F_{tabelado}$ ), então o modelo codificado não foi considerado.

No entanto, no tempo de desidratação osmótica de 180 min observa-se que o modelo codificado proposto na equação 15 para estimar a retenção da atividade antioxidante em função da concentração apresentou regressão significativa ( $F_{calculado} > F_{tabelado}$ ), falta de ajuste não significativa ( $F_{calculado} < F_{tabelado}$ ). Portanto, o modelo codificado foi considerado significativo, com coeficiente de determinação de 76 %.

$$RT(180) = 99,5 + 0,4 \cdot C \quad (15)$$

#### 5.3.2.4 Análise de cor

A tabela 18 apresenta os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ ) dos ensaios realizados de acordo com o planejamento experimental nos tempos de 60 e 180 min de desidratação osmótica.



**Tabela 18.** Parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ ) para o tempo de 60 e 180 min de desidratação osmótica.

Ensaio	T(°C)	C(%)	60 min			
			$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
1	-1	-1	74,34	4,27	25,93	3,88
2	1	-1	70,51	4,02	27,56	2,26
3	-1	1	73,29	4,24	25,75	4,73
4	1	1	68,08	4,29	26,76	4,40
5	0	0	69,22	3,77	25,99	6,45
6	0	0	69,89	4,72	28,14	2,34
7	0	0	71,38	3,62	25,92	2,15
Ensaio	T(°C)	C(%)	180 min			
			$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
1	-1	-1	72,52	3,99	24,76	5,21
2	1	-1	66,52	4,62	25,81	6,00
3	-1	1	72,88	4,24	26,21	5,28
4	1	1	67,75	5,06	28,23	5,17
5	0	0	68,73	3,78	25,58	6,94
6	0	0	66,95	5,08	27,85	4,92
7	0	0	69,17	3,82	25,27	4,06

Os valores de  $L^*$  variaram entre 74 e 68 para 60 min e 73 e 68 para 180 min para as condições dos limites inferior (-1,-1) e superior (+1,+1) do planejamento experimental, respectivamente. Por outro lado, os valores dos parâmetros  $a^*$ ,  $b^*$  e  $\Delta E$  apresentaram pouca variação entre as condições do planejamento experimental para os tempos de 60 e 180 min. Isto indica que o tempo de desidratação osmótica não promove alteração nas saturações vermelha e amarela das fatias desidratadas.

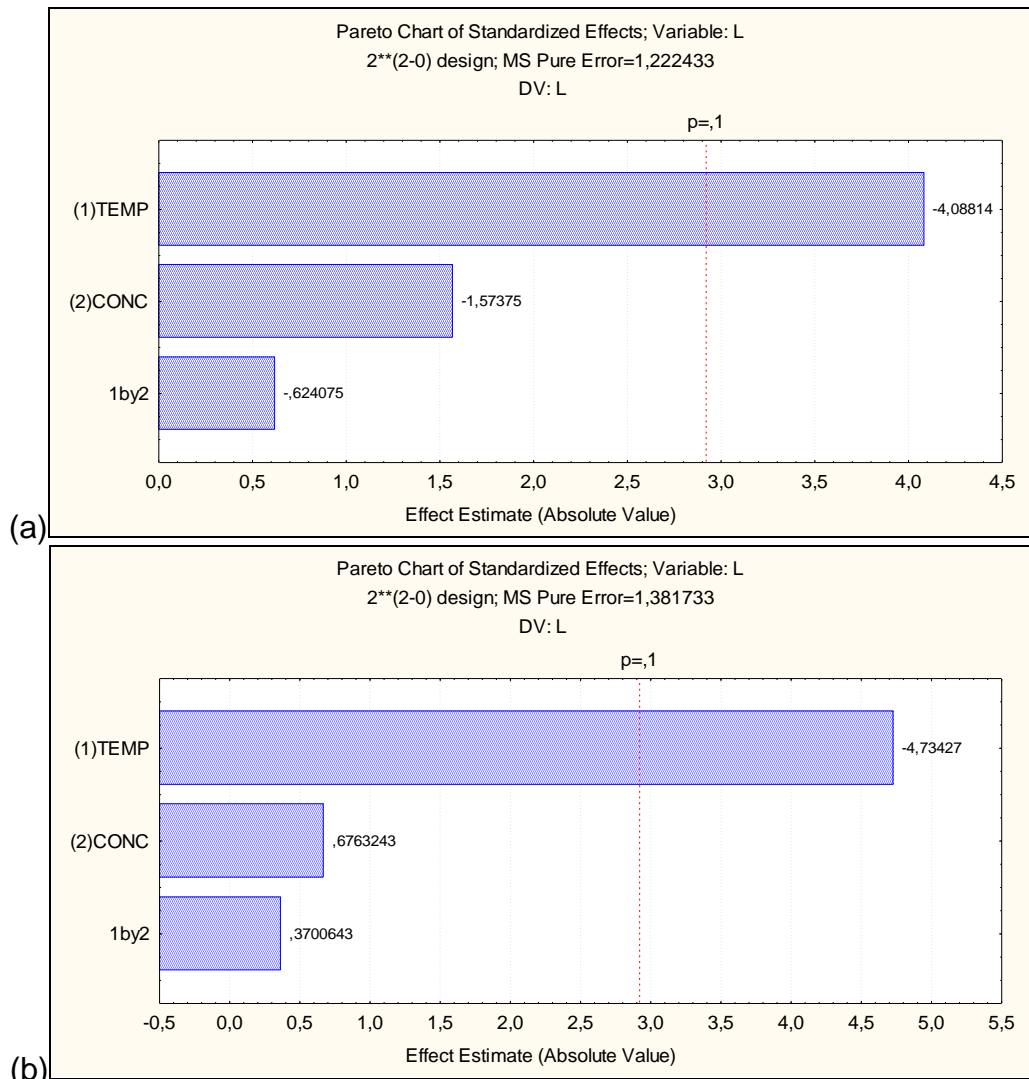
Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais dos parâmetros de cor,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $\Delta E$  das fatias de banana nanica desidratadas por 60 e 180 min estão apresentados na tabela 19. Os efeitos foram todos estimados em nível de significância de 10%.

De acordo com a figura 25, apenas a variável temperatura apresentou efeito significativo (e negativo) sobre o parâmetro  $L$  das amostras. Então, quanto maior a temperatura, menor será o parâmetro  $L$ , indicando redução na luminosidade das amostras. Ou seja, o aumento da temperatura promove escurecimento na fruta desidratada osmoticamente.

**Tabela 19.** Efeitos sobre o parâmetro L\* para o processo de desidratação osmótica de banana Nanica no tempo 60 e 180 min.

Parâmetro L*						
Variável	Tempo de imersão (min)					
	60			180		
	Efeito	DP	p	Efeito	DP	p
Média	70,95	0,42	0	99,49	0,06	0
Temperatura	-4,52	1,10	0,05	-5,56	1,17	0,04
Concentração	-1,74	1,10	0,25 (ns)	0,79	1,17	0,56 (ns)
T x C	-0,69	1,10	0,59 (ns)	0,43	1,17	0,74 (ns)
Parâmetro a*						
Variável	Tempo de imersão (min)					
	60			180		
	Efeito	DP	p	Efeito	DP	p
Média	4,13	0,23	0,003	4,37	0,28	0,004
Temperatura	-0,1	0,60	0,88 (ns)	0,73	0,74	0,43 (ns)
Concentração	0,12	0,60	0,86 (ns)	0,35	0,74	0,69 (ns)
T x C	0,15	0,60	0,83 (ns)	0,09	0,74	0,91 (ns)
Parâmetro b*						
Variável	Tempo de imersão (min)					
	60			180		
	Efeito	DP	p	Efeito	DP	p
Média	26,58	0,48	0,001	26,24	0,53	0,001
Temperatura	1,32	1,26	0,41 (ns)	1,54	1,41	0,39 (ns)
Concentração	-0,49	1,26	0,74 (ns)	1,94	1,41	0,30 (ns)
T x C	-0,31	1,26	0,83 (ns)	0,49	1,41	0,76 (ns)
Parâmetro ΔE						
Variável	Tempo de imersão (min)					
	60			180		
	Efeito	DP	p	Efeito	DP	p
Média	3,74	0,92	0,055	5,37	0,56	0,011
Temperatura	-0,98	2,43	0,73 (ns)	0,34	1,48	0,84 (ns)
Concentração	1,50	2,43	0,60 (ns)	-0,38	1,48	0,82 (ns)
T x C	0,64	2,43	0,82 (ns)	-0,45	1,48	0,79 (ns)

\*ns: não significativo ( $p > 0,1$ )



**Figura 25.** Diagrama de Pareto para parâmetro de cor L\* em 60 (a) e 180 min (b) de processo de desidratação osmótica.

A aplicação de calor durante a desidratação osmótica pode proporcionar reações químicas ou enzimáticas de oxidação dos compostos fenólicos ou mesmo reação de Maillard entre açúcares redutores e aminoácidos que promovem escurecimento do produto. Torreggiani (1993) sugere que pode ocorrer escurecimento enzimático a temperaturas acima de 45 °C, além de reações de alteração de aroma. Embora o escurecimento enzimático possa estar associado à oxidação dos compostos fenólicos com geração de melaninas (BOBBIO;BOBBIO, 2003), não pode-se relacionar a alteração deste parâmetro de cor com a retenção de compostos fenólicos, já que esta análise engloba todos os compostos que apresentem o anel fenólico, incluindo as melaninas. Além disto, este escurecimento pode estar relacionado com a complexação dos açúcares com os

pigmentos, produzindo um produto com coloração mais “concentrada”. Visualmente, observou-se que a fruta *in natura* apresentou uma coloração mais “clara”, enquanto que a desidratada osmoticamente, uma coloração mais intensa.

Verificou-se, pela Análise de Variância (ANOVA), a significância da regressão e da falta de ajuste, utilizando o teste F para o planejamento estudado (tabela 20).

Analisando a tabela 20, observa-se que os modelos codificados propostos nas equações 16 e 17 para estimar o parâmetro  $L^*$  nos tempos de 60 e 180 min, respectivamente, em função da temperatura apresentaram regressão significativa ( $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ), falta de ajuste não significativa ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ), e, portanto, os modelos codificados foram considerados significativos.

**Tabela 20.** Análise de Variância (ANOVA) para o parâmetro L no processo de desidratação osmótica de banana Nanica nos tempos de 60 e 180 min.

Fonte de variação	60 min					
	SQ	GL	MQ	Fcalc	Ftab	R <sup>2</sup>
Regressão	20,56	1,0	20,56	10,89	4,06	0,69
Resíduo	9,44	5,0	1,88			
Falta de ajuste	7,00	3,0	2,33	1,91	9,16	
Erro puro	2,44	2,0	1,22			
Total	30,00	6,0				
Fonte de variação	180 min					
	SQ	GL	MQ	Fcalc	Ftab	R <sup>2</sup>
Regressão	31,0	1,0	31,00	19,37	4,06	0,75
Resíduo	8,0	5,0	1,60			
Falta de ajuste	5,0	3,0	1,66	1,11	9,16	
Erro puro	3,0	2,0	1,50			
Total	39,0	6,0				

De acordo com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), os modelos 16 e 17 explicam, respectivamente, 69% e 75% da variação dos experimentos observados.

A análise estatística aplicada aos dados experimentais de cor para os parâmetros  $a^*$  (intensificação da cor vermelha),  $b^*$  (intensificação da cor amarela) e  $\Delta E$  nas fatias de banana nanica desidratadas em ambos os tempos não apresentou efeitos significativos. Esse resultado está de acordo com QUEIROZ et al. (2007), que não verificaram alteração significativa da cor durante a desidratação osmótica de goiaba.

$$L(60) = 70,9 + 2,3 \cdot T \quad (16)$$

$$L(180) = 69,2 + 2,8 \cdot T \quad (17)$$

### 5.3.2.5 pH

Os dados de pH das amostras de banana desidratadas osmoticamente nas condições do planejamento experimental nos tempos de 60 e 180 min estão apresentados na tabela 21.

**Tabela 21.** Valores de pH para o tempo de 60 e 180 min de desidratação osmótica.

Ensaio	T(°C)	C(%)	pH	
			60 min	180 min
1	-1	-1	4,61	4,66
2	1	-1	4,52	4,67
3	-1	1	4,62	4,60
4	1	1	4,51	4,64
5	0	0	4,64	4,63
6	0	0	4,43	4,51
7	0	0	4,51	4,63

A análise estatística aplicada aos dados experimentais de pH na desidratação osmótica de banana nanica em ambos os tempos não apresentou efeitos significativos (tabela 22). Os valores de pH medidos nas amostras submetidas às condições do planejamento variaram em torno da média de 4,6 e se encontram próximos ao pH das frutas *in natura* e branqueadas, de 4,5 e 4,4, respectivamente.

**Tabela 22.** Estimativa dos efeitos sobre o pH para os tempos de 60 e 180 min.

Variável	Tempo de imersão (min)					
	60			180		
	Efeito	DP	p	Efeito	DP	p
Média	4,55	0,04	0,0001	4,62	0,026	0,0001
Temperatura	-0,10	0,11	0,45 (ns)	0,03	0,07	0,75 (ns)
Concentração	0,00	0,11	1,00 (ns)	-0,05	0,07	0,58 (ns)
T x C	-0,01	0,11	0,93 (ns)	0,02	0,07	0,85 (ns)

\*ns: não significativo

FORNI et al. (1997) também não observaram variação no pH das amostras de damasco submetidas a diferentes condições de processamento osmótico. O pH expressa a função logarítmica de íons de H<sup>+</sup> livres, então se ocorre um aumento ou redução na acidez, não significa que seja detectada uma alteração do pH. QUEIROZ et al. (2007) também não observaram variações significativas no

pH, após a desidratação osmótica de goiaba branqueada, embora tenham observado variação na acidez.

## 6 RESUMO E CONCLUSÕES

- A cinética de desidratação osmótica de fatias de banana em solução de sacarose mostrou que a porcentagem de perda de água é três vezes maior que a de ganho de sólidos, atingindo o máximo de 35% frente a 9% para ganho de sólidos;
- A desidratação osmótica de banana nanica apresentou efeito significativo da temperatura e concentração na perda de água, com maior intensidade da temperatura. Já o ganho de sólidos apresentou apenas influência da concentração da solução osmótica. Processos realizados com maiores temperaturas e concentrações da solução osmótica proporcionam frutas com maior perda de água e maior incorporação de sólidos;
- O processo de desidratação osmótica de banana, dentro da faixa estudada de temperatura e concentração da solução de sacarose, permite atingir frutas com retenção de fenólicos e taninos acima de 53 e 79 %, respectivamente. Processos realizados com maiores temperaturas da solução promovem menor retenção dos compostos fenólicos, sendo este efeito crescente com o tempo de processo. Com relação à retenção de taninos condensados, foi observado efeito positivo pouco significativo da interação temperatura e concentração da solução;
- A retenção a atividade antioxidante da banana apresentou efeito significativo principalmente da concentração da solução. No entanto, a retenção da atividade antioxidante da fruta foi superior a 97 % para todas as condições do planejamento experimental. Este fato permite concluir que o processo de desidratação osmótica de banana mantém a capacidade de sequestro de radicais livres da fruta processada, embora o processo possa apresentar uma redução de alguns compostos bioativos que conferem atividade antioxidante, como os fenólicos e taninos;
- A temperatura da solução foi a única variável que apresentou efeito sobre o parâmetro de cor L\*: maiores temperaturas promovem redução de L\* com observação de escurecimento da fruta;
- A condição de processo que apresentou maior perda de água e menor incorporação de sólidos com maiores retenções de compostos fenólicos e atividade antioxidante foi a de temperatura de 40°C e concentração de solução de sacarose de 55 %.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÃO, R. C.; GLÓRIA, M. B. A. (2005) Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of 'Prata' banana (*Musa acuminata* · *M. balbisiana*). *Food Chemistry*, 90: 705-711.
- ALI, S. S., KASOJU, N., LUTHRA, A., SINGH, A., SHARANABASAVA, H., SAHU, A., BORA, U. (2008) Indian medicinal herbs as sources of antioxidants. *Food Research International*, 41:1–15.
- AMORIN, E. P., COHEN, K. O., AMORIN, V. B. O., PAES, N. S., SOUSA, H. N., SANTOS-SEREJO, J. A., SILVA, S. O. (2011). Caracterização de acessos bananeira com base na concentração de compostos funcionais. *Ciências Rural*, 41, 4.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. (2007) Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*, 66(1):1-9.
- ANTONIO, G. C. (2002). Influência da estrutura celular e da geometria da amostra na taxa de transferência de massa do processo de desidratação osmótica de Banana Nanica (*Musa cavendishi*) e de Mamão Formosa (*Carica papaya* L.). Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 105p.
- AOAC (1995) *Official Methods of Analysis*, Association of Official Analytical Chemists, Washington.
- ARAUJO, J. M. A. (2004). *Química de alimentos: teoria e prática*. 3 ed., Viçosa: VV.
- ARAÚJO, E. A. F. (2000) Estudo da cinética de secagem de fatias de banana nanica (*Musa acuminata* var. *Cavendish*) osmoticamente desidratadas. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, SP.
- ARRUDA, A. R.; DE CASIMIRO, A. R. S.; GARRUTI, D. DOS S.; DE ABREU, F. A. P. (2007) Caracterização físico-química e avaliação sensorial de bebida fermentada alcoólica de banana. *Revista Ciências Agrônômica*, 38(4): 377-384.
- AUORE, G.; PARFAIT, B.; FAHRASMANE, L. (2009) Bananas, raw materials for marking processed food products. *Food Science e Technology*, 20:78-9.
- BATTESTIN, V.; MATSUDA, L. K.; MACEDO, G. A. (2004) Fontes de aplicação de taninos e tanases em alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos,



- Departamento de Ciência de Alimentos, 13083-862, UNICAMP, Campinas, SP, 15(1):63-72.
- BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. (2003) Introdução à química de alimentos. 3. ed. São Paulo: Livraria Varela.
- BORGES, M. T. M. R. (2003) Potencial vitamínico da banana verde e produtos derivados. Dissertação de doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- BOTREL, N.; JUNIOR, M. F.; DE VASCONCELOS, R. M.; BARBOSA, H. T. G. (2002) Inibição do amadurecimento da banana- 'prata-anã' com a aplicação do 1-metilciclopropeno. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24(1).
- BUCHWEITZ, P. R. (2005). Avaliação da pré-secagem osmótica de kiwi (*Actinidia deliciosa*) complementada por processos convencionais. Dissertação de doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 248p.
- CARVALHO, J. C. T.; GOSMANN, G.; SCHENKEL, E. P. (2007) Farmacognosia da planta ao medicamento. 6. ed. Porto Alegre: UFRGS; Florianópolis: UFSC.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. (2005) Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA.
- COLLIGNAN, A.; RAOULT-WACK, A. L. (1994). Dewatering and salting of cod by immersion in concentrated sugar/salt solutions. *Journal Food Technology*, 27(3).
- DA SILVA, E. A.; BOLIANI, A. C.; CORRÊA, L. de S. (2006) Avaliação de cultivares de bananeira (*Musa SP*) na região de Selvíria-MS. *Revista Brasileira Fruticultura*, 28(1): 101-103.
- DEGÁSPARI, C. H., WASZCZYNSKYJ, N., PRADO, M. R. M. (2005) Atividade antimicrobiana de *Schinus terebinthifolius* Raddi. *Ciências agrotécnica*. 29:617-622.
- BERNARDES, N.R.; TALMA, S.E.V, SAMPAIO, SH. NUNES, C.R., ALMEIDA, J.A.R., OLIVEIRA, D.B. (2011). Atividade antioxidante e fenóis totais de frutas de campos dos goytacazes RJ. *Biológicas e Saúde*, 1 (1).
- DE JESUS, S. C.; FOLEGATTI, M. I. DA S.; MATSUURA, F. C. A.; CARDOSO, R. L. (2004) Caracterização física e química de frutos diferentes genótipos de banana. *Bragantia*, 63(3): 315-323.

- EL-AOUAR, A. A. (2005). Estudo do processo de secagem de mamão formosa (*Carica papaya* L.) fresco e pré-tratado osmoticamente. Dissertação de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, SP, 215 p.
- FAO. Food Agriculture Organization: crops and livestock primary and processed. Disponível em:<[http.fao.org](http://fao.org)> Acesso em 20 de agosto de 2009.
- FERRARI, C. C.; RODRIGUES, L. K.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. (2005). Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em solução de sacarose e maltose. *Ciências Tecnologia Alimento*, 25(3).
- FIORAVANÇO, J. C. (2003) Mercado Mundial da Banana: produção, comércio, participação brasileira. *Informações econômicas*, 33(10).
- FORNI, E.; SORMANI, A.; TORREGGIANI, D. (1997). The influence of sugar composition on colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. *Food Research International*, 30(2).
- HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. (1990). Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality. *Sciences des Aliments*, v.10, p.831-848.
- HUNTERLAB. Hunter Associates Laboratory. Disponível em <[www.hunterlab.com](http://www.hunterlab.com)> Acesso em 02 de junho de 2011.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: produção brasileira de banana por estado 2007. Disponível em:<[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)> Acesso em 20 de abril de 2009.
- IZIDORO, D. R. (2007) Influência da polpa de banana (*Musa cavendishii*) verde no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão. Dissertação de mestrado. Faculdade Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Paraná.
- KOLEVA, L. I., VAN BEEK, T .A., LINSSEN, J. P. H., De GROOT, A., EVSTATIEVA, L. N. (2002) Screening of plant extracts for antioxidant activity: a comparative study on three testing methods. *Phytochemical Analysis*. 13:8-17.
- LAZARIDES, H. N.; MITRAKAS, G. E.; MATSOS, K. I. (2007). Edible coating and counter-current product/solution contacting: A novel approach to monitoring solids uptake during osmotic dehydration of a model food system. *Journal of Food Engineering*, v.82, p.171-177.

- LAZARIDES; H. N. (2001). Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation, Technomic publication, 243p.
- LOPES, C. G.; NAKAMURA, C. V.; DIAS FILHO, B. P.; MELO, J. C. P. (2003) Estudo físico-químico, químico e biológico de extrato das cascas de *Stryphnodendron polyphyllum* mart.(leguminosae). Revista Brasileira de Farmacognosia, 13(2).
- LUPETTI, K. O.; RAMOS, L. A.; FATIBELLO-FILHO, O. (2003) Determinação enzimática de dopamina em formulações farmacêuticas utilizando sistema de análise por injeção em fluxo com extrato bruto de abacate (*Persea americana*). Química nova, 26(2).
- MAIA, G. A.; SOUZA, P. H. M.; LIMA, A. S.; CARVALHO, J. M.; FIGUEREDO, R. W. (2009) Processamento de frutas tropicais; nutrição, produtos e controle de qualidade. 1 ed., Fortaleza: Edições UFC.
- MAURO, M. A. (1995) Desidratação osmótica de banana nanica. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, SP.
- MAURO, M. A. & MENEGALLI, F. C. (1995). Evaluation of diffusion coefficients in osmotic concentration of bananas (*Musa Cavendish* Lambert). International Journal of Food Science and Technology, v. 30, p. 199-213.
- MEDINA, J. C.; GARCIA, J. L. M.; KATO, K.; DE MARTIN, Z. J.; VIEIRA, L. F. & RENESTO, O. V. (1985) Banana – Da cultura ao processamento e comercialização. Série Frutas Tropicais 6 – Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas.
- MOREIRA, D. L. (2000). Métodos de análise e dosagem de taninos condensados, taninos gálicos e fenóis totais. NPPN-UFRJ.
- MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE, I.; SERRA, J. A. (2000).Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. Food Research International, 33, 609-616.
- NASCIMENTO JUNIOR, B. B.; OZORIO, L. P.; REZENDE, C. M.; SOARES, A. G.; FONSECA; M. J. O. (2008). Diferenças entre bananas de cultivares Prata e Nanicão ao longo do amadurecimento: características físico-químicas e compostos voláteis. Ciências e Tecnologia de Alimentos, 28(3).
- NONO, Y. J.; GIROUX, F.; CUQ, B.; RAOULT-WACK, A.-L. (2001). Etude des parametres de controle et de commande du procede de deshydratation-

- impregnation par immersion, sur systeme probatoire automatise: application au traitement des pommes "Golden". *Jornal of Food Engineering*, v.50, p.203-210.
- OLIVEIRA, M. S.; DORS, G. C.; SOUZA-SOARES; L. A.; BADIALE-FURLONG, E. (2007). Atividade antioxidante e antifúngica de extratos vegetais. *Alimentos Nutricionais*, 18(2).
- PANSERA, M. R.; SANTOS, A. C. A.; PAESE, K.; WASUM, R.; ROSSATO, M.; ROTA, L. D.; PAULLETI, G. F.; SERAFINI, L. A. (2003). Análise de taninos totais em plantas aromáticas e medicinais cultivadas no Nordeste do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 13(1): 17-22.
- PEREIRA, N. R. (2007), Estudo da aplicação de microondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente. Dissertação de doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 105p.
- PONTING, J. D.; WATTERS, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, v.20, n.10, p.1365-1368.
- QUEIROZ, V. A. V.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; GRAVINA, G. A.; QUEIROZ, L. R.; DELIZA, R. (2007). Desidratação por imersão-impregnação e secagem por converção de goiaba. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42(10).
- RAOULT-WACK, A. L.; RIOS, G.; SAUREL, R.; GIROUX, F.; GUILBERT; S. (1994). Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). *Food Research International*, 27.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. *Swiss Society of Food Science and Technology*, v.37, p.43-47.
- RODRIGUES, A. C. C. (2005). Estudo da desidratação osmótica com aditivos e com acondicionamento sob atmosfera modificada de pedaços de mamão formosa. Dissertação de doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 210p.
- ROESLER, R., MALTA, L. G., CARRASCO, L. C., HOLANDA, R. B., SOUZA, C. A. S., PASTORE, G. M. (2007) Atividade Antioxidante de frutas do cerrado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27:53-60.

- RÓZEK, A.; GARCÍA-PÉREZ, J. V.; LÓPES, F.; GÜELL, C.; FERRANDO, M. (2010). Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: phenolic stability during air drying. *Journal of Food Engineering*, v.99, p.142-150.
- SANTO, J. C. P. (2005) Caracterização de melaninas sintetizadas por oxidação química e eletroquímica da [3-(3,4-dihidroxifenil)-/-alanina]. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências Exatas, Universidade Federal do Pará, Curitiba.
- SANTOS, S. DA C.; DE MELLO, J. C. P. (2007) Farmacognosia da planta ao medicamento. 6. ed. Porto Alegre: UFRGS; Florianópolis: UFSC.
- SHI, J. X.; LE MAGUER, M. (2001) Stability of Lycopene in tomato dehydration. *Osmotic Dehydration nad Vacuum Impregnation*, Technomic publication, 243p.
- SOMEYA, S.; YOSHIKI, Y.; OKUBO, K. (2002) Antioxidant compounds from bananas (*Musa Cavendish*). *Food Chemistry*, 79: 351-354.
- SOUZA, P. H. M.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, R. W.; NASSU, R. T.; SOUZA NETO, M. A. (2003). Influência da concentração e da proporção fruto:xarope na desidratação osmótica de banana processadas. *Ciências Tecnologia Alimentos*, v.23, p.126-130.
- TACO (2006). Tabela brasileira de composição de alimentos. NEPA – Núcleo de estudos e pesquisas em alimentos, ed. Flamboyant Ltda, Campinas, 44p.
- TAIT, A., GANZERLI, S., DI BELLA, M. (1996) Synthesis and free radical scavenging activity of 4-(2H-1,2,4-Benzothiadiazine-1,1-dioxide-3-yl)-2,6-bis(1,1-methylethyl) phenols. *Tetrahedron*. 52:1287-12596.
- TORREGGIANI, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, v.26, p.59-68.
- TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. (2001). Osmotic pré-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, v.49, p.247-253.
- VIJAYAKUMAR, S.; PRESANNAKUMAR, G.; VIJAYALAKSHMI, N. R. (2008). Antioxidant activity of banana flavonoids. *Fitoterapia*, 79.
- YANG, X.-T.; ZHANG, Z.-Q.; JOYCE, D.; HUANG, X.-M.; XU, L.-Y.; PANG, X.-Q. (2008) Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature. *Food Chemistry*, 114 (2).

- YUNES, R. A.; CALIXTO, J. B. (2001). Plantas medicinais sob a ótica da moderna química medicinal. 1. ed. Chapecó: Argos.
- WALISZEWSKI, K. N.; TEXON, N. I.; SALGADO, M. A.; GARCIA, M. A. (1997). Mass transfer in banana chips during osmotic dehydration. *Drying Technology*, v.15, p.2597-2607.
- WALL, M. M. (2006) Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa sp.*) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 434-445.

## APÊNDICE – A

**Tabela A1.** Composição química da banana nanica *in natura* (IN) e branqueada (BR) de todos os experimentos.

	IN	BR
Umidade (%)	76,06±0,2	77,29±0,2
SST	18,30±0,1	16,97±2
pH	4,52±2	4,38±2

**Tabela A2.** Valores de perda de água para a desidratação osmótica de banana nanica para cada ensaio da cinética de desidratação.

		PA (%)		
Ensaio		1 (30°C/45°Brix)	2 (40°C/55°Brix)	3 (50°C/65°Brix)
Tempo				
15		8,1	9,7	8,0
30		9,1	15,4	11,3
60		11,7	18,3	12,2
90		12,7	25,4	15,4
120		15,5	27,7	17,4
180		17,4	32,6	20,9

**Tabela A3.** Valores de ganho de sólidos para a desidratação osmótica de banana nanica para cada ensaio da cinética de desidratação.

		GS (%)		
Ensaio		1 (30°C/45°Brix)	2 (40°C/55°Brix)	3 (50°C/65°Brix)
Tempo				
15		1,4	2,2	2,2
30		1,9	5,3	3,4
60		2,3	4,7	5,8
90		2,7	7,6	4,7
120		4,1	8,1	4,9
180		4,8	7,8	6,4

**Tabela A4.** Valores de perda de peso para a desidratação osmótica de banana nanica para cada ensaio da cinética de desidratação.

Ensaio Tempo	PP (%)		
	1 (30°C/45°Brix)	2 (40°C/55°Brix)	3 (50°C/65°Brix)
15	6,7	7,5	5,8
30	7,2	10,1	7,9
60	9,4	13,6	6,4
90	10,0	17,7	10,7
120	11,4	19,6	12,5
180	12,6	24,9	14,5