

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

RONALDO DOS SANTOS FALCÃO FILHO

**Produção de passas de talo de abacaxi pérola
por processo osmo-solar**

JOÃO PESSOA

2011

RONALDO DOS SANTOS FALCÃO FILHO

**Produção de passas de talo de abacaxi pérola por
processo osmo-solar**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Linha de pesquisa: Tecnologia de produtos de origem vegetal.

Orientador Prof. Dr. Ânoar Abbas El-Aouar

JOÃO PESSOA

2011

F178p Falcão Filho, Ronaldo dos Santos.
Produção de passas de talo de abacaxi pérola por
processo osmo-solar / Ronaldo dos Santos Falcão Filho.-
João Pessoa, 2011.
72f. : il.
Orientador: Ânoar Abbas El-Aouar
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT
1. Tecnologia de Alimentos. 2. Produtos de origem
vegetal. 3. Desidratação osmótica. 4. Secagem solar.
5. Planejamento experimental.

UFPB/BC

CDU: 664(043)

RONALDO DOS SANTOS FALCÃO FILHO

**Produção de passas de talo de abacaxi pérola por
processo osmo-solar**

Dissertação aprovada em: _____ / _____ de 2011

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ânoar Abbas El-Aouar
Departamento de Engenharia de Alimentos – CT – UFPB
Orientador

Prof. Dr. Heinz Johann Houschuh
Departamento de Engenharia de Alimentos – CT – UFPB
Membro interno

Prof^a. Dr^a. Odisséia Carla Pires Gaspareto
IFRN – Campus Currais Novos
Membro externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais uma vitória;

À minha mãe, por sempre ter me apoiado;

Ao meu orientador Prof. Ânoar, por me direcionar e ajudar sempre que precisei;

Aos membros da banca Dr. Heinz Johhann e Dr^a. Odisséia Gaspareto, por participarem do meu exame de qualificação e defesa de dissertação, contribuindo com correções e sugestões neste trabalho;

À minha namorada Juliana, pelo carinho e compreensão;

A todos os amigos que fiz em dez anos de UFPB, especialmente, Eng^o. Bruno Leite (Quexada) e Eng^o. Fernando Ricardo (Pedro Lobo);

À UFPB, minha segunda casa, por ter me proporcionado uma formação ampla e de qualidade, em todos os aspectos;

Aos amigos do IFRN, pelo coleguismo e colaboração no desenvolvimento do meu trabalho;

Aos colegas Francisco (Chico), Rennan, Edvaldo e Rafael, por ajudarem quando foi preciso;

A todos que de alguma forma colaboraram no desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi produzir passas de talo de abacaxi pérola por processo de secagem combinado osmo-solar. Selecionou-se a matéria-prima levando em consideração parâmetros como: cor da casca e teor de sólidos solúveis da fruta. Procedeu-se um planejamento fatorial do tipo 2^3 com 4 repetições no ponto central, para posterior otimização de desidratação osmótica usando a metodologia de superfícies de resposta. O produto parcialmente seco obtido a partir da desidratação osmótica, utilizando-se como condições às obtidas no planejamento, passou por secagem solar complementar em secador solar, construído com materiais acessíveis, tais como: madeira compensada, folhas de alumínio, placas de vidro, esmalte sintético preto fosco, isopor e carvão. A matéria-prima, o produto parcialmente desidratação e o produto final, tiveram a sua composição analisada. A avaliação das dimensões dos abacaxis mostrou pequena variação, com $CV < 10\%$, fator importante para a padronização e controle de processos industriais. A matéria-prima ainda apresentou alto teor de sólidos solúveis e baixo teor de acidez, fazendo o abacaxi analisado propício para o consumo *in natura* e para o processamento industrial de diversos produtos, entre eles: bebidas alcoólicas e não-alcoólicas. Além disso, a matéria-prima mostrou-se excelente fonte de vitamina C, com concentração deste nutriente superior à sua recomendação diária, preconizada pela legislação. Os modelos lineares adotados apresentaram-se adequados, sendo bastante ajustados e preditivos para a perda de água (PA) e perda de peso (PP) e razoavelmente ajustados e preditivos para o ganho de sólidos e razão ganho de sólidos-perda de água (GS:PA). Analisando-se as curvas de nível e superfície de resposta do parâmetro de otimização GS:PA, construídos a partir dos modelos estatísticos, determinaram-se as condições ideais de desidratação osmótica que foram: $T = 50$ °C, $C = 40$ g 100 g⁻¹ e F:SO= 3:20. Em avaliação, o secador solar apresentou temperatura média de 41,2 °C contra 35,7 °C do ar ambiente e temperatura máxima de 46 °C, além de umidade relativa mínima do ar secagem de 37%. O produto obtido após a secagem apresentou umidade de 13,70 g 100 g⁻¹ atendendo o a legislação quanto ao teor máximo de umidade para fruta desidratada.

Palavras-chave: desidratação osmótica, secagem solar, planejamento experimental, metodologia de superfícies de resposta

ABSTRACT

The objective of the present work was to produce pineapple stem raisin by means of osmo-solar drying. The raw material was selected taking into account parameters such as: color of the rind and level of soluble solids from the fruits. A type 2^3 factorial design was preceded with 4 repetitions at the central point, for further optimization of the osmotic dehydration using the methodology of surface responses. The partially dry product obtained from the osmotic dehydration, utilizing as conditions the ones from the planning, passed through complementary sun drying by means of a solar drier, build with assessable materials such as joined wood, aluminum plates, glass boards, matte black paint, Styrofoam and coal. The raw material, the product partially dehydrated and the final product had their compositions analyzed. The evaluation of the dimensions of the pineapples showed little variation, with a CV < 10%, an important factor for the standardization and control of the industrial processes. The raw material also presented a high level of soluble solids and low level of acidity, proving the analyzed pineapple useful for *in natura* consumption and for the industrial processing of several products, among them alcoholic and non-alcoholic beverages. Furthermore, the raw material has proven to be an excellent source of vitamin C, with a concentration of such nutrient higher than what is daily recommend according to legislation. The adopted linear factors have presented themselves to be adequate, they were fairly adjusted and predictive for the loss of (PA) and weight loss (PP) and fairly adjusted and predictive to gain of solids and gain of solid-loss of water ratio (GS:PA). Analyzing the level curves and surface of answer of the optimization parameters GS:PA, built from the statistical models, it was determined the ideal conditions of osmotic dehydration which were: T = 50 °C, C = 40 g 100 g⁻¹ and F:SO= 3:20. In evaluation, the Sun dryer presented and average temperature of 41.2 °C against 35.7 °C of natural air and maximum temperature of 46 °C, besides the minimal relative air humidity of 37%. The product obtained after the draught presented humidity of 13.70 g 100 g⁻¹ obeying the legislation concerning the maximum levels of humidity for dehydrated fruit.

Keywords: osmotic dehydration, solar drying, design experimental, response surface methodology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Abacaxis Pérola	4
Figura 2. Principais fluxos que ocorrem durante o processo de desidratação osmótica (EL-AOUAR,2005).	7
Figura 3. Curva típica da cinética de secagem (VILELA, 2008).	9
Figura 4. Representação do movimento de translação da terra (BRASIL, 2005).	11
Figura 5. Radiação solar global diária – média anual típica ($MJ \cdot m^{-2} \cdot dia$) (BRASIL, 2005).	12
Figura 6. Fluxograma de processo de obtenção de talo de abacaxi passa.	15
Figura 7. Fotografias do abacaxi mostrando as dimensões comprimento de fruto sem coroa (CFSC) e diâmetro do fruto (DF).	19
Figura 8. (a), (b) e (c) vistas da câmara de secagem em construção e (d) bandeja de secagem.	20
Figura 9. Vistas do coletor-armazenador em construção.	21
Figura 10. Exaustor e seus controles.	21
Figura 11. (a) Cortes do abacaxi com talo isolado e (b) comprimento e largura, aproximados, de fatia de talo de abacaxi usado na desidratação osmótica.	22
Figura 12. (a) fatias de talo de abacaxi prontas para desidratação, (b) potes de vidro contendo as fatias de talo e a solução desidratante e (c) potes na estufa utilizada para desidratação.	22
Figura 13. Orientação do secador em direção ao norte verdadeiro.	26
Figura 14. Valores previstos pelo modelo para a PA versus valores observados.	33
Figura 15. Distribuição dos resíduos da avaliação da PA em torno da reta que indica a normalidade dos valores.	33
Figura 16. Curva de nível (a) e superfície de resposta (b) da PA em função da temperatura e da concentração.	35
Figura 17. Valores previstos pelo modelo para PP versus valores observados.	36
Figura 18. Distribuição dos resíduos da PP em torno da reta que indica a normalidade dos valores.	37
Figura 19. Curva de nível (a) e superfície de resposta (b) da PP em função da temperatura e da concentração.	38
Figura 20. Valores previstos pelo modelo para GS versus valores observados.	40

Figura 21. Distribuição dos resíduos do GS em torno da reta que indica a normalidade dos valores.	40
Figura 22. Curva de nível (a) e superfície de resposta (b) do GS em função da temperatura e da concentração.....	41
Figura 23. Valores previstos pelo modelo para GS:PA versus valores observados..	43
Figura 24. Distribuição dos resíduos do GS:PA em torno da reta que representa a normalidade dos valores.	44
Figura 25. Curva de nível (a) e superfície de resposta (b) da razão GS:PA em função de temperatura e da concentração.....	45
Figura 26. Prancha mostrando a vista frontal do sistema de secagem.	47
Figura 27. Prancha mostrando a vista superior e lateral do coletor-armazenador e exaustor acoplado.	48
Figura 28. Prancha mostrando a vista frontal e lateral da cabine de secagem com exaustor acoplado.	49
Figura 29. Vistas do secador.....	50
Figura 30. Gráfico das temperaturas do ar (T_{ar}), coletor (T_{col}) e secador (T_{sec}) em função do horário.	51
Figura 31. Gráfico da umidade relativa do ar ambiente (U_{amb}) e do ar de secagem (U_{sec}) em função do horário.....	52
Figura 32. Fatias de talo de abacaxi antes da desidratação osmótica (a), após a desidratação osmótica (b) e após a secagem (c).....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição do abacaxi pérola	5
Tabela 2. Produção mundial de abacaxis em 2008.....	6
Tabela 3. Tabela modelo de análise de variância (ANOVA)	14
Tabela 4. Variáveis independentes e níveis do planejamento 23 com repetições no ponto central.....	24
Tabela 5. Planejamento experimental 2 ³ com 4 repetições no ponto central.	25
Tabela 6. Parâmetros físicos CFSC, DF e PFSC do abacaxi pérola comercializado em Currais Novos-RN.	28
Tabela 7. Composição centesimal do abacaxi.	29
Tabela 8. Avaliação dos parâmetros sólidos solúveis, acidez e vitamina C em abacaxi.....	29
Tabela 9. Valores experimentais das respostas em função dos tratamentos	31
Tabela 10. Efeitos da perda de água (PA) avaliados através do erro padrão.	32
Tabela 11. Análise de variância (ANOVA) para a perda de água do talo de abacaxi.	32
Tabela 12. Coeficientes do modelo estatístico para perda de água.....	34
Tabela 13. Efeitos da perda de peso (PP) avaliados através do erro padrão.	35
Tabela 14. Análise de variância (ANOVA) para a perda de peso do talo de abacaxi.	36
Tabela 15. Coeficientes do modelo estatístico para perda de peso	37
Tabela 16. Efeitos do ganho de sólidos (GS) avaliados através do erro padrão.....	39
Tabela 17. Análise de variância (ANOVA) para o ganho de sólidos do talo de abacaxi.....	39
Tabela 18. Coeficientes do modelo estatístico para ganho de sólidos.....	41
Tabela 19. Efeitos da razão perda de água-ganho de sólidos (GS:PA) avaliados através do erro padrão.	42
Tabela 20. Análise de variância (ANOVA) para a razão GS:PA do talo de abacaxi..	43
Tabela 21. Coeficientes do modelo estatístico para a relação GS:PA.	44
Tabela 22. Valores otimizados para a desidratação osmótica.	45

Tabela 23. Composição química do produto pós-desidratação osmótica	52
Tabela 24. Composição química do talo de abacaxi passa.	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 Objetivo geral	3
1.2.1 Objetivos específicos.....	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 ABACAXI: ASPECTOS BOTÂNICOS E GERAIS	4
2.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	6
2.3 SECAGEM CONVECTIVA	8
2.4 APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR EM SECAGEM	10
2.5 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 MATÉRIA-PRIMA	16
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	16
3.2.1 Caracterização físico-química	16
3.2.2 Caracterização física	18
3.2 CONSTRUÇÃO DO SECADOR SOLAR.....	19
3.2.1 Construção da câmara de secagem.....	19
3.2.2 Construção do coletor-armazenador	20
3.2.3 Exaustor e seus controles	21
3.3 LIMPEZA E SANITIZAÇÃO.....	21
3.4 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	22
3.4.1 Processo da desidratação osmótica.....	22
3.4.2 Avaliação da desidratação osmótica	23
3.4.3 Planejamento experimental	23
3.5 SECAGEM SOLAR	25
3.5.1 Montagem do secador solar	25
3.5.2 Processo de secagem solar	26
3.5.3 Controle da secagem	26
3.5.4 Medições de umidade relativa, temperatura e velocidade do ar	27
3.6 COMPOSIÇÃO DO TALO DE ABACAXI PÓS-DESIDRATAÇÃO E DO PRODUTO FINAL	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	28

4.2 OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	30
4.2.1 Avaliação da perda de água.....	31
4.2.2 Avaliação da perda de peso.....	35
4.2.3 Avaliação do ganho de sólidos.....	38
4.2.4 Otimização da desidratação.....	42
4.3 CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO SECADOR SOLAR.....	45
4.3.1 Projeto.....	45
4.3.2 Avaliação do secador solar.....	50
4.4 OBTENÇÃO DA PASSA DO TALO DE ABACAXI.....	52
5. CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de frutas no ano de 2005 foi de 690.756.513 toneladas. Naquele ano o maior produtor foi a China (167 milhões de toneladas), seguida da Índia (57,9 milhões de toneladas) e Brasil que ocupou a terceira posição com uma produção de 41,2 milhões de toneladas (FAO, 2009).

Em termos nacionais a região Nordeste ocupa a segunda posição entre as regiões quanto à produção de frutas, sendo responsável por, aproximadamente, 27% da produção nacional ficando atrás da região sudeste que representa 49% desta produção (SIDRA, 2009).

A produção nacional de abacaxi no ano de 2008 foi de aproximadamente 1,7 bilhões de unidades, sendo o Nordeste com 788 milhões de unidades produzidas a região com maior produção e o Estado com a maior produção foi a Paraíba com cerca de 345 milhões de unidades (SIDRA, 2009).

O abacaxi por longo tempo tem sido a fruta, não pertencente à família *citrus*, mais popular nos países tropicais e subtropicais, principalmente pelo seu atrativo sabor e aroma, contendo uma grande diversidade de vitaminas e sais minerais, com destaque para a vitamina C, e para o potássio (VALENTE, 2007).

Infelizmente existe um grande desperdício dessa produção em nosso país e por isso, métodos de conservação devem ser adotados para que isto seja evitado. A desidratação osmótica combinada com a secagem solar apresenta-se como um ótimo método de conservação para frutas e, além disto, agrega um bom valor ao produto que pode ser produzido facilmente por pequenos produtores rurais.

A secagem é uma das técnicas mais antigas de preservação de alimentos utilizadas pelo homem. O processo é simples e consiste na eliminação de água em um produto por evaporação, com transferência de calor e massa. Uma vantagem da secagem é que o alimento processado por essa técnica não necessita de refrigeração durante o armazenamento e transporte (MELONI, 2003).

O processo de secagem ainda oferece as seguintes vantagens: facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura

ambiente por longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa, economia de energia, não necessitando de posterior refrigeração, e disponibilizando o produto o ano todo (CÓRDOVA, 2006).

A desidratação osmótica é um método de remoção parcial de água dos alimentos. Baseia-se na imersão dos alimentos em soluções hipertônicas de um ou mais solutos, originando dois fluxos simultâneos e opostos: uma saída de água do produto para a solução e uma migração de solutos da solução para o produto. A saída de sólidos naturais do alimento é quantitativamente desprezível, embora possa ser importante no que diz respeito às características sensoriais e nutricionais (TONON; BARONI e HUBINGER, 2006).

Queiroz et al. (2007) mostraram por meio de avaliação sensorial de aceitabilidade da goiaba passa que o processo combinado de desidratação e secagem resulta em produtos de melhor qualidade do que somente a secagem convectiva, pois para os atributos avaliados (aroma, aparência, sabor e textura) as passas obtidas pelo processo combinado mostraram notas superiores e diferentes, ao nível de 5%, comparadas as notas obtidas pelo processo simples de secagem. Isto mostra a vantagem de se utilizar o processo combinado de desidratação seguida de secagem.

A desidratação osmótico-solar vem ganhando interesse, especialmente em países onde existem grande variedade de frutas, ampla disponibilidade de açúcar e alta incidência de raios solares durante todo o ano (BRANDÃO et al., 2003).

Santos; Queiroz e Borges (2005) mostraram que um sistema de secagem com coletor armazenador solar pode reduzir em até 30% o consumo de combustível fóssil no processo de secagem de grão de milho.

Pelo exposto, justifica-se o estudo do processo combinado de desidratação osmótica e secagem convectiva solar do abacaxi, pois esta tecnologia pode atenuar o problema do desperdício da produção de frutas em nosso país, além disso, pode ser usado como uma opção para melhorar a renda do pequeno produtor rural, já que o processo agrega valor ao produto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

- Produzir passa de talo de abacaxi pérola utilizando o processo combinado de desidratação osmótica e secagem convectiva indireta com aquecimento solar do ar.

1.2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar a matéria-prima mediante análises químicas e físicas de: umidade, resíduo mineral fixo (RMF), fibras, proteínas, lipídeos, açúcares totais, acidez, massa do fruto, comprimento, largura, diâmetro, sólidos solúveis, potencial hidrogeniônico e atividade de água;
- Otimizar o processo de desidratação osmótica do talo do abacaxi utilizando a metodologia das superfícies de resposta;
- Construir e avaliar um secador horizontal com aquecimento solar indireto e circulação forçada do ar de secagem;
- Produzir a passa de talo de abacaxi, parcialmente desidratado, utilizando o secador solar para a secagem;
- Determinar a composição química da passa de talo de abacaxi.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ABACAXI: ASPECTOS BOTÂNICOS E GERAIS

O abacaxizeiro é uma planta perene, monocotiledônea, pertencente à família *Bromeliaceae*, que contém aproximadamente 1900 espécies de plantas herbáceas. O fruto é composto, constituído de 100 a 200 frutos simples (frutinhos) que evoluem individualmente, estando inseridos sobre uma haste central em disposição espiralada e intimamente soldados entre si. Em seu ápice há um tufo de folhas, ou coroa. A forma do fruto é cilíndrica ou cônica, e sua massa varia entre 1 a 3 kg (MEDINA,1987; CUNHA, 2005; FAO, 2009).

O abacaxizeiro (*Ananás comosus* (L.) Merrill) é uma planta originária da América tropical e subtropical, e provavelmente do Brasil, a partir de onde se disseminou para a América Central e Caribe, muito antes da chegada dos europeus. O abacaxi foi levado pelos espanhóis para a Europa com o nome de *piña* (analogia com os estróbilos de pinheiro), como prova da exuberância exótica das terras descobertas a oeste do Atlântico, e logo cruzou os mares do mundo pelas caravelas, passando a ser cultivado na África e Ásia, onde se propagou por ser um fruto de fácil dispersão e cultivo (VALENTE, 2007).

Segundo Souza; Silva e Azevedo (2007) o cultivar pérola apresenta grande produtividade, alto peso do fruto e menos ácido do que o cultivar Smooth Cayenne. A Figura 1 mostra abacaxis do cultivar pérola.



Figura 1. Abacaxis Pérola

A palavra abacaxi em português é oriunda do tupi-guarani *ibacaxi*, composta de *ibá* (fruta) e *caxicati* (cheirosa), já a palavra ananás (outra designação para abacaxi) é oriunda também do tupi-guarani *nanã* (fruta saborosa) (VALENTE, 2007).

Quanto à composição, o abacaxi pérola é uma fruta rica em carboidratos e potássio, sua composição média apresenta-se na Tabela 1.

O Brasil é o maior produtor mundial de abacaxis seguido de Tailândia e Filipinas como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 1. Composição do abacaxi pérola

Constituinte	Valor
Umidade (g 100 g ⁻¹)	86,3
Carboidratos (g 100 g ⁻¹)	12,3
Proteínas (g 100 g ⁻¹)	0,9
Fibra alimentar (g 100 g ⁻¹)	1,0
Lipídeos (g 100 g ⁻¹)	0,1
RMF (g 100 g ⁻¹)	0,4
Energia (kJ 100 g ⁻¹)	202,0
Cálcio (mg 100 g ⁻¹)	22,0
Potássio (mg 100 g ⁻¹)	131,0

Fonte: Brasil, 2006

As duas principais variedades de abacaxi produzidas no país são: Smooth Cayenne e Pérola, sendo que a primeira variedade é encontrada apenas nos estados de São Paulo e Minas Gerais, enquanto o abacaxi Pérola é cultivado em todo o país e responsável por 74% da produção nacional, sendo destinado ao consumo *in natura*, por ser mais doce e menos ácido (ALMEIDA, 2004).

A variedade Smooth Cayenne, é mais resistente a choques mecânicos, e por isso destinada à exportação e à indústria, para o processamento de suco e compotas. Destaca-se o estado de Minas Gerais como o maior produtor de abacaxi variedade Smooth Cayenne, e os estados da Paraíba e Pará, como grandes produtores da variedade Pérola (VALENTE, 2007).

Tabela 2. Produção mundial de abacaxis em 2008.

Posição	País	Produção (Toneladas)	Produção (US\$)
1	Brasil	2.491.974	481.922.000
2	Tailândia	2.278.566	440.651.000
3	Filipinas	2.209.336	427.263.000
4	Costa Rica	1.678.125	324.532.000
5	China	1.402.060	271.144.000
6	Índia	1.305.800	252.528.000
7	Indonésia	1.272.761	246.139.000
8	Nigéria	900.000	174.051.000
9	México	685.805	132.627.000
10	Vietnã	470.000	90.893.000

Fonte: FAO, 2011.

2.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A desidratação osmótica é um processo brando de conservação, que vem sendo estudado durante décadas e que pode ser aplicado como etapa preliminar ou adicional a outros processamentos, por ser capaz de remover parte da água presente nos alimentos sem severas agressões de sua natureza estrutural, nutricional e funcional.

A água é um dos principais componentes dos alimentos e apresenta influência direta e decisiva sobre a qualidade e durabilidade dos produtos alimentícios, por participar de muitos processos físico-químicos e biológicos.

O processo de desidratação osmótica consiste na imersão de produtos de origem vegetal ou animal em soluções hipertônicas de um ou mais agentes osmóticos, por um determinado período de tempo e temperatura.

Sendo a solução mais concentrada que o produto, ocorrem dois principais fluxos em contra-corrente através das paredes celulares, um fluxo de moléculas de água difundindo do interior do produto até a solução (este fluxo é o mais importante, pois é o responsável pelo aspecto de desidratação) e, em menor grau, um fluxo em direção oposta, de moléculas do soluto, difundindo da solução para o produto. Além desses dois fluxos principais, ocorre também um terceiro fluxo, que está ligado à

perda de substâncias naturais do produto, de baixo peso molecular (sacarídeos, ácidos orgânicos, vitaminas, sais minerais, etc.), como mostra a Figura 2. Embora esta corrente não tenha influência significativa no processo de transferência de massa, pode ter influência essencial sobre o valor nutritivo e propriedades sensoriais do alimento (SOUSA, 2008; CÓRDOVA, 2006; ALVES, 2003).

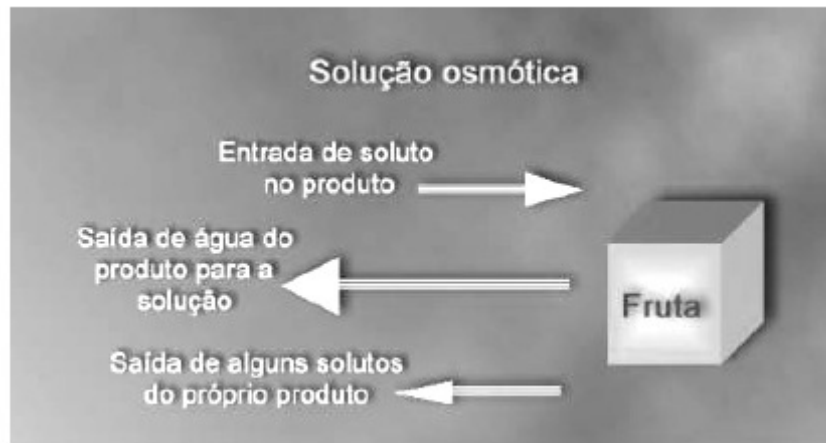


Figura 2. Principais fluxos que ocorrem durante o processo de desidratação osmótica (EL-AOUAR, 2005).

É importante salientar que a desidratação osmótica é descrita como um processo parcial na desidratação de frutas. Após a desidratação por osmose, um método complementar como secagem convencional, congelamento ou pasteurização, por exemplo, deve ser utilizado a fim de se obter um produto com boas características de conservação no que diz respeito a sua estabilidade química e microbiológica (EL-AOUAR, 2005).

A cinética de desidratação osmótica pode ser acompanhada mediante o cálculo da perda de água (PA), do ganho de sólidos (GS) e perda de peso (PP) que a amostra sofre durante a desidratação. Tais parâmetros de processo podem ser obtidos através das seguintes Equações 1, 2 e 3 (ALMEIDA et al., 2005):

$$PA = \frac{(M_0 - M_t) \cdot 100}{W_0} \quad (\text{Equação 1})$$

$$GS = \frac{(MS_t - MS_0) \cdot 100}{W_0} \quad (\text{Equação 2})$$

$$PP = PA - GS \quad (\text{Equação 3})$$

Em que,

PA – Perda de água ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)

PP – Perda de peso ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)

GS – Ganho de sólidos ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)

M_0 - Quantidade inicial de água da amostra (g)

M_t - Quantidade de água da amostra desidratada (g)

MS_0 - Matéria seca inicial da amostra (g)

MS_t - Matéria seca da amostra desidratada (g)

W_0 - Massa inicial da amostra (g)

2.3 SECAGEM CONVECTIVA

A secagem é um processo que consiste na eliminação de água de um produto por evaporação, com transferência de calor e massa. É necessário fornecimento de calor para evaporar a umidade do produto e um meio de transporte para remover o vapor de água formado na superfície do produto a ser seco. O processo de secagem pode envolver três meios de transferência de calor: convecção, condução e radiação. A transferência de calor por convecção é o meio mais utilizado na secagem comercial, em que um fluxo de ar aquecido passa através da camada do produto. Durante o processo de secagem, a umidade migra do interior para a superfície do produto, de onde se evapora para o ambiente (MELONI, 2003).

De acordo com Vilela (2008) a secagem se divide basicamente em três estágios, a saber: O estágio 1 é caracterizado por um período muito curto de tempo com alta taxa de secagem transiente, seguido por período de alta taxa de secagem constante com temperatura do sólido igual a temperatura de bulbo úmido do ar de secagem; o estágio 2 é caracterizado pelo decréscimo da taxa de secagem e de um aumento da temperatura do sólido com retirada de umidade mais lenta. O estágio 3 é caracterizado pela baixa taxa de secagem e o processo atinge a umidade de equilíbrio que é a menor umidade que pode ser atingida numa certa condição de secagem.

A Figura 3 representa a massa de água retirada do produto em função do tempo e expõe os três estágios da secagem.

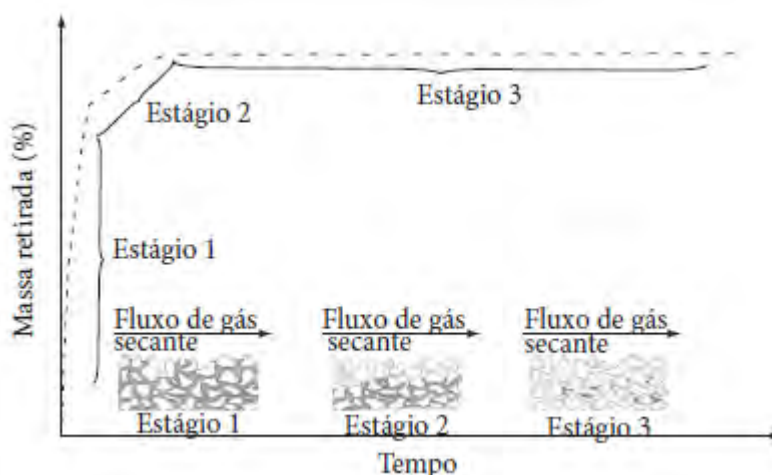


Figura 3. Curva típica da cinética de secagem (VILELA, 2008).

O processo de secagem de produtos alimentares tem sido objeto de especial interesse na indústria de alimentos, por apresentar várias vantagens, dentre as quais: abaixamento da atividade de água, que garante a conservação do produto aumentando a vida de prateleira, a estabilidade dos componentes aromáticos em temperatura ambiente por longos períodos de tempo, proteção contra degradação enzimática e oxidativa, redução do peso, economia de energia por não necessitar de refrigeração e disponibilidade do produto durante qualquer época do ano.

O processo de secagem pode ser definido, como sendo a eliminação da água de algum material por meio da evaporação, com o uso de energia térmica em temperaturas abaixo da ebulição. O autor define vários métodos de secagem estando dentre os mais tradicionais, o método de secagem natural realizada pelo sol e vento, e a secagem convectiva, em que o fluxo de ar aquecido é fornecido artificialmente. Sob o aspecto físico, a secagem de alimentos é um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ambiente de secagem, afetado por várias condições internas e externas tais como: propriedades dos alimentos e condições do ar (SOUZA, 2008).

De acordo com Brasil (1978), fruta seca é o produto obtido pela perda parcial da água da fruta madura, inteira ou em pedaços, por processos tecnológicos adequados, devendo ter um conteúdo máximo de umidade de $25 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e que também pode ser chamado de “passa”.

A secagem pode ser controlada conhecendo-se a umidade inicial, a massa inicial, fixando-se uma umidade final e determinando-se a massa final do produto utilizando a Equação 4 (MELONI, 2009).

$$P_f = P_i \cdot [(100 - U_i/100 - U_f)] \quad (\text{Equação 4})$$

Em que,

P_f – Massa final do material (g)

P_i – Massa inicial do material (g)

U_i – Umidade inicial do material (g 100 g⁻¹)

U_f – Umidade final do material (g 100 g⁻¹)

2.4 APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR EM SECAGEM

Trabalhos sobre a secagem solar de frutos surgiram da necessidade de garantir um melhor aproveitamento da produção agrícola e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade de vida dos agricultores por meio da utilização de energias renováveis (FERREIRA; CANDEIAS, 2005).

Quase todas as fontes de energia (hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos) são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes, bem como para geração de potência mecânica ou elétrica. O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é realizado com o uso de coletores ou concentradores solares (BRASIL, 2005).

Uso da energia proveniente do sol hoje é amplamente difundida, pois esta pode servir como fonte energética em diversas aplicações, tais como: aquecimento de água, de ar, refrigeração, destilação de água, geração de eletricidade e secagem de produtos agrícolas.

A crise energética e o aumento dos preços dos combustíveis tem aumentado muito os custos da secagem por métodos convencionais, como a secagem mecânica, exigindo assim, a busca de outras metodologias para realizar a secagem. Um procedimento que combina a secagem mecânica com a natural vem sendo usado no Brasil, principalmente para grãos. O mesmo consiste em combinar a energia coletada do sol e a convecção forçada do ar, realizada por ventiladores, resultando no aproveitamento tanto da radiação solar, como da convecção forçada.

Comumente neste sistema de secagem se necessita apenas de um complemento de energia elétrica para mover o ventilador que impulsiona o ar. Quando se obtém um produto por esse método, como por exemplo, a banana passa, o valor de comércio do produto no Brasil é mais de dez vezes o do alimento *in*

natura, o que garante um bom lucro para os produtores (COSTA e FERREIRA, 2007).

Cometta (2004) afirma que a secagem de produtos agrícolas implica num consumo de combustível fóssil não desprezível, sendo responsável por uma grande parcela de consumo de combustível na atividade agrícola, nos Estados Unidos no ano de 1973 consumiu-se 2,5 milhões de toneladas de petróleo somente na operação de secagem de grãos.

A intensidade da radiação solar que atinge a terra varia com a época do ano – definindo as quatro estações – e com a latitude – definindo as regiões climáticas como: a tropical, subtropicais e polares (PALZ, 2002).

A utilização da radiação solar como fonte de energia é sem dúvida a forma que requer menor custo de operação. Por sua vez, em alguns casos, torna-se um processo não muito interessante do ponto de vista industrial, devido às variações climáticas, e conseqüentemente ao longo tempo necessário para atingir o ponto desejado de umidade no alimento. Este tempo pode ser determinado a partir das curvas de secagem dos diversos produtos, que variam em função do tipo de processo, do equipamento utilizado e das condições de secagem (VILELA e ARTUR, 2008).

A Figura 4 representa as posições da terra em relação ao sol no período de um ano. Observa-se que a época de maior incidência de radiação solar no hemisfério sul é de 21 de dezembro a 21 de março, neste período tem-se mais horas de sol por dia.



Figura 4. Representação do movimento de translação da terra (BRASIL, 2005).

Em um projeto de secador solar é importante saber a latitude do local e a direção do norte verdadeiro, pois o coletor deverá formar com a horizontal um ângulo, aproximadamente igual a sua latitude mais 10° , para uma maior eficiência na absorção da radiação solar, e o coletor deverá ficar voltado para o norte, visando absorver bem ao nascer e pôr do sol, fenômenos que ocorrem a leste e oeste, respectivamente (SOCIEDADE DO SOL, 2011; BEZERRA, 2001).

O Brasil é um país que possui um grande potencial em termos de energia solar e, especialmente, a região que compreende o semi-árido da Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte tem as maiores médias anuais de radiação solar diária, sendo esta da ordem de $20 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}$, como exposto na Figura 5. Esse dado mostra que esta região do país tem excelentes condições para a secagem solar, pois além desta grande incidência solar, o ar apresenta altas temperaturas e as chuvas são escassas (BRASIL, 2005; SANTOS et al., 2005)

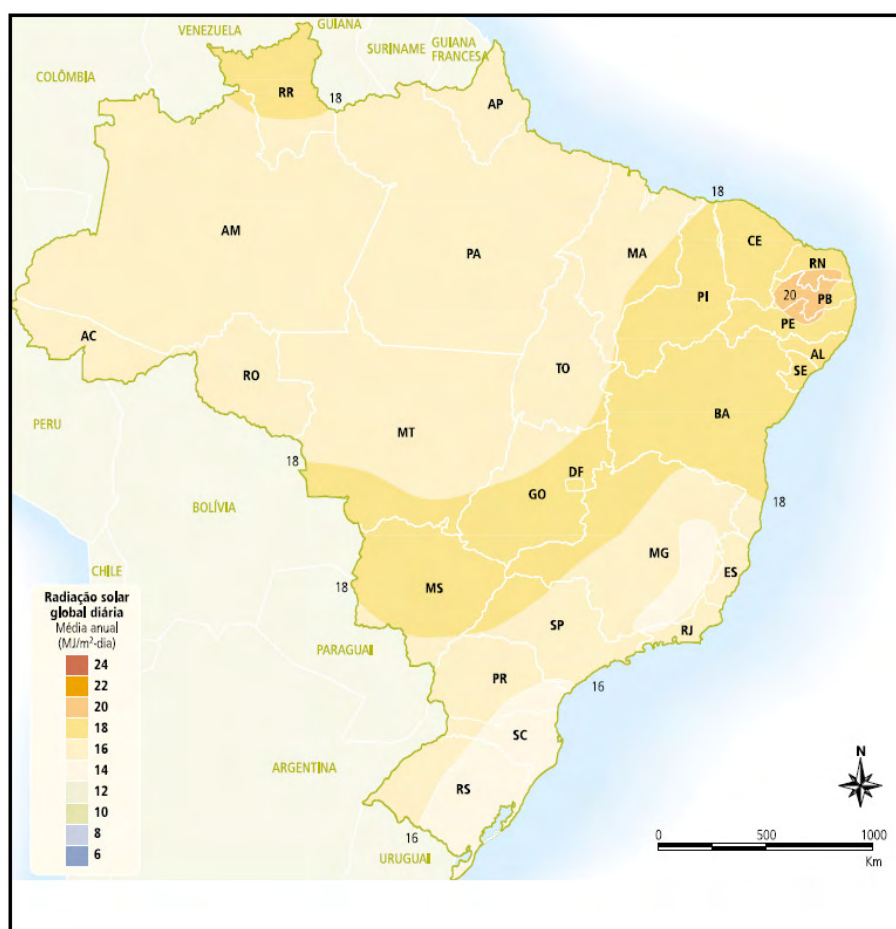


Figura 5. Radiação solar global diária – média anual típica ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}$) (BRASIL, 2005).

Trabalhos referentes à secagem solar foram realizados por diversos pesquisadores, tais como: Braga et al. (2005) que avaliaram a secagem de grãos em

um secador solar associado a um silo subterrâneo, por Guiné (2005) com o estudo do encolhimento e outros parâmetros relacionados a secagem solar de peras e por El-beltagy, Gamea e Amer Essa (2007) que construíram e avaliaram um secador solar usado em secagem de morangos.

2.5 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Nos últimos anos a utilização de planejamentos experimentais vem ganhando muito força.

De 2001 a 2005 mais de 500 trabalhos científicos foram publicados sobre planejamentos experimentais, de acordo com o *Food Science and Technology Abstracts*, contra apenas uma dezena entre 1970 e 1975. Crescimento parecido também foi registrado pelo *Web of Science* do *ISI* na utilização dos planejamentos experimentais e das superfícies de resposta em todos os ramos da ciência e da engenharia (RODRIGUES; IEMMA, 2005).

Ainda de acordo com Rodrigues e Iemma (2005), o planejamento experimental, baseado na estatística, é sem dúvidas, uma ferramenta poderosa na otimização e desenvolvimento de processos e formulações ou, simplesmente, para avaliar impactos que certos fatores têm sobre determinadas respostas.

Mas, Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010) advertem que a estatística não faz milagres e que não pode substituir o conhecimento técnico especializado.

O planejamento experimental é uma técnica muito utilizada quando se tem dois ou mais fatores. Ele permite uma combinação de todas as variáveis em todos os níveis, obtendo-se uma análise de uma variável sujeita a todas as combinações das demais. Estes planejamentos são extremamente úteis para medir os efeitos de uma ou mais variáveis de um processo (CALADO; MONTGOMERY, 2003).

Um planejamento experimental utilizando a Metodologia de Superfícies de Resposta (MSR) é desenvolvido em etapas que podem ser resumidas em: 1) Escolha criteriosa de fatores e níveis - que podem ser obtidos realizando-se testes preliminares; 2) Modelagem matemática – utilizando modelos de análise de regressão; 3) Avaliação do modelo – com aplicação de análise de variância (ANOVA) sobre o modelo, avaliação do coeficiente de determinação (R^2), aplicação do teste F de Hartley para avaliação da significância dos efeitos e da falta de ajuste do modelo; 4) Construção da superfície de resposta - a partir da função obtida no modelo utilizando-se programa computacional específico; 5) Obtenção da região

ótima do processo – analisando-se a superfície de resposta (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010; RODRIGUES; IEMMA, 2005; CALADO; MONTGOMERY, 2003).

As Equações 5 e 6, bem como a Tabela 3 são de interesse na metodologia de superfície e resposta:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_{1,2} \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_{1,3} \cdot x_1 \cdot x_3 + \beta_{2,3} \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (\text{Equação 5})$$

Tabela 3. Tabela modelo de análise de variância (ANOVA)

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F _{calc}
Regressão linear (RL)	1	$\sum (\hat{y}_{ij} - \bar{y})^2$	$\sum (\hat{y}_{ij} - \bar{y})^2$	SQ_{RL} / SQ_{RRL}
Resíduos da regressão (RRL)	$n - 2$	$\sum (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2$	$\sum (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2 / n - 2$	-
Falta de ajuste (FA)	$k - 2$	$\sum (\bar{y}_{ij} - \hat{y}_{ij})^2$	$\sum (\bar{y}_{ij} - \hat{y}_{ij})^2 / k - 2$	SQ_{FA} / SQ_{EP}
Erro puro (EP)	$n - k$	$\sum (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2$	$\sum (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2 / n - k$	-
Total	$n - 1$	$\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \cdot \bar{y}^2$	-	-

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_{ij} - \bar{y})^2}{\sum (y_{ij} - \bar{y})^2} \quad (\text{Equação 6})$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no IFRN Campus Currais Novos, onde se desenvolveu o secador com aquecimento do ar de secagem solar e foram realizados os ensaios e análises.

O talo de abacaxi em passa foi obtido segundo a figura 6.

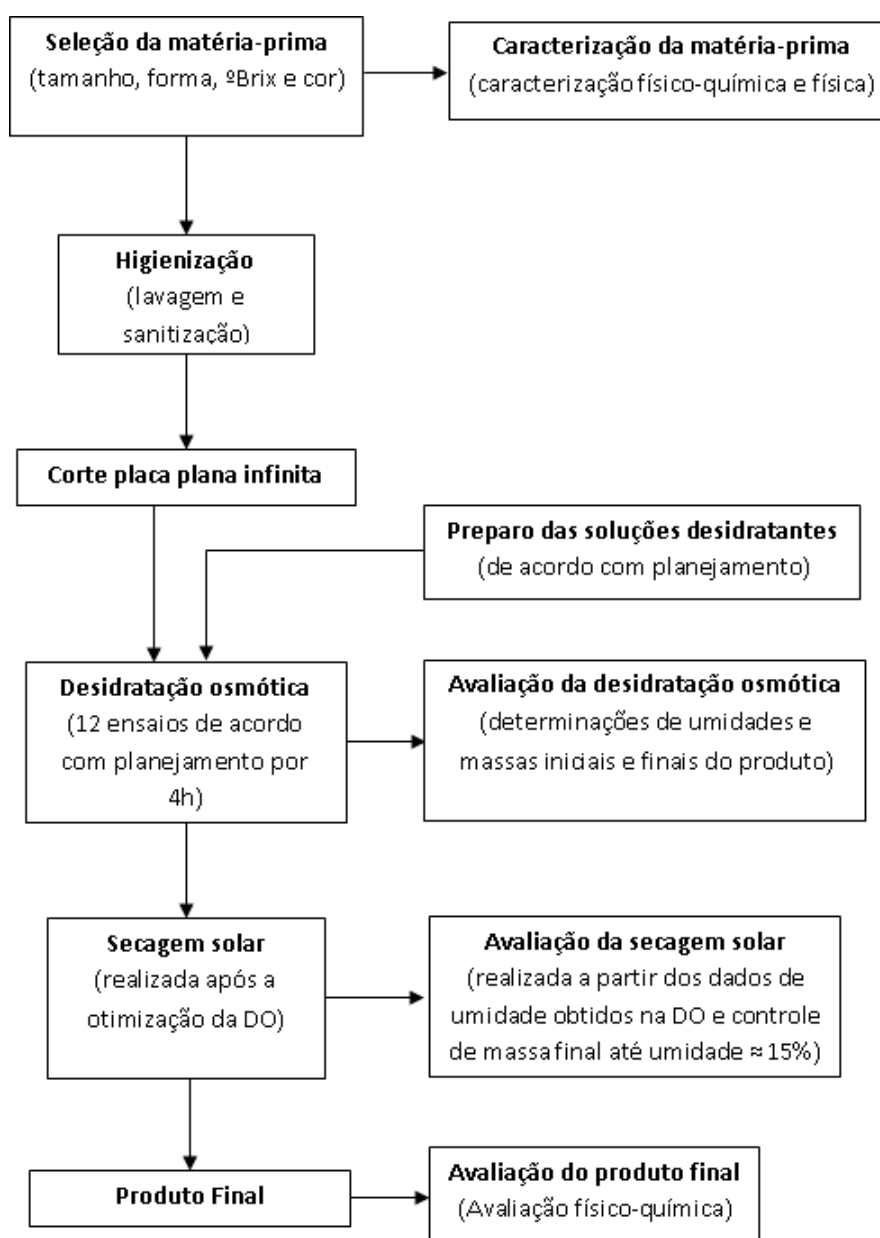


Figura 6. Fluxograma de processo de obtenção de talo de abacaxi passa.

3.1 MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada foi o abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) do cultivar Pérola adquirido no mercado de Currais Novos – RN e proveniente da região de João Pessoa – PB.

Para se obter amostras homogêneas, a seleção da fruta foi realizada conforme a intensidade da cor (verde, levemente amarelado), teor de sólidos solúveis (12 – 16 °Brix), mesmo tamanho e forma (VALENTE, 2007).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

O abacaxi foi caracterizado físico-quimicamente pelas determinações de: umidade, resíduo mineral fixo (RMF), fibras, proteínas, lipídeos, açúcares totais, acidez, sólidos solúveis, pH e atividade de água. E caracterizada fisicamente mediante o registro de suas dimensões: comprimento da fruta sem coroa, diâmetro e massa da fruta.

Todas as determinações químicas foram realizadas em triplicata e o resultado é a média das três repetições.

As determinações físicas foram realizadas a partir de uma amostra de 24 frutas e dos dados obtidos foram calculados a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação.

3.2.1 Caracterização físico-química

Umidade

Secou-se a amostra em estufa a 75 °C por 24 h e depois desse tempo pesou-se a cada hora até ser atingido peso constante (BRASIL, 2008).

Sólidos solúveis

Macerou-se a amostra com água destilada na proporção de 1:10 e mediu-se o brix do extrato em refratômetro de ABBE, depois realizaram-se cálculos para transformar o valor da leitura no valor real (BRASIL, 2008).

Atividade de água (a_w)

Foi colocada uma pequena quantidade de amostra numa cubeta e o conjunto em um aparelho determinador de atividade de água modelo HYGROPALM da ROTRONIC® para a sua determinação.

Resíduo mineral fixo

Pesou-se 5 g da amostra em cadinho de porcelana, previamente seco em mufla a 550°C, carbonizou-se a amostra em chama, levou-se à mufla para incineração até peso constante e efetuaram-se os cálculos (BRASIL, 2008).

Fibra bruta

Transferiu-se o material resultante da análise de gordura para um erlenmeyer de 750 ml de boca esmerilhada, adicionou-se a solução ácida mais o agente filtrante e manteve-se a mistura sob refluxo por 40 minutos. Em seguida, filtrou-se a mistura em cadinho de Gooch, lavou-se o filtrado até não apresentar reação ácida, secou-se o sistema em estufa a 105°C até peso constante e efetuaram-se os cálculos para determinar a fibra bruta (BRASIL, 2008).

Proteínas

Determinou-se o percentual de proteínas utilizando o método de Kjeldahl, utilizou-se o fator de nitrogênio 6,25 (BRASIL, 2008).

Lipídeos

Foram determinados utilizando o aparelho de Soxhlet (BRASIL, 2008).

Açúcares totais

Determinaram-se os açúcares totais utilizando o método de Lane-Eynon (BRASIL, 2008).

Potencial hidrogeniônico

Misturou-se 10 g da amostra macerada a de água destilada sob agitação até o volume de 100 mL e determinou-se o pH (BRASIL, 2008).

Acidez

Determinou-se a acidez pelo método de volumetria de neutralização (BRASIL, 2008).

Vitamina C

A vitamina C foi determinada titulando-se iodato de potássio 0,002 M com solução de amido $1\text{g } 100\text{ mL}^{-1}$ como indicador.

3.2.2 Caracterização física

Massa da fruta

Para verificação da massa da matéria-prima utilizou-se uma amostra de 24 frutas e uma balança semi-analítica FA 2104N da BIOPRECISA.

Comprimento e diâmetro

Para medir as dimensões dos frutos utilizados como matéria-prima, como mostra a figura 7 utilizou-se uma fita métrica simples.

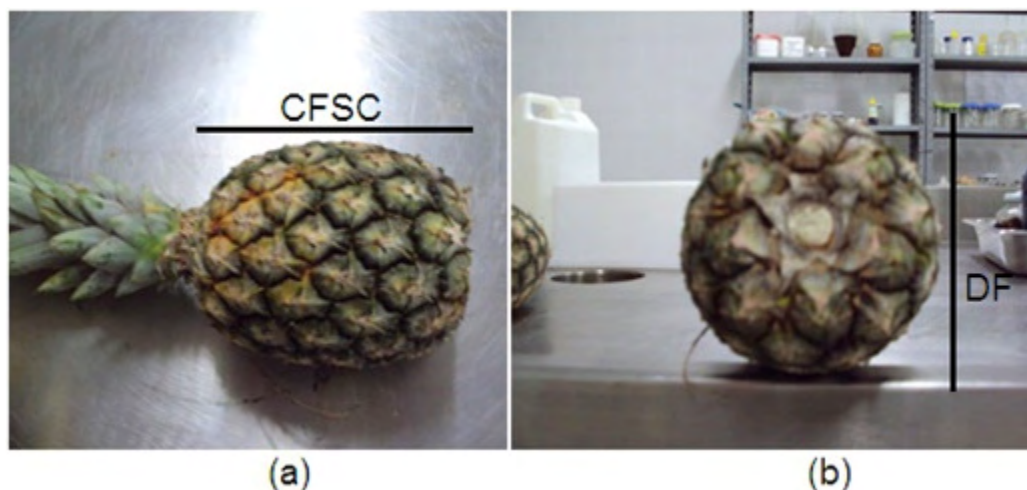


Figura 7. Fotografias do abacaxi mostrando as dimensões comprimento de fruto sem coroa (CFSC) e diâmetro do fruto (DF).

3.2 CONSTRUÇÃO DO SECADOR SOLAR

A construção do secador solar baseou-se nos trabalhos de El-beltagy, Gamea e Amer Essa (2007) e Braga et al. (2005) que utilizaram materiais de construção simples em seus projetos e obtiveram bons resultados.

O secador solar foi construído com três partes básicas: câmara de secagem, coletor-armazenador solar e exaustor com controles. O projeto foi desenhado utilizando o programa AutoCad[®] 2007 e as partes foram construídas da seguinte forma:

3.2.1 Construção da câmara de secagem

A câmara de secagem horizontal foi construída com dimensões de 480 mm de altura, 580 mm de largura e 580 mm de profundidade (Figura 8), além de um suporte de barrotes de madeira de 278 mm de altura para formar a inclinação ideal para o coletor-armazenador e de um cone de base maior de 480 mm e base menor de 360 mm e altura de 498 mm para fixação do exaustor. A câmara foi composta pelos seguintes materiais: compensado de 15 mm, revestimento interno de folhas de alumínio, com uma porta telada articulada por meio de dobradiças e pintada externamente com tinta sintética cor preta fosca, além disso, instalaram-se cantoneiras de alumínio espaçadas em 160 mm no seu interior, para suportarem as bandejas de secagem de aço inox de 560 x 560 mm.

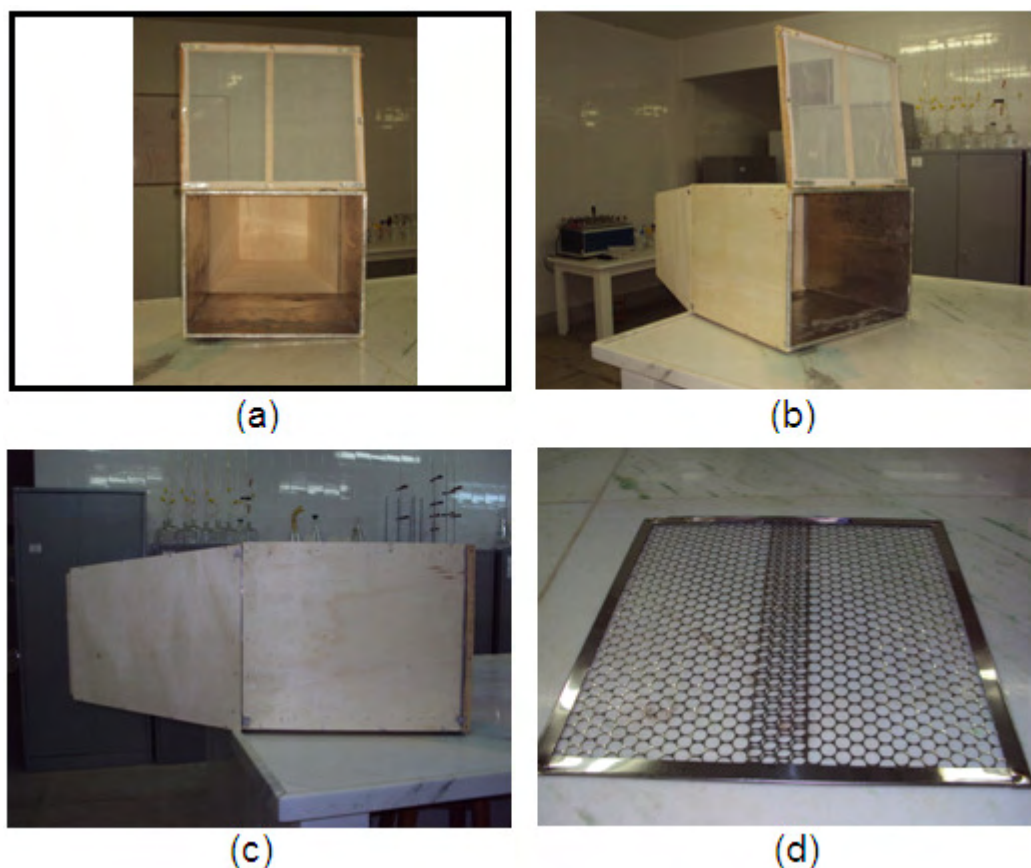


Figura 8. (a), (b) e (c) vistas da câmara de secagem em construção e (d) bandeja de secagem.

3.2.2 Construção do coletor-armazenador

O coletor-armazenador com dimensões 500 mm de altura, 1050 mm de largura e 1150 mm de comprimento totalizando uma área de coleta de 1,2 m² e construído em compensado de 10 mm, pintado completamente de preto fosco e forrado com uma camada de carvão vegetal para armazenar o calor, além disso, o coletor-armazenador foi coberto com peças de vidro transparente de 4 mm de espessura e vedado com silicone (Figura 9). O coletor-armazenador contém 3 furos de 50 mm de diâmetro na parte inferior para a entrada do ar frio e uma abertura de 300 mm de diâmetro na parte superior para acoplamento do exaustor. O coletor-armazenador foi disposto sobre um suporte de madeira de tal forma que forma-se um ângulo de 17° com a horizontal para melhor aproveitamento da radiação solar como recomendado por Sociedade do Sol (2011) e Bezerra (2001).

As dimensões do coletor armazenador estão próximas às recomendadas por Bezerra (2001) o qual afirma que para cada metro cúbico da câmara de secagem são necessários 8 m² de área de coleta solar, formando uma proporção de 1 m³/8 m²

.O atual projeto mantém a seguinte proporção entre o volume da câmara e a área do coletor: $0,16 \text{ m}^3 / 1,2 \text{ m}^2$, ou seja, $1 \text{ m}^3 / 7,69 \text{ m}^2$.



Figura 9. Vistas do coletor-armazenador em construção.

3.2.3 Exaustor e seus controles

Utilizou-se no sistema, um exaustor de potência 400 W e de 300 mm de diâmetro para forçar o ar de secagem. O exaustor foi controlado por um dímer e um inversor de rotação, para controlar a velocidade do ar e o sentido do fluxo, respectivamente, o sistema é mostrado na Figura 10.



Figura 10. Exaustor e seus controles.

3.3 LIMPEZA E SANITIZAÇÃO

Depois de removidas as coroas, os frutos foram lavados em água corrente e imersos em solução de detergente comercial neutro a 1% por 15 minutos, para higienização e, finalmente, submergidos em água clorada (8 a 10 ppm de cloro ativo) por 10 minutos, para sanitização. Esse procedimento foi seguido de enxágue com água destilada (DIONELLO et al., 2007).

3.4 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

3.4.1 Processo da desidratação osmótica

A geometria utilizada foi a de placa infinita com fatias cuja espessura era de aproximadamente 5 mm e comprimento de 50 mm (ALMEIDA et al., 2005), conforme mostrado na Figura 11 (b).

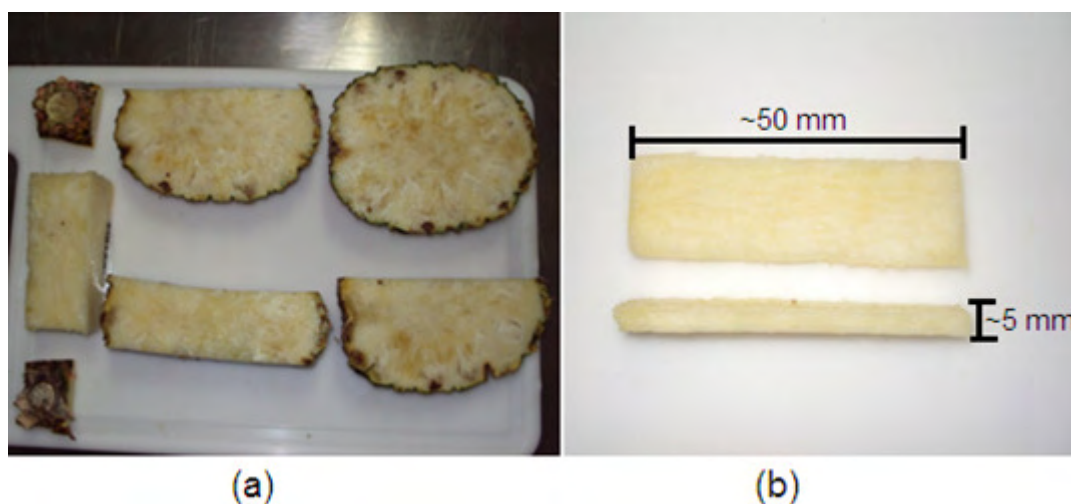


Figura 11. (a) Cortes do abacaxi com talo isolado e (b) comprimento e largura, aproximados, de fatia de talo de abacaxi usado na desidratação osmótica.

As fatias de talo de abacaxis foram desidratadas em potes de vidro INVICTA[®] de 750 ml com tampas rosqueáveis (Figura 12).

O equipamento utilizado no processo foi uma estufa de esterilização e secagem modelo 420-D da NOVA ÉTICA[®].

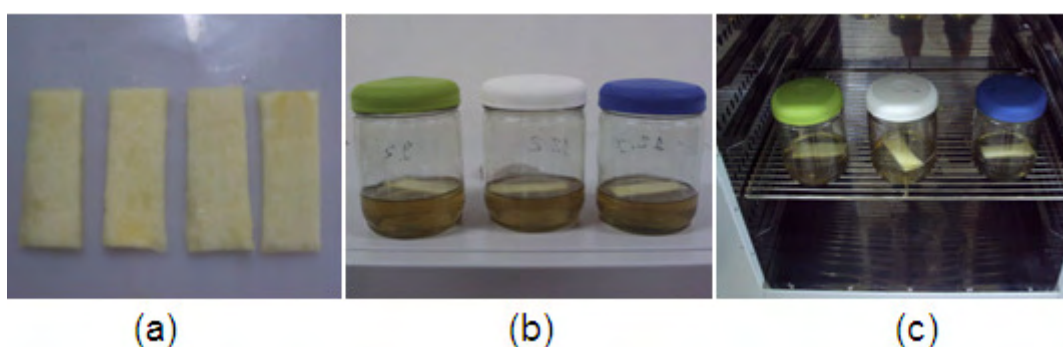


Figura 12. (a) fatias de talo de abacaxi prontas para desidratação, (b) potes de vidro contendo as fatias de talo e a solução desidratante e (c) potes na estufa utilizada para desidratação.

As soluções de desidratação foram produzidas por mistura e agitação, utilizando um agitador mecânico da marca MARCONI[®], de sacarose comercial e

água destilada, calculadas de acordo com as concentrações contidas no planejamento e controladas por refratômetro portátil modelo R-5000 ATAGO®.

Os potes de vidro fechados contendo solução de desidratação e fatias de talo da fruta foram levados à estufa para desidratação por 4 horas.

3.4.2 Avaliação da desidratação osmótica

De acordo com Dionello et al. (2007), depois de retiradas das soluções osmóticas, as amostras foram enxaguadas em água destilada por cerca de 5 segundos com a finalidade de retirar o excesso de soluto retido na superfície do produto, sendo posteriormente drenadas em papel toalha para retirada do excesso de água superficial.

Logo após a desidratação osmótica, as amostras foram analisadas segundo o seu conteúdo de umidade.

Os cálculos de perda de água, perda de peso, ganho de sólidos e relação ganho de sólidos-perda de água, no processo de desidratação osmótica, foram obtidos por meio das equações indicadas por Almeida et al. (2005), equações 1, 2 e 3 e os valores medidos foram expressos como:

- Perda de água do material, expresso em gramas de água por 100 gramas de matéria úmida (PA);
- Perda de peso do material expresso em gramas por 100 gramas de matéria úmida (PP);
- Ganho de sólidos, expresso em gramas de soluto por 100 gramas de matéria úmida (GS);
- Razão ganho de sólidos-perda de água (GS:PA), não possui expressão.

Os valores ótimos foram encontrados a partir dos modelos matemáticos e das superfícies de resposta produzidos pelos resultados do planejamento experimental.

3.4.3 Planejamento experimental

O processo de desidratação osmótica de fatias de talo de abacaxi em soluções de sacarose foi estudado mediante planejamento experimental fatorial 2^3 com três variáveis independentes (temperatura e concentração da solução osmótica

e proporção fruta-solução osmótica), avaliadas em dois níveis (-1 e +1) e com 4 repetições nos pontos centrais (0), totalizando 12 experimentos.

Determinou-se em testes preliminares que o modelo que melhor se ajusta às variáveis estudadas neste trabalho é o linear, por este motivo, não se utilizou um delineamento composto central rotacional (DCCR), delineamento tal, composto por pontos axiais, além dos fatoriais e central que gera um modelo quadrático.

As respostas foram os parâmetros: a perda de peso (PP), a perda de água (PA), o ganho de sólidos (GS) e a relação ganho de sólidos-perda de água GS:PA.

As faixas estudadas das variáveis temperatura e concentração do xarope foram definidas segundo Almeida (2005).

A faixa proporção fruta-solução osmótica foi definida baseada em Valente (2007) o qual afirma que uma boa proporção fruta é a de 1:10, pois esta garante que a concentração do xarope seja constante durante todo processo de desidratação. Assim, a proporção 1:10 foi adotada como ponto central para a variável proporção fruta-solução osmótica e a metade desta, ou seja, 1:20 o ponto fatorial inferior (-1) e 1,5 vezes o ponto central o limite superior (+1), ou seja, 3:20.

A Tabela 4 mostra a as variáveis independentes e os níveis do planejamento.

Tabela 4. Variáveis independentes e níveis do planejamento 23 com repetições no ponto central.

Variáveis dependentes	Níveis		
	-1	0	+1
Temperatura (°C)	30	40	50
Concentração (g 100 g ⁻¹)	40	50	60
Proporção fruta-solução osmótica	1:20	1:10	3:20

E a Tabela 5 mostra a planilha de planejamento utilizada para o estudo.

Tabela 5. Planejamento experimental 2^3 com 4 repetições no ponto central.

Ensaio	T (°C)	C (g 100 g ⁻¹)	F:SO
1	30 (-1)	40 (-1)	1:20 (-1)
2	30 (-1)	40 (-1)	3:20 (+1)
3	30 (-1)	60 (+1)	3:20 (+1)
4	30 (-1)	60 (+1)	1:20 (-1)
5	50 (+1)	40 (-1)	1:20 (-1)
6	50 (+1)	40 (-1)	3:20 (+1)
7	50 (+1)	60 (+1)	3:20 (+1)
8	50 (+1)	60 (+1)	1:20 (-1)
9	40 (0)	50 (0)	1:10 (0)
10	40 (0)	50 (0)	1:10 (0)
11	40 (0)	50 (0)	1:10 (0)
12	40 (0)	50 (0)	1:10 (0)

3.5 SECAGEM SOLAR

A desidratação osmótica serviu como um processo de remoção parcial de umidade do produto que foi complementado com a secagem solar desenvolvida da seguinte maneira:

3.5.1 Montagem do secador solar

O secador solar foi montado no pátio da Usina Escola do IFRN Campus Currais Novos, local que possui as coordenadas geográficas S – 06°15'21" e W – 36°32'04" de longitude e latitude, respectivamente. As coordenadas e o rumo norte verdadeiro foram determinados usando um GPS E-Trex GARMIN® na oportunidade o rumo Norte geográfico foi marcado com tinta no piso do pátio, como mostra a Figura 13.

Valendo-se das informações de localização e rumo, o secador foi montado voltado para o Norte verdadeiro e o coletor-armazenador ficou com uma inclinação em relação à horizontal de $\approx 17^\circ$.

Estes cuidados com a localização (latitude + 10°) e rumo (norte verdadeiro) foram tomados para que o aproveitamento do equipamento em relação à coleta da radiação solar fosse a melhor possível (SOCIEDADE DO SOL, 2011; BEZERRA, 2001; EL-BELTAGY; GAMEA; AMER ESSA, 2007).



Figura 13. Orientação do secador em direção ao norte verdadeiro.

3.5.2 Processo de secagem solar

Após a montagem do secador, às 8 horas da manhã, procedeu-se a secagem distribuindo o produto parcialmente desidratado, obtido na otimização da desidratação osmótica, sobre uma bandeja de aço inox disposta no secador.

O equipamento com o produto ficava exposto ao sol das 8 horas às 17 horas.

3.5.3 Controle da secagem

Considerou-se concluída a secagem quando a massa final estimada pela equação 4 foi alcançada.

O procedimento dessa operação foi o seguinte:

- Determinou-se a massa inicial (P_i) de uma amostra do produto e esta serviu de controle da secagem;
- Calculou-se a massa final (P_f) utilizando-se da equação 4 e os seguintes termos: massa inicial (P_i), umidade inicial (U_i) – neste caso a umidade do produto após a D.O, umidade final (U_f) – considerou-se uma umidade final de $15 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, em concordância com Brasil (1978) que permite umidade de no máximo $25 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$;
- A partir da 6ª hora de processo, pesou-se a amostra a cada hora, até que a massa pesada coincidissem com a massa final estimada pela equação 4.

3.5.4 Medições de umidade relativa, temperatura e velocidade do ar

Realizaram-se medições de umidade relativa (UR) no centro do coletor e no ar, nas proximidades do equipamento e de temperatura (T) no centro do coletor, centro da câmara de secagem e no ar. Estas medições visaram avaliar a variação destas variáveis durante a secagem solar e foram realizadas a cada 30 minutos ocorrendo das 9 horas até as 17 horas (BRAGA et al., 2005; EL-BELTAGY; GAMEA; AMER ESSA, 2007).

Para as medições de umidade relativa e temperatura utilizou-se termo-higro-anemômetro INSTRUTEMP®.

A velocidade do ar foi regulada em 1,5 m/s usando o dimer instalado no exaustor e esta velocidade foi determinada por um termo-higro-anemômetro INSTRUTEMP®.

3.6 COMPOSIÇÃO DO TALO DE ABACAXI PÓS-DESIDRATAÇÃO E DO PRODUTO FINAL

Determinou-se a composição da passa de talo de abacaxi pelas análises de: umidade, açúcares, lipídeos, proteínas, resíduos mineral fixo e fibras. Além disso, avaliou-se o teor de vitamina C do produto para verificar se houve alguma perda expressiva no processamento.

Todas as metodologias analíticas já foram descritas em 3.2.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A Tabela 6 expõe os baixos coeficientes de variação apresentados nas médias dos CFSC (comprimento da fruta sem coroa), DF (diâmetro da fruta) e MFSC (massa da fruta sem coroa), mostrando uma pequena variabilidade dos valores (CV% menores que 10% mostram pequenas diferenças entre os valores dos elementos de uma amostra).

Os valores de CFSC, DF e MFSC identificados estão abaixo dos encontrados por Pereira et al. (2009) que encontraram valores médios de 17,05 cm para o CFSC, 10,30 cm para o DF e de 1330,5 g para a MFSC em seis medidas realizadas entre novembro de 2006 e maio de 2007 com abacaxis pérola, sendo a maior diferença relativa a entre os dois casos a da MFSC que ficou em torno de 48%.

Esta pequena variação nas dimensões do abacaxi é um fator muito importante para a indústria de processamento de frutas, pois esta procura a uniformização dos seus processos, sendo assim, quanto menor for a variação das dimensões da matéria-prima mais fácil será deixar o processo sob controle.

Tabela 6. Parâmetros físicos CFSC, DF e PFSC do abacaxi pérola comercializado em Currais Novos-RN.

Parâmetro	Média	*CV (%)
CFSC (cm)	13,40	4,70
DF (cm)	9,50	4,53
MFSC (g)	690,90	8,49

*CV (%) – Coeficiente de variação.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados da composição centesimal do abacaxi. Os valores de umidade e açúcares estão próximos aos encontrados por Valente (2007) e os encontrados na Brasil (2006), que foram de 86,07 g 100 g⁻¹ e 86,3 g 100 g⁻¹ para umidade e de 13,86 g 100 g⁻¹ e 12,3 g 100 g⁻¹ para açúcares, respectivamente. Os valores encontrados para os demais componentes apresentam disparidades acentuadas como, por exemplo, o valor encontrado para proteínas por Valente (2007), que foi de 0,59 g 100 g⁻¹ enquanto para Brasil (2006), o valor encontrado foi de 0,9 g 100 g⁻¹. Esta variação entre os resultados pode ser explicada

por alguns fatores como condições climáticas e a composição do solo, que influenciam diretamente na composição dos vegetais, como mostraram Moreira, Heinrichs e Freitas (2008).

Tabela 7. Composição centesimal do abacaxi.

Componente (g 100 g ⁻¹)	Teor
Umidade	84,20
Açúcares	14,50
Proteínas	0,45
Lipídeos	0,82
Resíduos mineral fixo	0,53
Fibra Bruta	1,15

Na Tabela 8 encontram-se os valores obtidos das análises de sólidos solúveis, acidez e ácido ascórbico. O alto valor de sólidos solúveis (17,94 g 100 g⁻¹) e a baixa acidez (0,58 g 100 g⁻¹) refletem a doçura do abacaxi pérola, sendo este, excelente para o consumo in natura e para a preparação de produtos processados, por exemplo, suco tropical e néctar, pois o teor de sólidos solúveis e acidez atendem a legislação vigente e a aguardente com pequena correção de brix no mosto preparado para 15 °Brix (BRASIL, 2003; CARVALHO; CANILHA; SILVA, 2008).

Quanto ao teor de ácido ascórbico, Brasil (2005) recomenda uma ingestão diária de 45 mg de vitamina C para uma pessoa adulta, o resultado da análise mostra que o consumo de 100 g de abacaxi já supre a necessidade diária desta vitamina.

Tabela 8. Avaliação dos parâmetros sólidos solúveis, acidez e vitamina C em abacaxi.

Parâmetro	Teor
Sólidos solúveis (°Brix)	17,94
Acidez (g ác. Cítrico 100 g ⁻¹)	0,58
Vitamina C (mg ác. Ascórbico 100 g ⁻¹)	49,40

4.2 OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

O planejamento experimental 2^3 foi utilizado para verificar a influência das variáveis, temperatura, concentração e proporção fruta-solução osmótica sobre as respostas PA, PP, GS e GS:PA, desta forma, a partir dos modelos estatísticos e das superfícies de resposta pretendeu-se chegar a uma otimização em que a perda de água fosse máxima e o ganho de sólidos fosse mínimo.

A Tabela 9 apresenta os valores experimentais das PA, PP, GS e GS:PA em função das variáveis independentes do processo, que foram: temperatura, concentração da solução de desidratação e relação fruta-solução de desidratação. Observando a Tabela 9 verifica-se que os pontos fatoriais superiores de temperatura, concentração de solução de desidratação e relação fruta-solução de desidratação levaram às maiores perda de água, com diferença relativa 39,18% maior do que a condição de menor perda, e perda de peso 34,21% maior do que a condição de menor perda, mas também ao maior ganho de sólidos (GS), o que não é interessante, pois neste caso, o ganho de sólidos representa apenas um ganho em açúcar, o que é desnecessário já que o abacaxi *in natura* já contém uma alta concentração de açúcares. Então, a otimização do processo de desidratação é mais bem avaliado pela variável GS:PA que de acordo com Almeida et al. (2005) a otimização do processo fica na região aonde tem-se a maior PA e menor GS, conseqüentemente, a razão GS:PA será mínima.

Tabela 9. Valores experimentais das respostas em função dos tratamentos

Ensaio	Entradas			Respostas			
	T (°C)	C (g 100 g ⁻¹)	F/SO	PA (g 100 g ⁻¹)	PP (g 100 g ⁻¹)	GS (g 100 g ⁻¹)	GS:PA
1	30 (-1)	40 (-1)	1:20 (-1)	16,9416	10,6246	6,3171	0,3729
2	30 (-1)	40 (-1)	3:20 (+1)	14,5027	9,0317	5,4711	0,3772
3	30 (-1)	60 (+1)	3:20 (+1)	23,6920	14,8782	8,8138	0,3721
4	30 (-1)	60 (+1)	1:20 (-1)	23,5413	13,5396	10,0017	0,4249
5	50 (+1)	40 (-1)	1:20 (-1)	25,7201	18,7547	6,9653	0,2708
6	50 (+1)	40 (-1)	3:20 (+1)	24,5076	18,0577	6,4499	0,2632
7	50 (+1)	60 (+1)	3:20 (+1)	37,0189	26,3997	10,6192	0,2869
8	50 (+1)	60 (+1)	1:20 (-1)	36,3760	25,4283	10,9477	0,3010
9	40 (0)	50 (0)	1:10 (0)	25,4373	16,1980	9,2393	0,3632
10	40 (0)	50 (0)	1:10 (0)	27,5491	17,4983	10,0509	0,3648
11	40 (0)	50 (0)	1:10 (0)	29,2067	19,7401	9,46656	0,3241
12	40 (0)	50 (0)	1:10 (0)	26,5442	17,2369	9,3074	0,3507

4.2.1 Avaliação da perda de água

As magnitudes dos efeitos sobre a PA estão expostos na tabela 10, verifica-se que apenas os efeitos da temperatura e da concentração influenciaram a PA de forma significativa ao nível de 95% de confiança e os erros puros para os dois efeitos foram cerca de 10 vezes menores que os efeitos o que tornou estes altamente significativos. Observa-se também que os efeitos da temperatura e concentração são positivos, mostrando que a PA cresce com o aumento dos dois efeitos.

Autores como Almeida (2005), Borsato et al. (2009) e Queiroz et al. (2007) usaram em seus trabalhos uma proporção F:SO de 1:10 ou mais solução para que o potencial de transferência de massa se mantivesse constante durante todo processo de desidratação osmótica.

Entretanto, observa-se na Tabela 10 que não é necessário utilizar uma grande quantidade de solução desidratante em relação à fruta para manter-se um bom potencial de transferência de massa na PA, pois a relação F:SO mostrou-se um efeito não-significativo, assim, pode-se utilizar a condição máxima de fatias de talo de abacaxi em relação a solução de desidratação (3:20) sem perda de potencial.

Tabela 10. Efeitos da perda de água (PA) avaliados através do erro padrão.

Fatores	Efeitos	Erro padrão	t(3)	P	Estimativa por intervalo (95%)	
					Limite de confiança inferior	Limite de confiança superior
Média	25,9198	0,4620	56,1006	0,0000	24,4494	27,3901
T (°C)	11,2362	1,1317	9,9284	0,0022	7,6346	14,8379
C (g 100 g ⁻¹)	9,7390	1,1317	8,6055	0,0033	6,1374	13,3407
F/SO	-0,7145 (ns)*	1,1317	-0,6313	0,5727	-4,3161	2,8872
T x C	1,8446 (ns)	1,1317	1,6299	0,2016	-1,7571	5,4462
T x F/SO	0,4296 (ns)	1,1317	0,3796	0,7295	-3,1720	4,0313
C x F/SO	1,1112 (ns)	1,1317	0,9819	0,3986	-2,4904	4,7129

*(ns) – Efeito não significativo ao nível de 95% de confiança

O modelo linear para o planejamento 2³ foi testado por análise de variância (ANOVA) e pelo R² e os resultados estão expostos na Tabela 11.

Pode-se observar na Tabela 11 que o modelo está bem ajustado aos valores experimentais e é preditivo, pois o teste F para a regressão mostra que o F_{calc} é mais de 16 vezes maior do que o F_{tab} e de acordo com Rodrigues e Lemma (2005); Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010) o valor de F_{calc} deve ser quatro ou cinco vezes maior do que o F_{tab} para que o modelo seja considerado preditivo, além disso, a falta de ajuste é não-significativa, pelo fato do F_{calc} ser bem menor do que o F_{tab} e o R² é maior que 0,94.

Tabela 11. Análise de variância (ANOVA) para a perda de água do talo de abacaxi.

Fontes de variação	SQ	GL	QM	F _{calc}
Regressão linear	442,2022	2	221,1011	71,0388
Resíduos	28,0113	9	3,1124	
Falta de ajuste	20,3265	6	3,38780	1,3225
Erro puro	7,6848	3	2,5616	
SQTotal	470,2135	11		

F_{2;9;0,05} = 4,26; F_{6;3;0,05} = 6,94 R² = 0,9404

A Figura 14 mostra como os valores preditos pelo modelo estatístico estão próximos dos valores experimentais. Tal proximidade é refletida no bom ajuste do modelo verificado na Tabela 11.

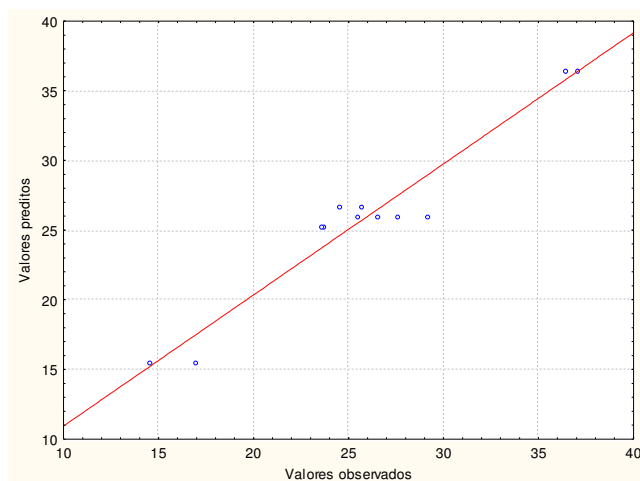


Figura 14. Valores previstos pelo modelo para a PA versus valores observados.

A Figura 15 mostra como os resíduos inerentes ao modelo ajustado para a PA em função da temperatura e da concentração se distribuem de forma normal, ou seja, estão próximos da reta que indica a normalidade dos erros.

A análise dos resíduos é importante, pois uma das condições exigidas pelo modelo estatístico utilizado na ANOVA é a de que os erros de ajustamento sejam independentes e normalmente distribuídos (RODRIGUES e IEMMA, 2005).

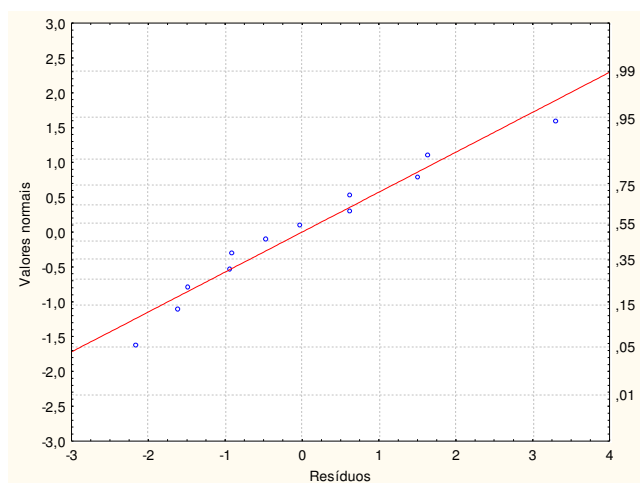


Figura 15. Distribuição dos resíduos da avaliação da PA em torno da reta que indica a normalidade dos valores.

Após a análise do modelo pela ANOVA e pelos resíduos, foi possível estabelecer os coeficientes do modelo estatístico e os erros para a PA que se encontram expostos na Tabela 12 e, conseqüentemente, a equação que representa o modelo, as superfícies de resposta e curva de nível, que são as representações gráficas do modelo nos espaços tridimensional e bidimensional, respectivamente.

Tabela 12. Coeficientes do modelo estatístico para perda de água

Representação	Coeficientes	Erro-padrão
β_0	25,9198	0,4620
β_1	5,6181	0,5659
β_2	4,8695	0,5659
β_3	ns*	-
$\beta_{1,2}$	Ns	-
$\beta_{1,3}$	Ns	-
$\beta_{2,3}$	Ns	-

*ns – Não significativo

A Equação 7 representa o modelo estatístico encontrado para a perda de água, esta equação é composta por: constante e seu erro-puro e dos coeficientes da regressão linear da temperatura e concentração e seus respectivos erros.

Como os efeitos significativos foram apenas a temperatura e a concentração, optou-se por não mostrar as superfícies de resposta e curvas de nível com a variável independente F/SO, construindo-se os gráficos com esta variável no ponto central.

$$PA = (25,9198 \pm 0,4620) + (5,6181 \pm 0,5659).T + (4,8695 \pm 0,5659).C \quad (\text{Equação 7})$$

A Figura 16 mostra como PA é fortemente dependente da temperatura e concentração de solução osmótica utilizado no processo de desidratação osmótica, a PA tende a um valor máximo quando as variáveis temperatura e concentração estão ponto fatorial (+1) 50 °C e (+1) 60 g 100 g⁻¹ e a forma com que a superfície está inclinada de forma semelhante nos eixos T (°C) e C (g 100 g⁻¹) mostra como as duas variáveis têm efeitos semelhantes sobre a PA.

Tonon, Baroni e Hubinger (2006) afirmam que aumento da temperatura reduz a viscosidade do meio o que faz com que a resistência a transferência de massa seja menor, dessa forma, a PA é favorecida com o aumento da temperatura.

De acordo com Fernandes et al. (2006) a elevação da concentração da solução osmótica induz a um aumento na transferência de água da fruta para a solução osmótica, devido ao aumento do gradiente de pressão.

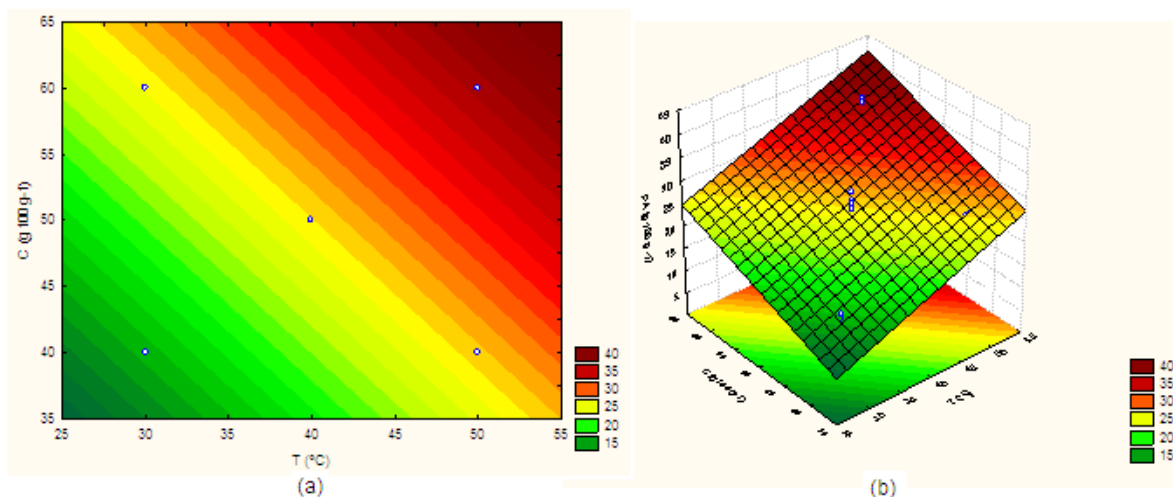


Figura 16. Curva de nível (a) e superfície de resposta (b) da PA em função da temperatura e da concentração.

4.2.2 Avaliação da perda de peso

Podem-se observar na Tabela 13 os efeitos da perda de peso. Verifica-se que os únicos efeitos significativos foram a temperatura e a concentração, isso pode ser verificado pelo valor p que deve ser menor 0,05 ou pelo intervalo de confiança que deve conter o zero para que o efeito ou a interação de efeitos seja significativa. Na Tabela 13 também é possível observar que apesar da concentração ser um efeito significativo a temperatura é mais efetiva quanto à contribuição para o aumento da perda de peso.

Tabela 13. Efeitos da perda de peso (PP) avaliados através do erro padrão.

Fatores	Efeitos	Erro padrão	t(3)	p	Estimativa por intervalo (95%)	
					Limite de confiança inferior	Limite de confiança superior
Média	17,2823	0,4304	40,1530	0,0000	15,9125	18,6521
T (°C)	10,1416	1,0543	9,6194	0,0024	6,7864	13,4968
C (g 100 g ⁻¹)	5,9443	1,0543	5,6382	0,0110	2,5891	9,2995
F/SO	0,0050 (ns)	1,0543	0,0048	0,9965	-3,3502	3,3602
T x C	1,5635 (ns)	1,0543	1,4830	0,2347	-1,7917	4,9187
T x F/SO	0,1322 (ns)	1,0543	0,1254	0,9082	-3,2231	3,4874
C x F/SO	1,1500 (ns)	1,0543	1,0908	0,3552	-2,2053	4,5052

*(ns) – Efeito não significativo ao nível de 95% de confiança

Depois de eliminarem-se os efeitos e interações não-significativos construiu-se a Tabela 14, contendo a ANOVA e o valor de R^2 para avaliação do modelo estatístico da PP.

Analisando-se a Tabela 14 percebe-se que a regressão foi altamente preditiva, pois o F_{calc} foi mais de 18 vezes maior do que o F_{tab} .

O modelo também se mostrou muito bem ajustado, com R^2 superior a 0,94 e falta de ajuste não-significativa.

Tabela 14. Análise de variância (ANOVA) para a perda de peso do talo de abacaxi.

Fontes de variação	SQ	GL	QM	Fcalc
Regressão linear	276,3716	2	138,1858	81,1188
Resíduos	15,3315	9	1,7035	
Falta de ajuste	8,6624	6	1,4437	0,6494
Erro puro	6,6691	3	2,2230	
SQ Total	291,7031	11		

$$F_{2;9;0,05} = 4,26; F_{6;3;0,05} = 6,94 \quad R^2 = 0,9474$$

A Figura 17 mostra que os valores previstos pelo modelo estatístico para a PP estão bem próximos aos valores experimentais. Esta observação reafirma o que foi mostrado pela ANOVA na Tabela 14: como o modelo ficou bem ajustado aos pontos experimentais.

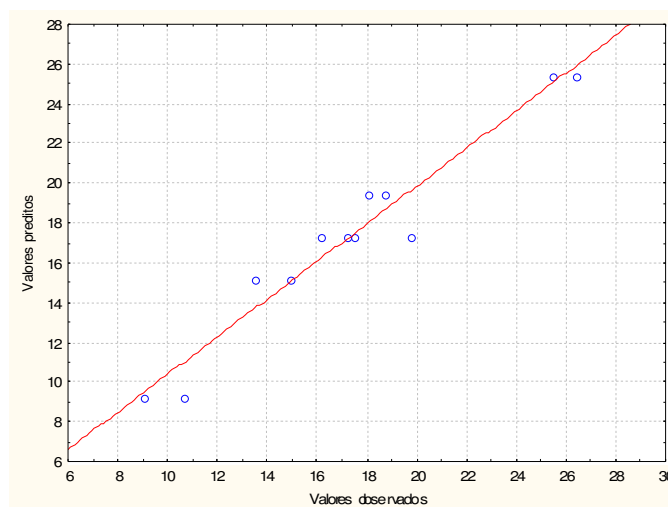


Figura 17. Valores previstos pelo modelo para PP versus valores observados.

Os resíduos do modelo da PP distribuíram-se de forma normal como mostra a Figura 18. Este resultado confirma que o modelo obedece à exigência da normalidade na distribuição dos resíduos.

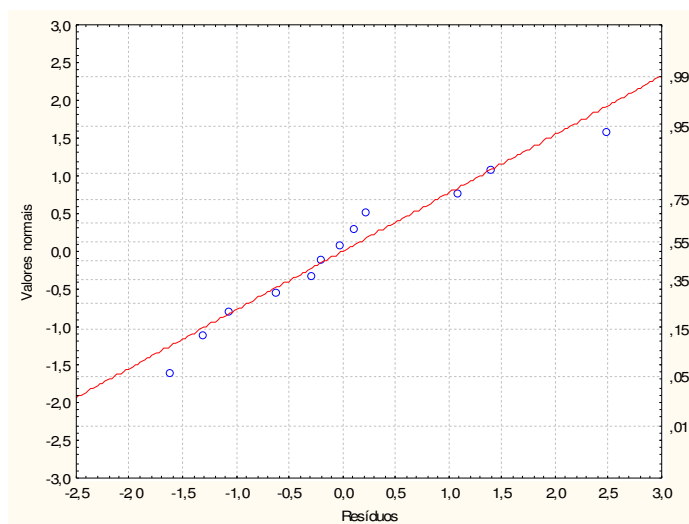


Figura 18. Distribuição dos resíduos da PP em torno da reta que indica a normalidade dos valores.

A partir da verificação de que o modelo é apropriado para representar a PP em função da temperatura e da concentração, construiu-se a Tabela 15, a qual mostra a constante, os coeficientes da temperatura e concentração e seus respectivos erros ao nível de 95% de confiança.

Tabela 15. Coeficientes do modelo estatístico para perda de peso

Representação	Coeficientes	Erro-padrão
β_0	17,2823	0,4304
β_1	5,0708	0,5271
β_2	2,9721	0,5271
β_3	ns*	-
$\beta_{1,2}$	Ns	-
$\beta_{1,3}$	Ns	-
$\beta_{2,3}$	Ns	-

*ns – Não significativo

A Equação 8 representa o modelo para a perda de peso com os coeficientes seguidos dos seus erros.

$$PP = (17,2823 \pm 0,4304) + (5,0708 \pm 0,5271).T + (2,9721 \pm 0,5271).C \quad (\text{Equação 8})$$

Analisando a Figura 17 percebe-se que a perda de peso é pouco efetiva em condições de baixas temperaturas e concentrações, sendo a PP no ponto (-1) 30°C e (-1) 40 g 100 g⁻¹, prevista pelo modelo, de apenas 9,24%, enquanto que no ponto

(+1) 50°C e (+1) 60 g 100 g⁻¹ a PP prevista é de 25,33 g 100 g⁻¹, resultando numa diferença relativa entre os dois pontos de aproximadamente 36%.

A Figura 17 ainda mostra que a PP é máxima quando a temperatura e a concentração também estão nos pontos fatoriais (+1) 50 °C para a temperatura e (+1) 60% para a concentração. Observando-se a superfície de resposta percebe-se que a temperatura influencia mais a PP de que a concentração, confirmando que o efeito da temperatura é mais efetivo na PP do que a concentração, conforme exposto na tabela 13.

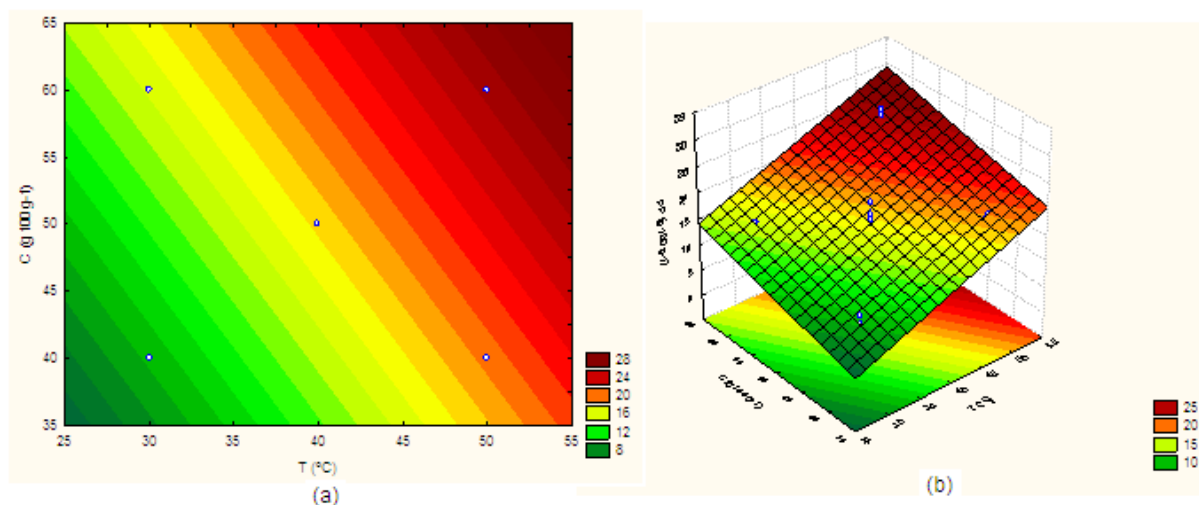


Figura 19. Curva de nível (a) e superfície de resposta (b) da PP em função da temperatura e da concentração.

4.2.3 Avaliação do ganho de sólidos

A Tabela 16 mostra que apenas a temperatura e a concentração foram efeitos significativos para o ganho de sólidos. Os erros elevados em relação aos coeficientes podem levar a um modelo pouco ajustado aos valores experimentais de GS.

O efeito da concentração para o GS foi cerca de três vezes maior do que o da temperatura, mostrando que o GS é mais influenciado pela concentração.

Tabela 16. Efeitos do ganho de sólidos (GS) avaliados através do erro padrão.

Fatores	Efeitos	Erro padrão	t(3)	P	Estimativa por intervalo (95%)	
					Limite de confiança inferior	Limite de confiança superior
Média	8,6375	0,1065	81,0741	0,0000	8,2984	8,9765
T (°C)	1,0946	0,2610	4,1946	0,0247	0,2641	1,9251
C (%)	3,7948	0,2610	14,5414	0,0007	2,9643	4,6253
F/SO	-0,7195(ns)*	0,2610	-2,7570	0,0703	-1,5500	0,1110
T x C	0,2810 (ns)	0,2610	1,0770	0,3604	-0,5495	1,1116
T x F/SO	0,2975 (ns)	0,2610	1,1400	0,3371	-0,5330	1,1280
C x F/SO	-0,0387 (ns)	0,2610	-0,1484	0,8914	-0,8692	0,7918

*(ns) – Efeito não significativo ao nível de 95% de confiança

Após o descarte dos efeitos e interações não-significativos construiu-se a Tabela 17. Observa-se nesta que a o modelo estatístico ajustado aos pontos experimentais para o GS é preditivo, pois o valor de F_{calc} é 5,42 vezes maior do que o do F_{tab} .

Mas o modelo não se mostrou bem ajustado, apresentando um coeficiente de determinação de 0,82 e uma falta de ajuste significativa.

Tabela 17. Análise de variância (ANOVA) para o ganho de sólidos do talo de abacaxi.

Fontes de variação	SQ	GL	QM	Fcalc
Regressão linear	31,1970	2	15,5985	23,0918
Resíduos	6,0799	9	0,6755	
Falta de ajuste	6,03911	6	1,0065	7,3898
Erro puro	0,40861	3	0,1362	
SQ Total	37,64475	11		

$$F_{2;9;0,05} = 4,26; F_{6;3;0,05} = 6,94 \quad R^2 = 0,8287$$

A Figura 20 mostra que os valores previstos pelo modelo estão razoavelmente distantes dos pontos experimentais, reflexo da falta de ajuste e do baixo coeficiente de determinação expostos na Tabela 17.

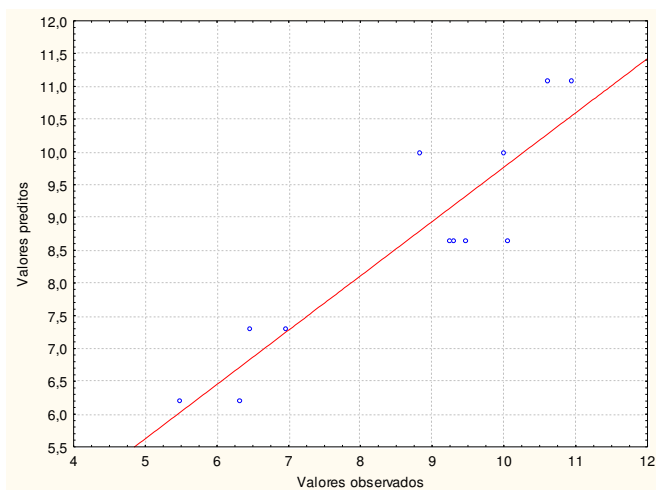


Figura 20. Valores previstos pelo modelo para GS versus valores observados.

Pode-se observar na Figura 21 que os resíduos encontrados na comparação do modelo ajustado com os valores experimentais distribuem-se de forma normal. A normalidade de distribuição dos resíduos é uma condição necessária para que o modelo seja aceito.

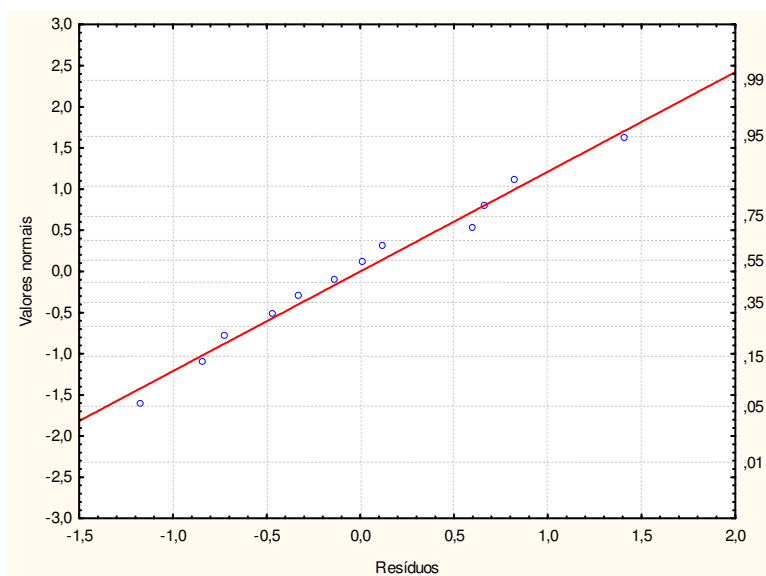


Figura 21. Distribuição dos resíduos do GS em torno da reta que indica a normalidade dos valores.

A Tabela 18 exibe os valores dos coeficientes do modelo estatístico ajustado aos valores experimentais do GS, além disso, também exibe o erro-padrão associado a cada coeficiente.

Tabela 18. Coeficientes do modelo estatístico para ganho de sólidos

Representação	Coeficientes	Erro-padrão
β_0	8,6375	0,1065
β_1	0,5473	0,1305
β_2	1,8974	0,1305
β_3	ns*	-
$\beta_{1,2}$	Ns	-
$\beta_{1,3}$	Ns	-
$\beta_{2,3}$	Ns	-

*ns – Não significativo

Apresenta-se abaixo a Equação 9 que representa o modelo estatístico ajustado aos pontos experimentais do ganho de sólidos.

$$GS = (8,6375 \pm 0,1065) + (0,5473 \pm 0,1305).T + (1,8974 \pm 0,1305).C \text{ (Equação 9)}$$

A curva de nível na Figura 22 (a) mostra claramente que a concentração influenciou muito mais o GS do que a temperatura. O ideal seria que o processo de desidratação osmótica fosse realizado com baixa concentração da solução osmótica visando um ganho de sólido mínimo.

El-Aouar e Murr (2003) afirmam que para se preservar as características da fruta *in natura* é extremamente importante um processo no qual ocorra um mínimo de ganho de sólidos, dessa forma, neste trabalho considerou-se que a condição com menor concentração da solução de desidratação seria a melhor mesmo que a PA e a PP sofressem algum prejuízo.

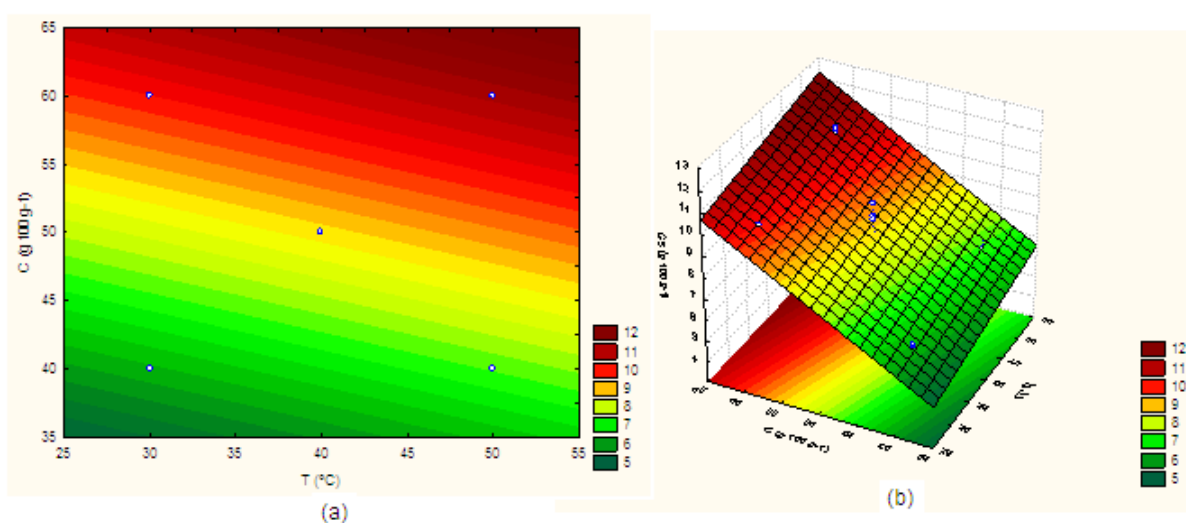


Figura 22. Curva de nível (a) e superfície de resposta (b) do GS em função da temperatura e da concentração

4.2.4 Otimização da desidratação

A maximização da perda de água e perda de peso com o mínimo de absorção de solutos é o principal objetivo da otimização da desidratação osmótica.

Valente (2007), afirma que a maximização da perda de água não é suficiente para alcançar as melhores condições de processamento, uma vez que isso resultaria em produtos com alta incorporação de solutos. Em contra partida, uma minimização do ganho de sólidos resultaria num produto com baixa perda de água.

Então o parâmetro que foi utilizado na otimização da D.O. neste trabalho foi a razão GS:PA, pois este é facilmente interpretado da seguinte forma: quando o ganho de sólidos tende ao seu valor mínimo e a perda de água ao seu máximo a relação GS:PA tende a zero.

É possível observar na Tabela 19 que apenas a temperatura foi um efeito significativo na razão GS:PA. Esse fator é extremamente importante para a otimização do processo, pois mostra que se pode usar a concentração mínima e a maior relação fruta:solução reduzindo-se os custos de utilização de sacarose na desidratação osmótica, e preservando ao máximo as características de fruta in natura do produto, como já foi comentado em 4.2.3.

Observando-se a Tabela 19, também é possível identificar que o efeito da temperatura é negativo, demonstrando que a razão GS:PA decresce com o aumento da temperatura, dessa forma, a GS:PA tende a um valor mínimo com o aumento de temperatura.

Tabela 19. Efeitos da razão perda de água-ganho de sólidos (GS:PA) avaliados através do erro padrão.

Fatores	Efeitos	Erro padrão	t(3)	p	Estimativa por intervalo (95%)	
					Limite de confiança inferior	Limite de confiança superior
Média	0,3393	0,0054	62,4477	0,0000	0,3220	0,3566
T (°C)	-0,1063	0,0133	-7,9866	0,0041	-0,1486	-0,0639
C (%)	0,0251 (ns)	0,0133	1,8895	0,1552	-0,0172	0,0675
F/SO	-0,0176 (ns)	0,0133	-1,3188	0,2789	-0,0599	0,0248
T x C	0,0018 (ns)	0,0133	0,1327	0,9029	-0,0406	0,0441
T x F/SO	0,0067 (ns)	0,0133	0,5023	0,6500	-0,0357	0,0490
C x F/SO	-0,0159 (ns)	0,0133	-1,1961	0,3176	-0,0583	0,0264

*(ns) – Efeito não significativo ao nível de 95% de confiança

Depois do descarte de todos os fatores e interação de fatores não-significativos procedeu-se uma análise de variância e calculou-se o coeficiente de

determinação do modelo estatístico linear para a razão GS:PA. Os resultados estão expressos na Tabela 20.

A ANOVA mostra que o modelo ajustado aos pontos experimentais é preditivo. A predição do modelo é constatada pelo fato do F_{calc} da regressão linear ser aproximadamente dez vezes maior do que o F_{tab} .

Analisando-se a Tabela 20 também é possível concluir que o modelo tem uma falta de ajuste não-significativa e um R^2 de aproximadamente 0,82, estes resultados confirmam que o modelo é razoavelmente bem ajustado os valores experimentais.

Tabela 20. Análise de variância (ANOVA) para a razão GS:PA do talo de abacaxi.

Fontes de variação	SQ	GL	QM	F _{calc}
Regressão linear	0,0226	1	0,0226	49,1239
Resíduos	0,0047	10	0,0005	
Falta de ajuste	0,0036	7	0,0005	1,4571
Erro puro	0,0011	3	0,0004	
SQ Total	0,0272	11		

$$F_{1;10;0,05} = 4,96; F_{7;3;0,05} = 8,89 \quad R^2 = 0,8294$$

A dispersão entre os valores previstos e os observados mostra que realmente o modelo é apenas razoavelmente ajustado aos pontos experimentais, como pode ser visto na Figura 23.

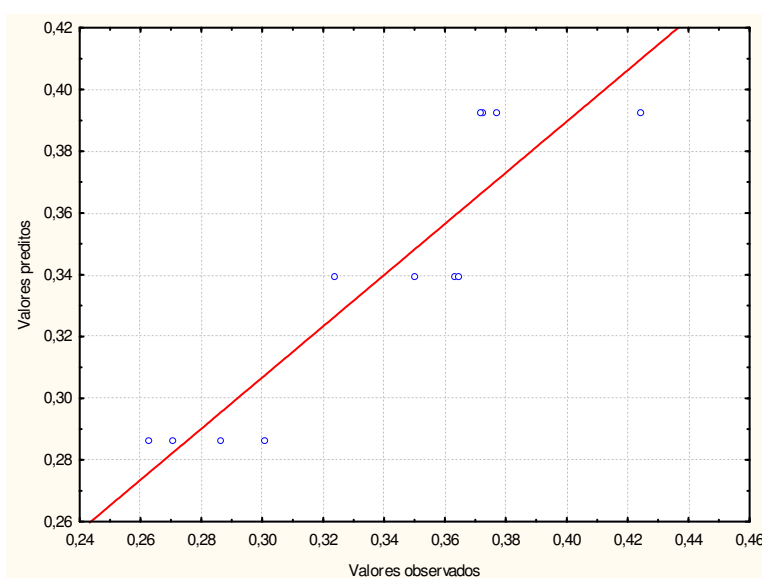


Figura 23. Valores previstos pelo modelo para GS:PA versus valores observados.

Na figura 24 tem-se a distribuição dos resíduos do modelo de GS:PA em torno da reta que representa a normalidade, como se podem observar os pontos

estão próximos à reta então os resíduos da razão GS:PA obedecem a condição de normalidade de distribuição de resíduos.

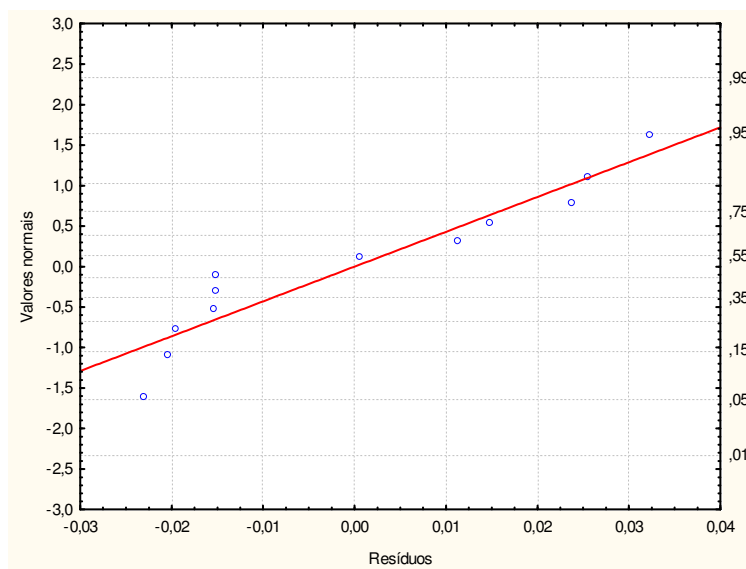


Figura 24. Distribuição dos resíduos do GS:PA em torno da reta que representa a normalidade dos valores.

Na Tabela 21 têm-se os coeficientes do modelo de regressão linear e os seus erros para a razão GS:PA.

Tabela 21. Coeficientes do modelo estatístico para a relação GS:PA.

Representação	Coeficientes	Erro-padrão
β_0	0,3393	0,0054
β_1	-0,0531	0,0067
β_2	ns*	-
β_3	ns	-
$\beta_{1,2}$	ns	-
$\beta_{1,3}$	ns	-
$\beta_{2,3}$	ns	-

*ns – Não significativo

Observa-se na equação 10 o modelo estatístico para a GS:PA no qual o coeficiente da temperatura é negativo, demonstrando que a razão GS:PA decresce com o aumento da temperatura.

$$GS/PA = (0,3393 \pm 0,0054) + (-0,0531 \pm 0,0067).T \quad (\text{Equação 10})$$

Analisando-se a Figura 25 (a) fica evidente que a desidratação osmótica é ótima na região de temperatura (+1) 50 °C, não importando a concentração da

solução, a relação F/SO, nem qualquer interação de efeitos, dessa forma, a desidratação osmótica foi otimizada com os valores encontrados na Tabela 22.

Tabela 22. Valores otimizados para a desidratação osmótica.

Variável de processo	Valor codificado	Valor real
T (°C)	+1	50
C (g 100 g ⁻¹)	-1	40
F/SO	+1	3:20

Essa otimização levou o processo de desidratação osmótica a uma excelente perda de água e de peso sem um grande ganho de sólidos, além disso, economizou-se açúcar para se produzir a solução, tanto em concentração, quanto em quantidade.

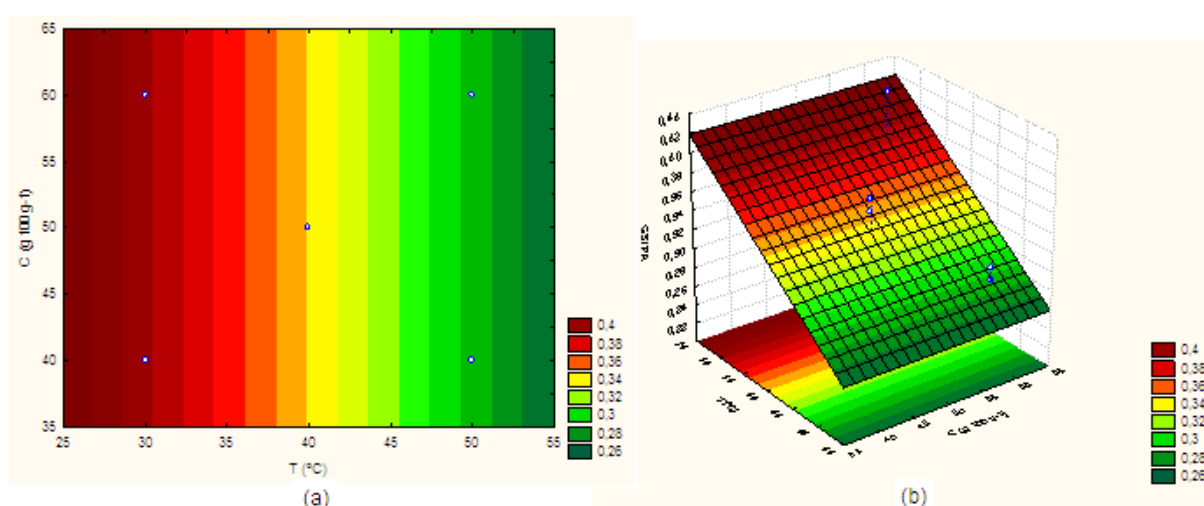


Figura 25. Curva de nível (a) e superfície de resposta (b) da razão GS:PA em função de temperatura e da concentração.

4.3 CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO SECADOR SOLAR

4.3.1 Projeto

As Figuras 26, 27 e 28 mostram o detalhamento com todas as cotas e vistas do coletor-armazenador e da câmara de secagem.

Além disso, também mostram a disposição do exaustor em relação à câmara de secagem e ao coletor armazenador.

Na Figura 26 tem-se o conjunto secador solar que é a junção do coletor-armazenador, exaustor e da câmara de secagem. Vê-se que o ângulo formado entre

o coletor-armazenador e a horizontal é de 17°, conforme com o recomendado por Bezerra (2001).

O coletor-armazenador está representado na Figura 27. Essa parte do equipamento foi construída em compensado de 10 mm de espessura e placas de vidro de 4 mm, também utilizou-se aproximadamente 30 kg de carvão vegetal, formando um leito de 200 mm de espessura no fundo do coletor-armazenador, justamente, para armazenar o calor absorvido e fornecer ao sistema uma certa inércia térmica. Chicanas de isopor de 900 mm foram dispostas de forma transversal ao coletor (105 mm de largura) para fazer com que o ar perdesse velocidade, aumentasse o seu percurso médio dentro do coletor e garantisse a turbulência do fluxo. Tais medidas foram tomadas para aumentar a quantidade de calor no ar de secagem e foram realizadas anteriormente por Santos (2004).

A Figura 28 mostra a câmara de secagem, como o exaustor foi acoplado a ela e todas suas cotas.

Cantoneiras de alumínio foram fixadas na câmara para suportarem até três bandejas dispostas de tal forma que o fluxo de ar fosse paralelo à superfície do produto.

A Figura 29 mostra em quatro vistas diferentes, como se montou o secador. Observa-se que a própria carcaça do exaustor serve com duto de ar entre o coletor-armazenador e a câmara de secagem e que o coletor-armazenador sustentou-se sobre um suporte de madeira de tal maneira que o ângulo de 17° entre a superfície do coletor e a horizontal fosse mantido.

A porta telada da câmara foi pensada de forma que proporcionasse a livre passagem do ar de secagem para fora do equipamento e que não permitisse a entrada de insetos e evitasse o máximo à entrada de poeira.

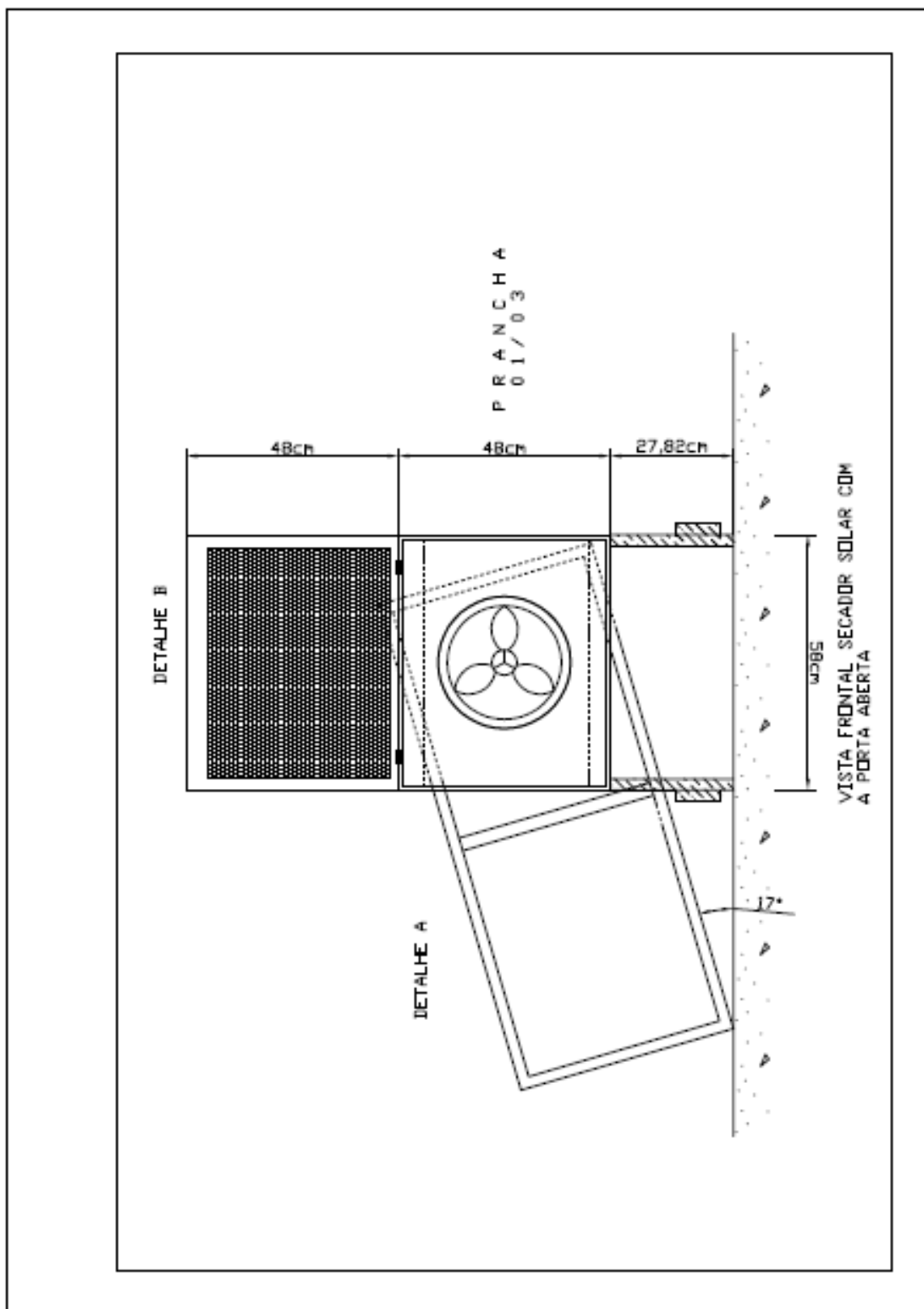


Figura 26. Prancha mostrando a vista frontal do sistema de secagem.

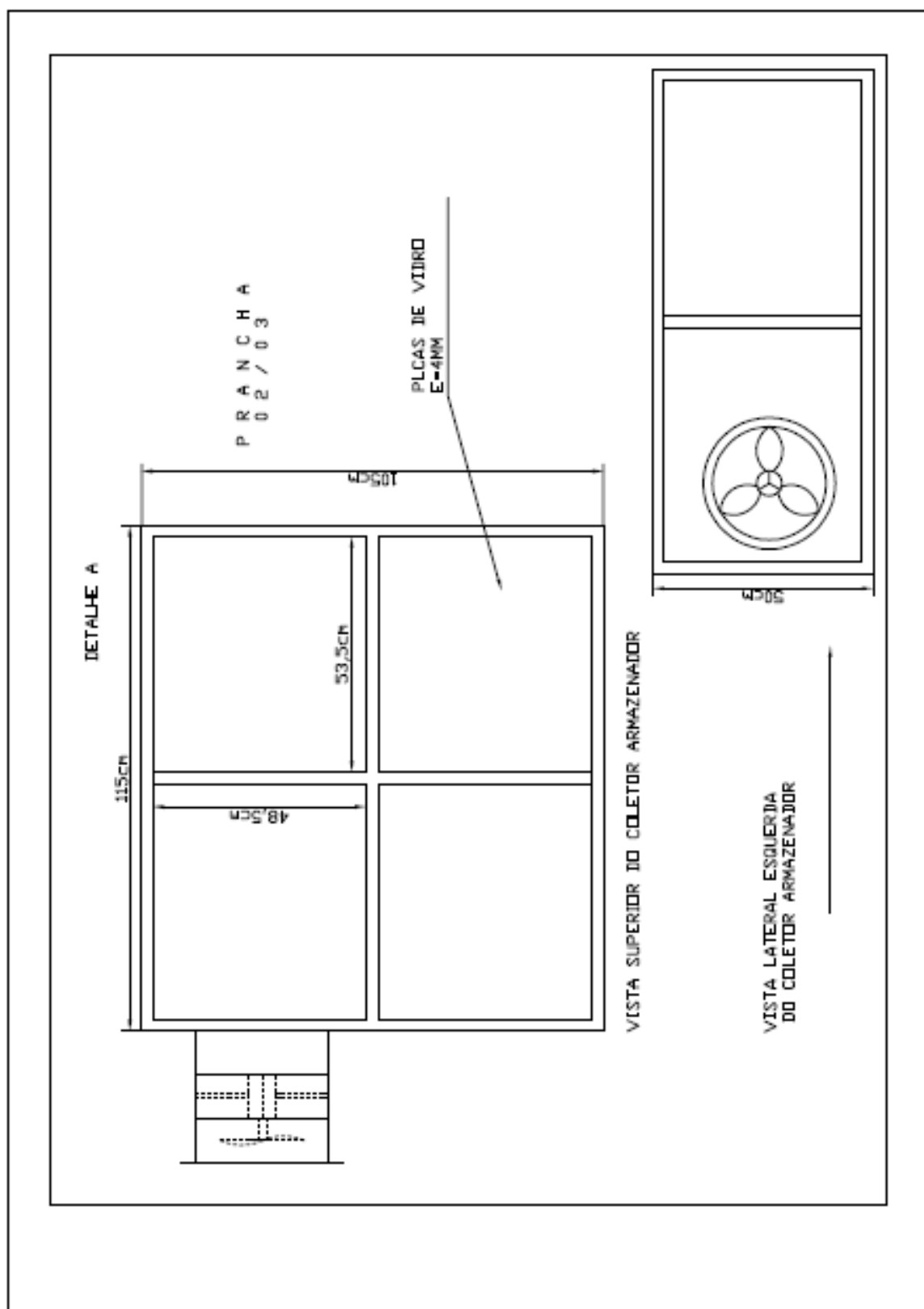


Figura 27. Prancha mostrando a vista superior e lateral do coletor-armazenador e exaustor acoplado.

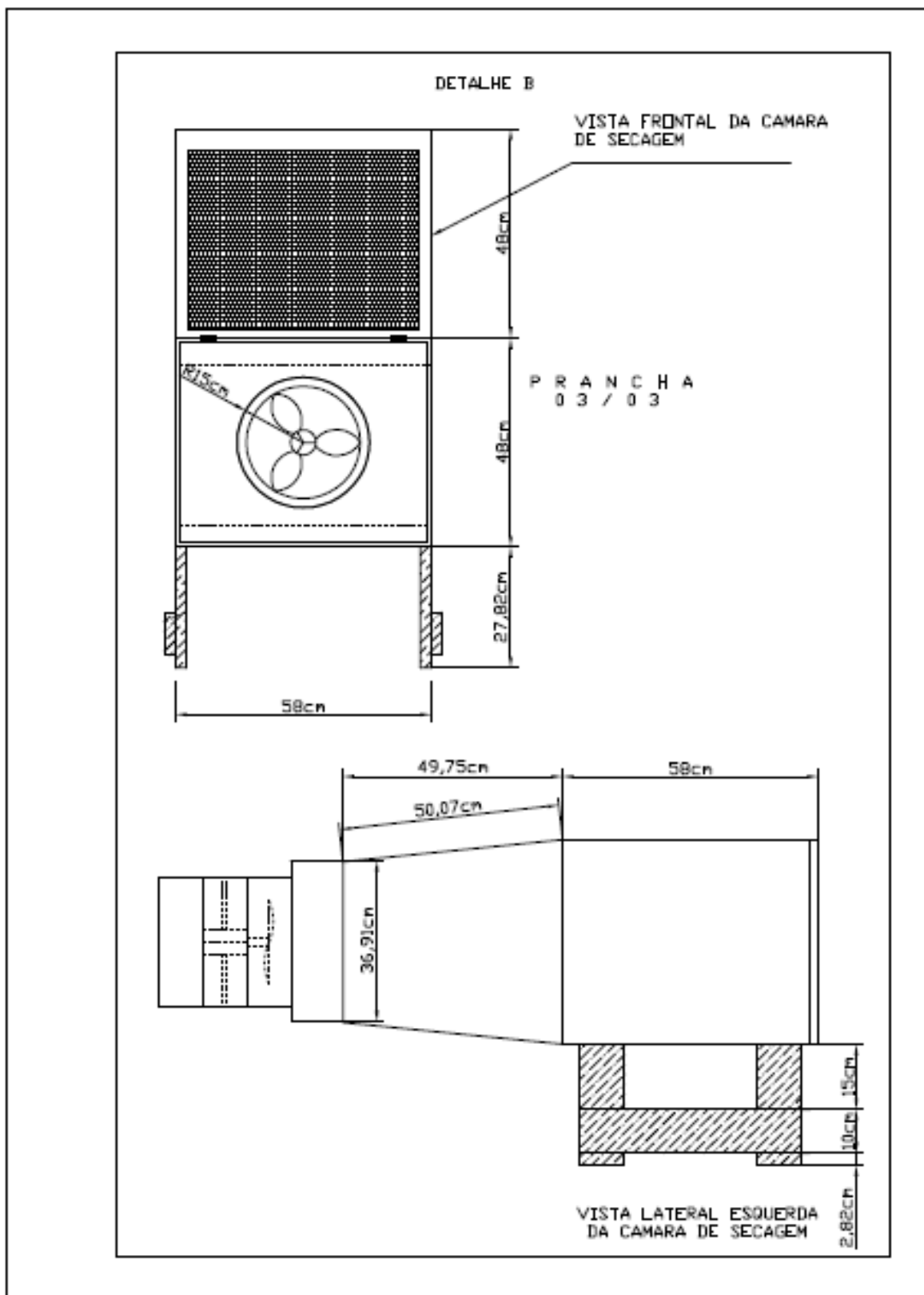


Figura 28. Prancha mostrando a vista frontal e lateral da cabine de secagem com exaustor acoplado.



Figura 29. Vistas do secador.

4.3.2 Avaliação do secador solar

Pode-se observar na Figura 30 que após o início das leituras ocorreu uma queda de temperatura, em torno, de três graus Celsius para as três medidas. Tal fato pode ter ocorrido porque o coletor passou uma hora (das 8 às 9 da manhã) sem circulação forçada para que o leito armazenador ganhasse certa inércia térmica, mas quando o exaustor foi ligado parte do calor do leito armazenador foi retirado causando a queda de temperatura.

Verifica-se também que os picos de temperaturas no coletor e da câmara ocorreram próximos das 13 horas, quando as temperaturas passaram dos 48 °C com diferença entre a temperatura do ar e da câmara de 10 °C.

A temperatura média do ar ambiente durante os três dias de estudos foi de 35,7 °C e do ar câmara foi de 41,2 °C, esta pequena diferença nas médias é devida às temperaturas semelhantes do ar ambiente e da câmara nos fins de tarde e da configuração do sistema que favorece mais incidência solar no período da tarde sobre a câmara do que sobre o coletor. Percebe-se esta inversão observando-se o gráfico a partir das 15 horas, quando a temperatura da câmara de secagem é ligeiramente superior a do coletor, mostrando que o coletor ficou encoberto pela câmara nos finais de tarde.

El-beltagy, Gamea e Amer Essa (2007) construíram e avaliaram um secador solar na Universidade de Al-Monofia- Egito e encontraram temperatura máxima do ar de secagem próxima a 46 °C, temperatura semelhante à encontrada neste trabalho no mesmo horário, ou seja, próximo às 13 horas. A comparação é válida, pois os climas das duas regiões são semelhantes, sendo o clima de Al-Monofia – Egito do tipo *BWh* e o de Currais Novos – RN (semi-árido nordestino) *BSh*, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, os climas são respectivamente: B – seco; W – desértico; h – temperatura média acima de 18 °C e B – seco; S – estepe; h – temperatura média acima de 18 °C (PEEL; FINLAYSON; MAHON, 2007).

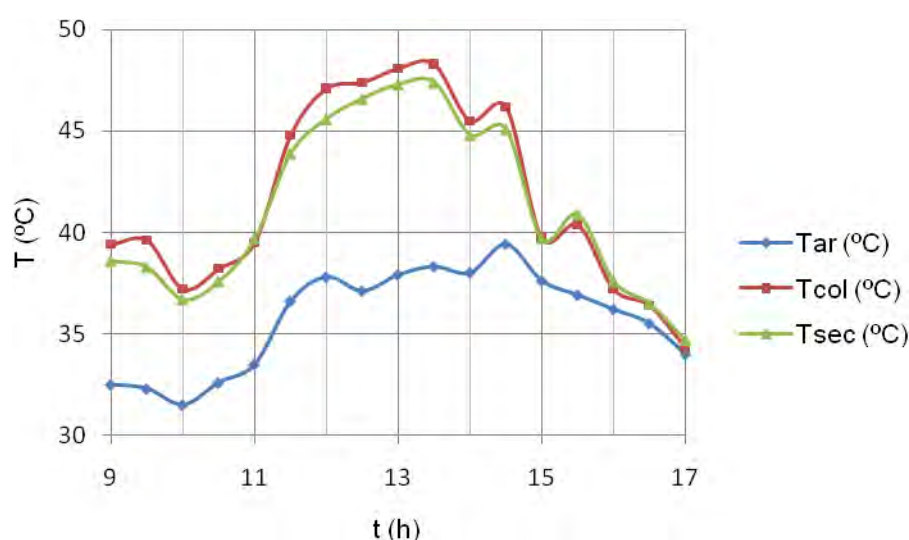


Figura 30. Gráfico das temperaturas do ar (T_{ar}), coletor (T_{col}) e secador (T_{sec}) em função do horário.

A Figura 31 mostra como a umidade relativa do ar varia em função do horário e depende de forma inversamente proporcional da temperatura, à medida que o ar vai se aquecendo a umidade relativa abaixa até chegar ao nível de 20% no final da tarde.

De acordo com Fennema, Damodaran e Parkin (2010) a atividade de água dos alimentos tende a se equilibrar com a umidade relativa do ar, ou seja, quanto mais baixa for a umidade relativa do ar, mais baixa tenderá a ser a atividade de água do alimento e vice-versa. Então no caso estudado, como a umidade relativa do secador mediu em torno de 37%, a atividade de água das fatias de talo de abacaxi num equilíbrio teórico deveria ser de 0,37. Esta informação é importante, pois mostra que o ar de secagem utilizado, apesar de não atingir uma alta temperatura, possui um bom potencial de transferência de massa, fator primordial para a secagem.

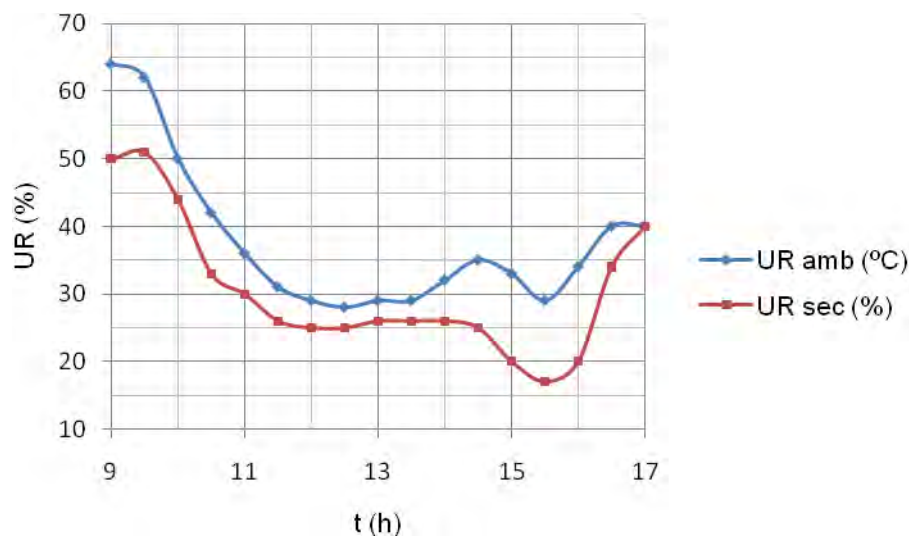


Figura 31. Gráfico da umidade relativa do ar ambiente (U_{amb}) e do ar de secagem (U_{sec}) em função do horário.

4.4 OBTENÇÃO DA PASSA DO TALO DE ABACAXI

Depois de desidratado osmoticamente, determinou-se a composição do produto intermediário, os valores obtidos estão na Tabela 23.

Tabela 23. Composição química do produto pós-desidratação osmótica

Umidade ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	76,31
Açúcares ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	19,31
Proteínas ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	0,32
Lipídeos ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	1,00
RMF ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	1,02
Fibra Bruta ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	2,94

A partir do valor de $76,31 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de umidade do produto intermediário posto na Tabela 23, e do valor de umidade final desejado de $15 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, a Equação 4 foi utilizada para o controle da redução da umidade. Após 6 horas de secagem, pesaram-se as fatias de controle a cada hora, atingindo-se o peso final estimado após decorridas 8 horas de secagem.

Ainda na Tabela 23 percebeu-se a variação dos componentes em relação à matéria-prima (Tabela 7). Como esperado, o teor de umidade obteve uma queda, já

que o objetivo do processo é desidratar o material em estudo. Observa-se também na Tabela 23 um incremento importante no teor de açúcares totais, fenômeno previsto e esperado de acordo com Germer et al. (2011), pois num processo de desidratação osmótica ocorrem três fluxos mássicos básicos, a saber: a saída da água do material para a solução hipertônica, a incorporação de soluto da solução pelo material e um fluxo menos expressivo de saída de solutos do produto para a solução de desidratação (GIANGIACOMO et al., 1987; RAOUT-WACK et al., 2003; CORZO & GOMEZ, 2004).

Como todos os teores dos componentes foram calculados em base úmida, o aumento de concentração deu-se em função da perda de umidade pelo produto.

El-beltagy, Gamea e Amer Essa (2007) estudaram a secagem de morangos em diversas geometrias, obtendo o produto seco após 28 horas de secagem.

Vilela (2008) estudando a secagem de açafreão conseguiu umidade de equilíbrio de $10,85 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ a $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ em 200 horas. Esse resultado mostra a dificuldade de se atingir a umidade de equilíbrio num processo de secagem, como também, que a umidade encontrada neste trabalho de $13 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Tabela 24), provavelmente é suficiente para manter a estabilidade do produto.

Os três estágios do processo de obtenção de talo de abacaxi passa estão mostrados na Figura 32(a), (b) e (c) que mostram, respectivamente, a fatia de talo e abacaxi in natura, o produto após a desidratação osmótica e após a secagem solar.

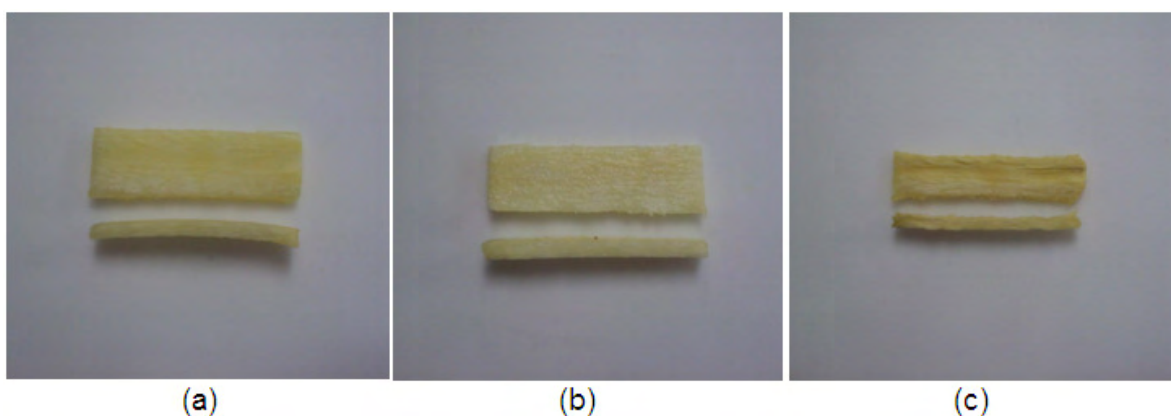


Figura 32. Fatias de talo de abacaxi antes da desidratação osmótica (a), após a desidratação osmótica (b) e após a secagem (c).

A composição do produto acabado está exposta na Tabela 24. Como se pode ver, o produto final obtido pelo processo combinado osmótico-solar é muito rico em açúcares e manteve 47% do teor de vitamina C da fruta in natura.

Os demais componentes sofreram uma concentração, fenômeno já esperado, uma vez que houve remoção significativa de água do material e os componentes têm uma boa estabilidade térmica.

A umidade está de acordo com Brasil (1978) que preconiza que as frutas desidratadas devem conter no máximo $25 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de umidade.

Tabela 24. Composição química do talo de abacaxi passa.

Umidade ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	13,70
Açúcares ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	72,54
Proteínas ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	1,20
Lipídeos ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	2,05
RMF ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	1,60
Fibra Bruta ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	2,15
Vitamina C ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	23,20

5. CONCLUSÕES

- Ao final de todas as etapas do processamento obteve-se a passa de abacaxi utilizando a técnica combinada osmo-solar.
- O abacaxi comercializado em Currais Novos - RN apresentou dimensões e massa média inferiores às descritas na literatura, mas com a pequena variabilidade destas medidas.
- Com elevada relação de sólidos solúveis-acidez e alto teor de vitamina C, o abacaxi mostrou-se uma boa matéria-prima para indústria e um excelente alimento in natura, tanto do ponto de vista físico-químico quanto do nutricional.
- As variáveis perda de água, perda de peso, ganho de sólidos e razão ganho de sólidos-perda de água (PA, PP, GS e GS:PA) estudadas no planejamento experimental apresentaram bons níveis de predição e ajuste aos modelos estatísticos escolhidos para a otimização do processo de desidratação osmótica.
- A otimização deu-se com a minoração da razão GS:PA chegando-se a combinação com melhor perda de água, menor ganho de sólidos e economia de açúcar de 50 °C de temperatura, 40 g 100⁻¹ g de concentração da solução de desidratação e uma proporção de fruta-solução de 3:20.
- A construção do secador solar dividido em três módulos básicos (câmara de secagem, coletor-armazenador e exaustor) mostrou-se, além de uma alternativa barata e simples, eficiente no processo de obtenção de talo de abacaxi passa previamente desidratado osmoticamente, necessitando de 8 horas para que o produto atingisse a umidade prevista no projeto.
- A passa de talo de abacaxi pérola obtida por processo osmo-solar apresentou umidade de 13 g 100 g⁻¹, dessa forma, obedecendo à legislação quanto ao teor de umidade para fruta passa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. O.; VILAR, L. C.; SOUSA, L. F. da S.; REINHARDT, D. H.; MACEDO, C. M. Peso médio do abacaxi no Brasil: um tema em discussão. *Bahia Agrícola*, v.6, n.3, nov. 2004.

ALMEIDA, Francisco de A. C. et al .Otimização do processo de secagem osmótica na obtenção de produtos secos da manga Tommy Atkins. *Revista brasileira engenharia agrícola ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 4, dez. 2005.

ALVES, Denise Gomes. Obtenção de Acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passas utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem. Tese de Doutorado. UNICAMP, Campinas – SP. 2003.

BARROS NETO, Benício de; SCARMINIO, Ieda Spacino; BRUNS, Roy Edward. Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 414 p.

BEZERRA, Arnaldo Moura. Aplicações térmicas da energia solar. João pessoa: Ed. Universitária, 2001.

BORSATO, Dionísio et al . Modelagem e simulação da desidratação osmótica em pedaços de abacaxi utilizando o método de elementos finitos. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, n. 8, 2009.

BRAGA, Carlos da Silva et al. Desenvolvimento e avaliação de um secador solar para grão, associado a silo subterrâneo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, n., p.666-670, 20 fev. 2005.

BRANDAO, Maria Cristina Cabral et al . Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico-solar. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 25, n. 1, abr. 2003.

BRASIL. Cnpa. Resolução nº 12: Aprova regulamento técnico de identidade e qualidade de frutas secas. 24 jul. 1978. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_78_frutas_secas.htm>. Acesso em: 02/01/2011.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. Instrução Normativa nº 12, de 4 de setembro de 2003.

BRASIL. (Brasil). Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005: Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (idr) de proteínas, vitaminas e minerais. Disponível em: <www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 23 abr. 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Ministério de Minas e Energia. Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília: Brasil, 2005. 243 p. CD-ROM.

BRASIL. Nepa-unicamp. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos-TACO. 2. ed. Campinas, 2006. 113 p.

CALADO, Veônica; MONTGOMERY, Douglas. Planejamento de experimentos usando Statistica: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais, 2003. 260 p.

CARVALHO, Walter; CANILHA, Larissa; SILVA, João Batista de Almeida e. Cinética da fermentação e balanço de massa da produção da cachaça artesanal. Brazilian Journal of Technology Food, Campinas, dez. 2008.

COMETTA, Emilio. Energia solar: Utilização e empregos práticos. Brasil: Hemus, 2004.

CÓRDOVA, K. R. V. Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã Fuji comercial e industrial. Tese de Doutorado. UFPR, Curitiba – 2006.

CORZO, O.; GOMEZ, E. R. Optimization of osmotic dehydration of cataloupe using desired function methodology. Journal of Food Engineering, v. 64, p. 213– 219, 2004.

COSTA, Antonio R.S; FERREIRA, Sebastiao R. Sistema de Secado Solar para Frutos Tropicales. Información Tecnológica., La Serena, v. 18, n. 5, 2007 .

DIONELLO, Rafael Gomes et al . Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido. Ciência e Tecnologia Alimentos, Campinas, v. 27, n. 4,dez. 2007 .

EL-AOUAR, Ânoar Abbas; MURR, Fernanda E. Xidieh. Estudo e modelagem da cinética de desidratação osmótica do mamão formosa (Carica papaya L.). Ciênc. Technol. Aliment., Campinas, v. 23, n. 1, Apr. 2003 .

EL-AOUAR, Ânoar Abbas. ESTUDO DO PROCESSO DE SECAGEM DE MAMÃO FORMOSA. 2005. f. Tese (Doutorado) - Unicamp, Campinas, 2005.

EL-BELTAGY, A.; GAMEA, G. R.; ESSA, A. H. Amer. Solar drying characteristics of strawberry. Journal Of Food Engineering, Elsevier, n. , p.456-464, 2007.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <www.fao.org>. Acessado em: 10 de novembro de 2009.

FAO. Food and Agricultural commodities production. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 12 mar. 2011.

FENNEMA, Owen; DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk. Química de alimentos de fennema. 4. ed. São Paulo: Artmed, 2010.

FERNANDES, F. A. N. et al. Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. Journal of Food Engineering, v. 77, n. 1, p. 188-193, 2006a

FERREIRA, Vera Lúcia Pupo et al. Análise Sensorial: testes discriminativos e descritivos. SBCTA, Campinas – SP, 2000.

FERREIRA; CANDEIAS, M. SECAGEM SOLAR DE FRUTOS E PLANTAS AROMÁTICAS. Revista de Ciências Agrárias, Nova Oeiras, n., p.363-370, 1 set. 2005.

GERMER, Sílvia P. M et al . Desidratação osmótica de pêssegos em função da temperatura e concentração do xarope de sacarose. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, Campina Grande, v. 15, n. 2, Fev. 2011.

GIANGIACOMO, R.; TORREGGIANI, D.; ABBO, E. Osmotic dehydration of fruit: Part 1. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. Journal of Food Processing and Preservation, v. 11, p. 183 – 195, 1987.

GUINÉ, Raquel de Pinho Ferreira. Secagem solar de perás: Evolução da densidade e características de encolhimento. Brazilian Journal Of Food Technology, Campinas, n., p.248-251, 1 set. 2005.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

MEDINA, J. C. Capítulo I: cultura. Série frutas tropicais: abacaxi. 2 ed. ITAL – Campinas, pp. 1-132, 1987.

MELONI, Pedro Luis Santos. Desidratação de frutas e hortaliças. Fortaleza: Instituto Frutal, 2003. 87 p.

MELONI, Pedro Luiz. Produção de Tomates Secos e Frutas Desidratadas. Material do curso à distância da UOV. Viçosa, 2009.

MOREIRA, Adônis; HEINRICHS, Reges; FREITAS, Alfredo Ribeiro de. Relação fósforo e magnésio na fertilidade do solo, no estado nutricional e na produção da alfafa. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 37, n. 6, p.984-989, 01 jun. 2008. Disponível em:<www.scielo.br>. Acesso em: 23 abr. 2010.

MORGADO, Ivan Ferreira; AQUINO, Carla Nogueira Patrão; TERRA, Denise Cunha Tavares. Aspectos econômicos da cultura do abacaxi: sazonalidade de preços no Estado do Rio de Janeiro. Revista Brasileira Fruticultura, Jaboticabal, v. 26, n. 1, abr. 2004.

PALZ, Wolfgang. Energia solar e fontes alternativas. Brasil: Hemus, 2002. 358 p.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MAHON, T. A.. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrology And Earth Science, n.11, p.1633-1644, 2007.

QUEIROZ, Valéria Aparecida Vieira et al . Desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção de goiaba. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 42, n. 10, out. 2007.

RAOULT-WACK, A. L.; LENART, A.; GUILBERT, S. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Trends in Food Science and Technology, v. 5, agosto, p. 225 –260, 1994.

RODRIGUES, Maria isabel e IEMMA, Antonio Francisco. Planejamento de experimentos e Otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos. Ed. Campinas – Campinas-SP, 2005.

SANTOS, B., M. Metodologia de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar para secagem de produtos agrícolas. 66p. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, 2004.

SANTOS, B. M.; QUEIROZ, M. R.; BORGES, T. P. F.. A solar collector design procedure for crop drying. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, São Paulo, v. 22, n. 2, jun. 2005.

SANTOS, Fernando Carlos Borja dos et al . Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-árido do nordeste brasileiro. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 29, n. 1, Feb. 2005 .

SIDRA, sistema IBGE de recuperação automática. Disponível em: <www.sidra.ibge.br>. Acessado em: 10 de novembro de 2009.

SOCIEDADE DO SOL. Manual de instrução de manufatura e instalação experimental do aquecedor solar de baixo custo. Disponível em: <http://www.sociedadedosol.org.br/asbc/asbc_online.htm>. Acesso em: 13 mar. 2011.

SOUSA, Severina de. Obtenção de figos secos por desidratação osmótica e secagem convectiva / Severina de Sousa. -- Campinas, SP: [s.n.], 2008.

SOUZA, Cleber B. de; SILVA, Bernardo B. da; AZEVEDO, Pedro V. de. Crescimento e rendimento do abacaxizeiro nas condições climáticas dos Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, Campina Grande, v. 11, n. 2, abr. 2007.

TONON, Renata Valeriano; BARONI, Alessandra Faria; HUBINGER, Míriam Dupas. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. *Ciência Tecnologia Alimentos*, Campinas, v. 26, n. 3, set. 2006.

VALENTE, Pedro Paulo Sanches da Silva. Desidratação osmótica e secagem de abacaxi (*Ananás Comosus* (L.)Merril), variedade pérola / Pedro Paulo Sanches da Silva Valente. Campinas, SP: [s.n.], 2007.

VILELA, Carlos Alberto Almeida; ARTUR, Patrícia Oliveira. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. *Ciência. Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 28, n. 2, jun. 2008.