UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CARACTERIZAÇÃO DE ADITIVOS PARA SECAGEM DE ARAÇÁ-BOI (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) EM LEITO DE ESPUMA

ELIZA CALDAS SOARES

ITAPETINGA-BAHIA - BRASIL
MARÇO - 2009

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

ELIZA CALDAS SOARES

CARACTERIZAÇÃO DE ADITIVOS PARA SECAGEM DE ARAÇÁ-BOI (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) EM LEITO DE ESPUMA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de Processos de Alimentos, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador: Prof. D.Sc. Modesto Antonio Chaves

Co-Orientadora: Profª. D.Sc. Ronielli Cardoso Reis

ITAPETINGA – BAHIA - BRASIL
MARÇO - 2009

634.76
S653c

Soares, Eliza Caldas.

Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leito de espuma. / Eliza Caldas Soares. – Itapetinga: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2009.
88p.

Dissertação do Programa de Pós-Graduação "*Strictu Senso"* do Curso de Especialização em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Sob a orientação do Prof. DSc. Modesto Antonio Chaves e co-orientação da Profª. DSc Ronielli Cardoso Reis.

1. Araçá-boi – Suco concentrado – Fabricação. 2. Frutas tropicais – Secagem – Leito de espuma. 3. Frutas tropicais – Análise físico-química. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. II. Chaves, Modesto Antonio. III. Reis, Ronielli Cardoso. IV. Título.

CDD(21): 634.76

Catalogação na Fonte:

Cláudia Aparecida de Souza – CRB 1014-5ª Região
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por assunto:

1. Araçá-boi – Suco concentrado
2. Frutas tropicais – Secagem
3. Frutas tropicais – Análise físico-química
4. Suco concentrado em pó – Fabricação

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Área de Concentração: Engenharia de Processos de Alimentos

Campus de Itapetinga-BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: "CARACTERIZAÇÃO DE ADITIVOS PARA SECAGEM DE ARAÇÁ-BOI (*Eugenia stipitata* McVaugh) EM LEITO DE ESPUMA."

Autora: ELIZA CALDAS SOARES

Orientador: Prof. DSc. Modesto Antonio Chaves

Co-orientadora: Profª DSc. Ronielli Cardoso Reis

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE PROCESSOS DE ALIMENTOS, pela Banca Examinadora.

Prof. Modesto Antonio Chaves, *DSc.*, UESB

Profª. Célio Kersul do Sacramento, *DSc.*, UESC

Prof. Evandro Sena Freire, *DSc.*, UESC

Data da Realização: 28 de maio de 2009.

Praça Primavera, Nº 40, Bairro Primavera – Telefone: (77) 3261-8629 - Fax: (77) 3261-8701
Itapetinga – BA CEP: 45.700-000 – e-mail: ppgeal@uesb.br

Aos meus pais, Geraldo e Dilce, pelo apoio incondicional, incentivos e amor em todos os momentos da minha vida.

Com todo amor...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, que através de sua misericórdia permitiu a concretização de mais uma etapa de minha vida;

À UESB, pela oportunidade da realização do mestrado e pelo apoio financeiro para minha total dedicação;

Ao Professor D.Sc. Modesto Antônio Chaves, pela orientação, incentivo e valiosos ensinamentos e pela amizade;

À Professora D.Sc. Ronielli Cardoso Reis, por toda a dedicação na co-orientação;

A todos os professores do mestrado que, durante o curso, passaram conhecimentos valiosos para toda a vida;

Aos funcionários e amigos Leo e Barbara, pela ajuda e paciência durante todo o curso, sempre nos ajudando da melhor forma possível, principalmente pela dedicação e ajuda de Leo no desenvolvimento do experimento;

Ao Professor Célio Kersul, pela disponibilização das frutas e pela sua amizade;

A Ellen, pela grande amizade que fizemos e pelo companheirismo;

Aos colegas de mestrado, em especial Alexandra, Normane, Gutto, Calila, Ivan, Rosali, Jaime e Ítalo, pela convivência, amizade e pelos momentos de descontração;

A Arianne, Rilvaynia, Isadora, Betânia, Iara e Alessandra, pela ajuda dedicada durante o experimento;

Às companheiras de casa, Gil, Milena, Dani e Marcele, pela amizade, cumplicidade, paciência e pelos vários dias de risos;

Às amigas Tatiana e Carina, pela força, atenção e carinho dedicados a mim durante o curso;

A Indira, Anne e Flora, que, independente dos destinos, sempre estivemos juntas nos momentos especiais de nossas vidas;

Aos meus pais (Geraldo e Dilce), irmãos (Dudu, Pedro, Manoel e Sara) e toda minha família, pelo apoio, confiança e carinho dedicados a mim durante toda minha vida;

A Saulo, pelo companheirismo, carinho e paciência nos momentos mais difíceis;

E a todos que de alguma forma me ajudaram e estiveram comigo durante a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!!!!

"O conhecimento exige uma presença curiosa do sujeito em face do mundo. Requer uma ação transformadora sobre a realidade. Demanda uma busca constante. Implica em invenção e em reinvenção".

Paulo Freire

O Senhor é meu Pastor e nada me faltará.

Salmo 23

RESUMO

SOARES, E. C. Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leito de espuma. Itapetinga – BA: UESB, 2009. (Dissertação – Mestrado em Engenharia de Processos de Alimentos) (1).

O araçá-boi é uma fruta pouco conhecida fora da região amazônica. Possui um sabor ácido bastante acentuado, limitando o seu consumo *in natura*. Entretanto, sua polpa apresenta grande potencial na agroindústria para a fabricação de suco concentrado, néctares, sorvetes, doces e geléias. Muitas frutas tropicais são altamente perecíveis, deteriorando-se em poucos dias, dificultando, assim, sua comercialização e aumentando as perdas. O método de secagem tem como vantagens remover água de um alimento, reduzindo, assim, a deterioração microbiológica e as taxas de reações de degradação, e prolongar a safra dos alimentos sazonais, impedindo a perda do valor comercial. A secagem em leito de espuma é um método novo, relativamente simples, rápido e barato, sendo realizado através de adição de agentes espumantes na polpa, formando uma espuma estável, que, após a secagem, obtém-se um produto em pó. A caracterização de aditivos para formação de espuma se faz necessária para ter uma melhor estabilidade da espuma que será utilizada para secagem, onde este é um método apropriado para suco de frutas, produtos sensíveis ao calor e alimentos viscosos. Para a produção das espumas de polpa de araçá-boi, foram testados quatro diferentes aditivos (Emustab®, Superliga®, albumina e maltodextrina) em diferentes concentrações (5, 10, 15 e 20% em massa). Para a caracterização das espumas, foram realizadas análises de densidade, pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis, estabilidade, atividade de água, umidade, cor e vitamina C e açúcares totais e redutores. Após a caracterização, foi selecionado o melhor aditivo e submetido ao processo de secagem temperatura de 70ºC e velocidade do ar de 4,2 m/s. Durante a secagem, num intervalo de 15 minutos, foram realizadas análises de atividade de água, teor de sólidos solúveis, assim como a pesagem das bandejas para a construção da curva de secagem até peso constante. O aditivo selecionado foi a albumina, que, apesar de não ter apresentado a menor redução da densidade da espuma, foi o que, em ensaios preliminares, apresentou a formação de pó. Foram testados vários modelos para a cinética de secagem e, destes, o modelo Dois Termos foi o que melhor se ajustou aos dados, tendo sido a seleção dos modelos feita pelo coeficiente de determinação R^2, a estatística χ^2, a raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) e o erro médio (MBE). O tempo de secagem das espumas foi inferior ao tempo de secagem da polpa integral, ou seja, quando as espumas de albumina atingiram a umidade de equilíbrio após 4 horas de secagem (7,3; 7,4; 4,83 6,98% para 5, 10, 15 e 20%), a polpa integral atingiu o teor de umidade e 26,8%, sendo esse valor obtido pelas espumas após 2 horas de secagem. Os valores de atividade de água reduziram com o aumento do tempo de secagem atingindo ao final, valores na faixa de 0,2-0,3, também foram ajustados alguns modelos para a atividade de água, porém nenhum dos modelos ajustou-se satisfatoriamente utilizando-se, assim, o *software* LAB fit – Ajuste de Curvas, VRS 7.2.19 para se buscar um modelo de 3 parâmetros, chegando ao melhor ajuste o modelo logístico+constante. Os valores dos teores dos sólidos solúveis também aumentaram com o aumento do tempo da secagem. Para obter uma relação entre o tempo de secagem e os sólidos solúveis totais, expressos em ºBrix ajustou-se o modelo Sigmoidal de Boltzmann e, para relação entre a razão de umidade e o teor de sólidos solúveis, ajustou-se o modelo Lorentziano. Conclui-se que: a albumina, mesmo na menor concentração usada (5%), funciona como bom agente espumante para o processo de secagem em leito de espuma, fornecendo um pó de araçá-boi com as características físico-químicas mais concentradas que a da polpa *in natura*. Também conclui-se que o processo de secagem foi eficiente, para todas as concentrações, atingindo uma média de 7% de umidade final no produto em pó e com atividade de água na faixa de 0,2-0,3, apresentando um alimento microbiologicamente estável.

Palavras-chave: agentes espumantes; análises físico-químicas; cinética de secagem; pó da polpa de araçá-boi.

[1] Orientador: Modesto Antonio Chaves, D.Sc., UESB; e Co-orientadora: Ronielli Cardoso Reis, D.Sc.

ABSTRACT

SOARES, E. C. Characterization of additives for drying araça-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) in foam-mat. Itapetinga – BA: UESB, 2008. (Dissertation – Master in Food Process Engineering)[1]

The araça-boi fruit is a little known outside the Amazon region. It has a very strong acid taste, limiting its consumption as fresh. However its pulp has great potential for the agroindustry in the manufacture of juice concentrates, nectars, ice creams, jams and jellies. Many tropical fruits are highly perishable, is deteriorating in a few days, thus hindering its commercialization and increasing the losses. The method has the advantage of drying, remove water from a food, thereby reducing the deterioration and microbiological reactions in the rates of degradation, and extend the harvest of seasonal foods, preventing the loss of market value. Foam-mat drying is a new method, relatively simple, fast and cheap, being made through the addition of foaming agents to pulp, to form a stable foam, that after can be dry will obtained a product powder. The characterization of additives for formation of foam is necessary to have a better stability of the foam to be used for drying, which is an appropriate method for fruit juice, products sensitive to heat and viscous foods. For the production of foams of pulp araça-boi were tested four different additives (Emustab®, Superliga®, albumin and maltodextrin) in different concentrations (5, 10, 15 and 20% by mass). For the characterization of foams were analyzed for density, pH, acidity, soluble solids content, stability, water activity, moisture, color and vitamin C and total and reducing sugars. After the characterization was selected the best additive and subjected to the process of drying temperature of 70°C and air velocity of 4,2 m/s. During drying, an interval at 15 minutes, were analyzed for water activity, soluble solids content as well as weighing the trays for the construction of the curve of drying until constant weight. The additive was selected it albumin. Although did not show the least reduction in the density of the foam was the one that formed powder in the preliminary tests. We tested several models for the kinetics of drying and the model of these two terms was the best fit to the data, was the selection of models by the coefficient of determination R^2, the χ^2 statistic, the square root of mean square error (RMSE) and average error (MBE). The drying time for the foam was less than that the of drying the pulp. This means that while the foams reached moisture equilibrium after 4 hours of drying (7.3, 7.4, 4.83 6.98% for 5, 10, 15 and 20% of albumin respectively) pulp only reached the moisture content and 26.8%, and the value obtained by the foam after 2 hours of drying. The values of water activity decreased as the drying time increased an reached, in the end of the drying process, values in the range of 0.2-0.3, some models were also adjusted to water activity, but none of the models are fitted satisfactorily using it fit the software LAB - Set of Curves, RSV 7.2.19 to get a model of 3 parameters, up to best fit the logistic model+constant. The values of soluble solids contents also increased with the increasing of the drying time. In order to obtain a relationship between time of drying and the soluble solids contents, expressed in °Brix is the set of Sigmoidal Boltzmann model and relationship between the moisture ratio and soluble solids content by adjusting the model Lorentzian. It is concluded that the albumin, even in the lowest concentration used (5%) work as good foaming agent to the drying bed in the foam, providing a powder araça-boi with more physical and chemical characteristics than fresh the pulp. Also concluded that the drying process was efficient for all concentrations, reaching an average of 7% moisture in the final product powder and water activity in the range of 0.2-0.3, which a microbiologically stable food.

Keywords: foaming agents, physical-chemical analysis; kinetics of drying, araça-boi powder

Advisor 1: Modesto Antonio Chaves, D.Sc., UESB and Co-Advisor: Ronielli Cardoso Reis, D.Sc.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos de equações de secagem testados..... 37
Tabela 2. Modelos comumente utilizados na predição de isotermas de sorção de produtos alimentícios (umidade de equilíbrio em função da atividade de água)..... 38
Tabela 3. Valores médios referentes às propriedades físico-químicas da polpa de araçá-boi..... 39
Tabela 4. Coeficientes da análise de regressão para a acidez da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos..... 42
Tabela 5. Termos e análise de variância da regressão linear entre o pH e a concentração para albumina..... 43
Tabela 6. Coeficientes da análise de regressão para o teor de sólidos solúveis da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina e Superliga®..... 45
Tabela 7. Coeficientes da análise de regressão para a massa específica da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos Emulstab® e maltodextrina..... 47
Tabela 8. Coeficientes da análise de regressão para a atividade de água da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina.e Superliga®..... 49
Tabela 9. Coeficientes da análise de regressão para umidade da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina.e Superliga®..... 50
Tabela 10. Coeficientes da análise de regressão para açúcar redutor da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos..... 52
Tabela 11. Coeficientes da análise de regressão para açúcar total da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, Superliga® e Emustab®..... 52
Tabela 12. Coeficientes da análise de regressão para a vitamina C da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina e Emustab®..... 54
Tabela 13. Coeficientes da análise de regressão para valores de L* da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina, Emustab® e Superliga®..... 56
Tabela 14. Coeficientes da análise de regressão para o parâmetro a* da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos maltodextrina, Emustab® e Superliga®..... 57
Tabela 15. Coeficientes da análise de regressão para o parâmetro b* da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina e Emustab®..... 58
Tabela 16. Coeficientes da análise de regressão para o parâmetro ΔE* da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina e Emustab®..... 60
Tabela 17. Coeficientes da análise de regressão para a relação de ºBrix / ácido cítrico da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos maltodextrina e Superliga®..... 61
Tabela 18. Coeficientes das equações dos modelos ajustados para a razão de umidade (RM) em função da concentração (CONC) de albumina em graus brix com os coeficientes de determinação (R^2) e valores do teste de qui-quadrado χ^2 (tempos em segundos)..... 62
Tabela 19. Resultados do desvio médio (MBE) e do erro quadrático médio (RMSE) para modelos de cinética de secagem de pó de araçá-boi com diferentes concentrações de albumina..... 67

LISTA DE TABELAS (Continuação...)

Tabela 20. Resultado do teste de "t" para os modelos de cinética de secagem que passaram pelos critérios de eliminação (R^2, χ^2, MBE e RMSE)..... 69
Tabela 21. Coeficientes dos modelos ajustados para relacionar atividade de água e teor de água, durante a secagem de espuma de polpa de araçá-boi com diferentes concentrações de albumina e respectivos coeficientes de determinação e valores de χ^2..... 72
Tabela 22**.** Coeficientes do ajuste do modelo logístico+constante, coeficientes de determinação e valores de χ^2 para a espuma de araçá-boi com diferentes concentrações de albumina..... 75
Tabela 23. Valores de pH inicial e final no processo de secagem de espuma de araçá-boi, em diferentes concentrações de albumina..... 78
Tabela 24. Valores dos parâmetros para o ajuste do modelo Sigmoidal de Boltzmann, relacionando os sólidos totais (expressos em graus Brix) e o tempo de secagem da espuma de araçá-boi, em diferentes concentrações de albumina..... 79
Tabela 25. Valores dos parâmetros para o ajuste do modelo Lorentiziano, relacionando os sólidos totais (expressos em graus Brix) e a razão e umidade da espuma de araçá-boi, em diferentes concentrações de albumina, ao longo do processo de secagem..... 81
Tabela 26. Valores médios dos parâmetros L*, a*, b* e ΔE* inicial e final no processo de secagem de espuma de araçá-boi, em diferentes concentrações de albumina..... 83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Araçazeiro-boi e a fruta araçá-boi..... 21
Figura 2. Fluxograma do processo de secagem de espuma de araçá-boi..... 34
Figura 3. Secador usado no experimento..... 35
Figura 4. Partes do secador usado no experimento: (a) Ventilador e inversor de freqüência; (b) Controlador de temperatura; (c) Bandeja; (d) Interior do secador..... 36
Figura 5. ATT da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 41
Figura 6. pH da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 42
Figura 7. ºBrix da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 44
Figura 8. Massa específica da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 46
Figura 9. Aw da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 48
Figura 10. Umidade, em base úmida, da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 50
Figura 11. Açúcar redutor e total da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 51
Figura 12. Vitamina C da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 53
Figura 13. Valores de L* da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 55
Figura 14. Parâmetro a* da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 56
Figura 15. Parâmetro b* da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 58
Figura 16. Parâmetro ΔE^* da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração..... 59
Figura 17. Relação entre o teor de sólidos solúveis totais (ºBrix) e a acidez titulável (em % de ácido cítrico) das espumas de albumina, Emustab®, maltodextrina e Superliga®..... 60
Figura 18. Curvas de secagem da espuma de araçá-boi, com diferentes concentrações de albumina e da polpa integral..... 62
Figura 19. Cinética de secagem da espuma de araçá-boi, nas diferentes concentrações de albumina e curvas referentes ao modelo Dois-Termos..... 71
Figura 20. Variação da atividade de água com o tempo de secagem e respectivas curvas do ajuste logístico mais constante..... 76
Figura 21. Relação entre atividade de água e teor de água (em % base úmida) durante a secagem de espuma de araçá-boi, com diferentes concentrações de albumina..... 77
Figura 22. Variação dos sólidos solúveis totais com o tempo de secagem e respectivas curvas do ajuste Sigmoidal de Boltzmann..... 80
Figura 23. Variação dos sólidos solúveis totais com a razão de umidade e respectivas curvas do ajuste Lorentziano, para a secagem de espumas de araçá-boi, em diferentes concentrações de albumina..... 82

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Aw	Atividade de água
ATT	Acidez titulável totais
b.u.	Base úmida
SS	Sólidos solúveis
VitC	Vitamina C
URE	Umidade relativa de equilíbrio
RMSE	Raiz quadrada do erro médio quadrado
MBE	Erro médio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA..... 18
2 REVISÃO DE LITERATURA..... 20
2.1 O Araçá-boi..... 20
2.2 Espumas e Agentes espumantes..... 22
2.3 Secagem em leito de espuma..... 24
2.4 Cinética de secagem de espuma..... 26
3 MATERIAL E MÉTODOS..... 29
3.1 Obtenção da matéria prima..... 29
3.2 Caracterização físico-química da polpa de araçá-boi..... 29
3.2.1 Determinação do teor de água..... 29
3.2.2 Acidez total titulável (ATT)..... 30
3.2.3 Determinação do pH..... 30
3.2.4 Determinação do teor de sólidos solúveis (SS)..... 30
3.2.5 Determinação da massa específica..... 30
3.2.6 Determinação da atividade de água (Aw)..... 31
3.2.7 Determinação da Cor..... 31
3.2.8 Determinação de açúcares totais (redutores e não redutores)..... 31
3.2.9 Determinação de vitamina C..... 31
3.3 Processo de formação e caracterização da espuma..... 32
3.3.1 Determinação de ATT, pH, SS, Massa Específica, Cor, Aw, Umidade, Açúcares totais e redutores e Vitamina C..... 32
3.3.2 Determinação da estabilidade..... 32
3.4 Análise dos resultados..... 33
3.5 Secagem em leito de espuma..... 33
3.6 Cinética de secagem 37
3.7 Relação entre atividade de água e umidade, no processo de secagem da espuma..... 37
3.8 Caracterização físico-química do pó da polpa de araçá-boi..... 38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 39
4.1 Caracterização da matéria-prima..... 39
4.2 Propriedades físico-químicas das espumas de polpa de araçá-boi em função da concentração dos aditivos..... 41
4.2.1 Acidez total titulável (% acido cítrico)..... 41
4.2.2 pH..... 42
4.2.3 Sólidos solúveis (ºBrix)..... 43
4.2.4 Massa específica (g/cm^3)..... 45
4.2.5 Estabilidade..... 47
4.2.6 Atividade de água (Aw)..... 48
4.2.7 Umidade (%b.u.)..... 49
4.2.8 Açúcares redutores e totais..... 51
4.2.9 Vitamina C..... 53
4.2.10 Cor..... 55
4.2.10.1 L*..... 54
4.2.10.2 Parâmetro a*..... 56
4.2.10.3 Parâmetro b*..... 57
4.2.10.4 Parâmetro ΔE^*..... 59
4.2.11. ºBrix / ácido cítrico..... 60
4.3 Cinética de secagem..... 61
4.4 Ajuste de modelos de cinética de secagem..... 63
4.5 Analise da cinética de secagem..... 70
4.6 Redução da atividade de água..... 71
4.7 Variações de propriedades físico-químicas durante o processo de secagem..... 78

SUMÁRIO (Continuação...)

5 CONCLUSÕES..... 84
6 REFERÊNCIAS..... 86

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A maioria das frutas tropicais é altamente perecível, deteriorando-se em poucos dias, dificultando, assim, sua comercialização e aumentando suas perdas. Dos diversos processos para conservação de alimentos desenvolvidos pelo homem, a secagem, o mais antigo deles, apresenta-se viável para reverter este quadro.

A secagem tem como princípio remover água de um alimento, reduzindo, assim, a deterioração microbiológica e as taxas de reações de degradação, e prolongar a disponibilização dos alimentos sazonais, impedindo a perda do valor comercial. Além da preservação, a desidratação reduz o peso e o volume do produto, aumentando a eficiência do transporte e do armazenamento. Também objetiva agregar valor ao alimento, fornecendo produtos de sabor diferenciado do mesmo *in natura*, tendo como conseqüência a instalação de um novo produto no mercado.

Dos processos de secagem, destaca-se a desidratação em leito de espuma. É um método relativamente simples, rápido e barato, que consiste basicamente de três etapas: produção do suco ou polpa em forma de uma espuma estável, pela adição de agentes espumantes, secagem do material em uma camada fina de espuma até desidratação final, desintegração da massa seca em escamas e, por fim, em pó.

Dentre as vantagens deste método, destacam-se as menores temperaturas de desidratação e o menor tempo de secagem, devido à maior área de superfície exposta ao ar e à velocidade de secagem, acelerando o processo de remoção de água e a obtenção de um produto poroso e de fácil reidratação.

Atualmente, os produtos alimentícios em pó são cada vez mais utilizados pela indústria de alimentos, uma vez que eles reduzem significativamente os custos de certas operações como embalagens, transporte, armazenamento e, pela conservação, elevam o valor comercial do produto.

O araçazeiro-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) é uma frutífera da família *Mirtacea* originada da Amazônia Peruana, usualmente cultivada no Brasil, Peru e Bolívia. A planta é um arbusto de cerca de três metros de altura e o fruto é uma baga globosa, de cor amarelada, casca fina geralmente utilizada na confecção de suco, refresco, creme e sorvete. Segundo Gentil e Clement (1996), o araçazeiro-boi produz mais de 23 t/ha com manejo adequado, em solos pobres, com uma razão polpa/descarte (63-85%).

O araçá-boi foi introduzido no sul da Bahia na década de oitenta e vem sendo cultivado comercialmente em alguns pomares da região, como alternativa de diversificação da lavoura cacaueira.

A acidez do fruto limita seu consumo *in natura*, mas sua polpa apresenta grande potencial na agroindústria para a fabricação de suco concentrado, sorvetes, doces e geléias. Seu sabor e aparência são atraentes para os mercados internacionais e conferem-lhe grande potencial para o processamento.

A existência de inúmeras agroindústrias na região sul da Bahia requer uma demanda de novos sabores para atender a crescente demanda do mercado de polpas e o araçá-boi desponta como uma opção interessante para produção de polpa e outros derivados da fruta.

Com base no exposto, objetiva-se, com este trabalho:

- Estudar e caracterizar espumas feitas com a adição de albumina, Emustab®, Superliga® e maltodextrina nas concentrações de 5, 10, 15 e 20% em massa, visando o processo de secagem em leito de espuma da polpa de araçá-boi;

- Estudar a cinética de secagem da polpa de araçá-boi, em leito de espuma, com o aditivo mais adequado para secagem;

- Monitorar o comportamento das características físico-químicas das espumas durante a secagem.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil tem-se destacado com um percentual significativo no volume de produção mundial de frutas, no entanto, são insignificantes as quantidades de frutas da região Nordeste que são exportadas, como o cajá (*Spondias mombim* L.), umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara), cirigüela (*Spondias purpúrea* L.), mangaba (*Hancornia speciosa* Muell), pitanga (*Eugenia uniflora* L.), jaca (*Artocarpus integrifolia* L.), carambola (*Averrhoa carambola* L.), caju (*Anacardium occidentale* L.), graviola (*Annona muricata* L.), fruta-do-conde (*Annona squamosa* L), embora já se tenha detectado e quantificado o possível mercado consumidor para esses produtos (MATA et al., 2003).

No pico da safra, essas frutas alcançam menores preços pelo excesso de oferta e, pela concorrência de outras frutas, ocorrem grandes perdas. Portanto, faz-se necessária a industrialização, como alternativa para que tais perdas sejam reduzidas.

Segundo Chitarra e Chitarra (1990), a armazenagem das frutas se inicia durante o período de colheita e, a partir desse período, as frutas só perdem qualidade, pois o processo de degradação inicia-se após serem retiradas da planta. Portanto, após esse período, deve-se começar o controle de qualidade do produto, ou submetê-lo ao processamento. Os frutos *in natura* podem ser processados nas formas de polpas, sucos, sucos concentrados, sorvetes, frutas cristalizadas, frutas desidratadas, doces, compotas e geléias.

Dentre as técnicas empregadas para a manutenção da qualidade pós-colheita de frutas, a desidratação, além de ser utilizada como método de conservação, impedindo a deterioração e perdas do valor comercial, resulta, ainda, em uma transformação do produto, agregando valor e dando origem a uma nova opção no mercado (SILVA et al., 2005).

2.1 O Araçá-boi

O araçazeiro-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh), Figura 1, é uma frutífera nativa da Amazônia, que pertence à família *Myrtaceae*, que é a mesma da goiabeira e jabuticabeira. É originária da Amazônia Ocidental, usualmente cultivada em pequena escala no Peru, Bolívia, Equador, Colômbia e Brasil. O araçazeiro-boi é um arbusto que alcança de três a cinco metros de altura e ramificação densa, com copa de igual diâmetro (CHÁVES FLORES; CLEMENT, 1984; EMBRAPA, 2008).

O fruto é uma baga globosa, com casca fina, cor amarela-canário quando maduro, e aveludada, pesando de 30 a 800 g, apresentando formato arredondado ou achatado com diâmetro longitudinal de 5 a 10 cm e transversal de 5 a 12 cm. Sua polpa é suculenta, ácida, de

coloração amarelo-clara, pouco fibrosa, possuindo sementes oblongas de 4 a 10 com 0,5 a 1,0 cm de comprimento (SACRAMENTO et al., 2008).

Figura 1. Araçazeiro-boi e araçá-boi.

Como a polpa do araçá-boi é bastante ácida, não serve para o consumo *in natura*, porém possui aroma e sabor agradáveis podendo ser consumido em forma de sucos, sorvetes, geléias, néctar e outros. Em função do aroma e sabor muito característicos, sua polpa pode ser bastante útil para o preparo desses produtos misturados com polpa de frutas de baixa acidez (ARAÚJO; RIBEIRO, 1996; VILLACHICA et al., 1996; ANDRADE et al., 1997; SACRAMENTO et al., 2008).

O araçazeiro adapta-se bem aos solos de baixa fertilidade, de textura média (argilo-arenosos), profundos e bem drenados. A época de plantio depende da umidade do solo, recomendando-se o período de início de chuvas. Na sua plantação, o espaçamento recomendado é de 3 a 4 metros, servindo, assim, para consorciação com outras espécies que exijam espaçamento maior. Nos locais onde é cultivado o araçazeiro, verificam-se diversas colheitas por ano, disponibilizando, assim, matéria-prima para as indústrias (SACRAMENTO et al., 2008). De acordo com Gentil e Clement (1996), a produtividade do araçazeiro é de 23 t/ha, com uma razão polpa descarte de 63 a 85%.

Em função da precocidade, da freqüência e do grande volume de produção da planta, associados ao sabor característico e agradável da polpa da fruta, o araçá-boi destaca-se como uma das espécies nativas da Amazônia de grande potencial, com perspectivas no desenvolvimento na agroindústria (GENTIL; CLEMENT, 1997).

Apesar das possibilidades de bons negócios que apresenta, o araçá-boi se caracteriza como uma planta de pequenos pomares, pouco plantada comercialmente, o que restringe a oferta de frutos e produtos (FERREIRA; GENTIL, 1999).

A polpa do araçá-boi apresenta excelentes propriedades organolépticas, que lhe conferem o sabor e aroma característicos, possuindo um alto teor de água, proteína, carboidratos e fibras, e um considerável teor de vitaminas e sais minerais (FERREIRA; GENTIL, 1999).

Esses frutos, quando maduros, são muito delicados, amassando-se com facilidade e, portanto, são difíceis de serem transportados por longas distâncias. Quando se dispõe de uma grande quantidade de frutos, recomenda-se que seja feito o beneficiamento da polpa e que esta seja comercializada congelada, para a utilização na obtenção de outros produtos (FERREIRA; GENTIL, 1999).

O araçazeiro é pouco conhecido fora da Amazônia e foi introduzido na região sul da Bahia na década de oitenta, como alternativa de diversificação da lavoura cacaueira, mais ainda é pouco explorado de forma econômica. A região Sul da Bahia caracteriza-se por ter um clima tropical úmido com temperatura e índice pluviométrico que favorecem o cultivo de diversas frutíferas originárias da região Amazônica (SACRAMENTO et al., 2008).

2.2 Espumas e Agentes espumantes

Define-se espuma como um estado de dispersão de bolhas de gás (geralmente ar) suspendidas dentro de um semi-sólido ou de um líquido com uma alta viscosidade. Na elaboração da maioria das espumas, geralmente envolve uma batedura como processo dinâmico altamente energético, que se requer para formar a interface gás-líquido (WALSTRA, 2000).

Existe uma grande variedade de espumas alimentícias com texturas muito diferentes, as mais conhecidas são os cremes e as manteigas batidas, os bolos e pães e as que são produzidas nas cervejarias. As espumas são utilizadas para proporcionar textura, consistência e aparência em diferentes tipos de produtos alimentícios (ARRIAGA-ORIHUELA et al., 2003a; ARRIAGA-ORIHUELA et al., 2003b).

As espumas podem ser classificadas como sólidas ou líquidas. As sólidas são materiais plásticos ou elásticos no qual seu comportamento reológico depende principalmente das propriedades físicas da fase sólida e da densidade do material. As espumas líquidas são mais difíceis de caracterizar, em geral constituem uma fase de ar descontínua que se dispersa em uma fase contínua de líquido, essas são instáveis requerendo o uso de agentes espumante e estabilizantes para manter a estabilidade mediante a redução da tenção superficial (PERNELL et al., 2002)

A estabilidade das espumas depende de dois fatores principais: a tendência de os filmes líquidos sofrerem drenagem e se tornarem mais finos e a tendência à ruptura em conseqüência de perturbações aleatórias. Para aumentar a estabilidade, é necessário o uso de aditivos.

Dentre um grande número de substâncias químicas adicionadas aos alimentos, durante o processo de fabricação, os emulsificantes são utilizados para manter uma dispersão uniforme de um líquido em outro, tal como óleo e água. Esses aditivos são substâncias adicionadas às emulsões para aumentar a sua estabilidade cinética tornando-as razoavelmente estáveis e homogêneas (ARAÚJO, 2004).

A emulsificação tem um papel importante na formação da consistência e textura, bem como na dispersão de fase e na solubilização de aromas. A propriedade de formação e estabilização de emulsões é a principal característica a ser influenciada pela adição de emulsificantes em alimentos controlando a aglomeração de glóbulos de gordura e estabilizando sistemas aerados. Os emulsificantes têm outras aplicações como: melhorar a textura e vida de prateleira de produtos contendo amido, pela formação de complexos com os componentes destes; modificar as propriedades reológicas da farinha de trigo, pela interação com o glúten; melhorar a consistência e textura de produtos à base de gorduras, pelo controle de polimorfismo e da estrutura cristalina das gorduras (SBRT, 2008).

Os principais emulsificantes utilizados pelas indústrias alimentícias são os monoglicerídeos e os ésteres de ácidos lácticos, os quais são selecionados de acordo com suas propriedades. Os monoglicerídeos mais comumente empregados pertencem à categoria dos produtos reconhecidos como seguros. São permitidos em concentrações não-limitadas nas legislações internacionais (KAMEL, 1997).

A albumina do ovo em pó é um alimento hiperprotéico, à base exclusivamente de proteínas de alto valor biológico.

As maltodextrinas são biopolímeros originados da hidrólise parcial do amido e tem extensa utilização como ingrediente por proporcionar características desejáveis a alimentos processados. Maltodextrinas são classificadas pelo seu grau de hidrólise, expresso em dextrose equivalente (DE), que é a porcentagem de açúcares redutores calculados como glicose em relação ao peso seco do amido. Esses polímeros são metabolizados de forma lenta e constante o que pode ajudar a sustentar os níveis de energia durante atividades que necessitam de resistência (MCPHERSON, 1997).

O Emustab® é um produto à base de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60 e a Superliga® é um a produto à base de sacarose e dos espessantes, carboximetil-celulose e goma guar (SOARES, 2001).

2.3 Secagem em leito de espuma

O método de secagem em leito de espuma foi desenvolvido com o intuito de aumentar a taxa de secagem de alimentos líquidos e semi-líquidos. A desidratação em leito de espuma (Foam-Mat) consiste em um processo de conservação, no qual o material líquido ou semi-líquido é transformado numa espuma estável, através de batedura e incorporação de ar ou outro gás, que é submetido à secagem com ar aquecido, até o ponto em que impeça o crescimento de microrganismos, reações químicas e/ou enzimáticas. Esse tipo de secagem consiste basicamente de três etapas: produção do suco ou polpa em forma de uma espuma estável, pela adição de aditivos; secagem do material em uma camada fina de espuma até desidratação final; desintegração da massa seca em escamas e, por fim, em pó (UBOLBI, 1971; TRAVAGLINI et al., 2001).

A secagem em leito de espuma é uma técnica que requer menores temperaturas de desidratação e menor tempo de secagem, devido à maior área de superfície exposta ao ar e à velocidade de secagem, acelerando, assim, o processo de remoção de água e a obtenção de um produto poroso e de fácil reidratação. Logo é muito usada em alimentos sensíveis ao calor, viscosos e com alto índice de açúcar, como os sucos de frutas (RAJKUMAR et al., 2007). Os produtos obtidos são de boa qualidade e o processo tende a ser relativamente rápido (BERISTAIN et al., 1991).

Esse processo de secagem mantém a alta qualidade dos produtos, oferecendo grandes possibilidades comerciais, sendo aplicado em: café, sucos de laranja, *grapefruit*, uva, carambola, abacaxi, umbu-cajá, coco, batatas, alimento para crianças, leites, purês, ameixa, maçã, sopas, cremes, ovos, tomate e outros produtos instantâneos (UBOLBI, 1971; SOARES et al., 2001; VERNON-CARTER et al. 2001; SANKAT; CASTAIGNE, 2004; SILVA et al., 2005).

Essa técnica apresenta como principal desvantagem, em relação a outros meios de secagem de líquidos, a necessidade de grande área de superfície de secagem para que consiga atender a elevadas taxas de produção, o que eleva o custo de investimento (FRANCIS, 2000). Além dessa, outra desvantagem é que os aditivos podem modificar as características de sabor, aroma e cor do alimento. Outra dificuldade relatada por Karim e Wai (1999) é a falta de estabilidade da espuma durante o aquecimento na secagem. Algumas variáveis, como a natureza química das matérias-primas, sólidos solúveis, tipo e concentração de agente espumante, influenciam na estabilidade das espumas (HART et al., 1963).

Gurjão (2006) produziu extrato em pó de tamarindo pelo processo de secagem em leito de espuma utilizando albumina como aditivo, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C e observou que as melhores temperaturas para a secagem da polpa de tamarindo foram 60 e 70°C. O extrato

obtido foi avaliado em relação a cor, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, vitamina C e pH.

Em pesquisa realizada por Soares et al. (2001), foi elaborado um suplemento alimentar em pó, a partir da desidratação da polpa de acerola utilizando o método de secagem em leito de espuma, sendo realizados vários testes, com diferentes agentes químicos, que favorecem a formação de espuma. Para a escolha do agente espumante, o autor optou pelo que mais se aproximou ao parâmetro de densidade recomendado como ideal (0,1 a 0,6), tendo se obtido um pó com 7,2% de umidade.

Bastos (2005) realizou a desidratação de manga "Tommy Atkins" por processo em leito de espuma nas temperaturas de 70 e 85°C, e testou os emulsificantes carboxil-metil celulose, Tween 60, goma xantana e clara de ovos sendo que o tween 60 apresentou uma melhor estabilidade. Posteriormente foram realizadas análises químicas e físico-químicas na polpa *in natura* e desidratada, obtendo-se uma melhor aceitabilidade da polpa seca a 70°C, na análise sensorial.

Galdino et al. (2003) testaram, em polpa de umbu, o processo de secagem em leito de espuma obtendo-se o pó mediante utilização de um emulsionante, composto de monoglicerídeos, monoestearato de sorbina e polisorbato e de espessantes composto de carboximetil-celulose e goma guar. Dantas et al. (2008) usaram como aditivo o Emustab® para a obtenção de polpa de jaca em pó pelo processo de secagem em leito de espuma.

Pinto (2009) utilizou os aditivos albumina, Emustab®, maltodextrina e Superliga® na caracterização da espuma de Jenipapo, para secagem em leito de espuma, e concluiu que o Emustab® foi o aditivo que, nas concentrações usadas, apresentou-se como o melhor para uma posterior secagem. A autora também observou variações no pH, acidez, densidade e outras propriedades da espuma, em função do aditivo usado e de sua concentração.

Falade et al. (2003) estudaram a secagem em leito de espuma de feijão cowpea (*Vigna unguiculata*) em leito de espuma, usando como agentes espumantes monoesterato de glicerol e albumina de ovo. Observaram que a densidade da espuma decresceu com o aumento da concentração dos agentes espumantes e que os sólidos totais decresceram. A análise sensorial mostrou diferenças no sabor, em função da concentração dos aditivos.

Para a predição da redução do teor de umidade, no processo de secagem, seja ele simples ou sofisticado, é necessária uma equação de secagem em camada fina. A gama de equações disponíveis é muito grande e as curvas de secagem que elas originam podem apresentar valores que diferem entre si em até três vezes (HIEN et al., 2003).

Os modelos de secagem em camada fina, que descrevem o fenômeno de secagem de produtos agrícolas, se dividem em três categorias: teóricos, semi-teóricos e empíricos (PANCHARIYA et al., 2000).

O estudo teórico fundamenta-se em equações de transferência simultânea de calor e massa. Nos modelos semi-teóricos, os parâmetros dos modelos teóricos são gerados empiricamente. Os modelos teóricos levam em consideração a resistência interna do material à transferência de umidade, enquanto nos modelos semi-teóricos e empíricos, a resistência externa entre o produto e o ar é que é correlacionada com a transferência de umidade (HENDERSON, 1974). Por outro lado, as equações empíricas dependem somente de dados experimentais sendo, portanto, de mais fácil obtenção e devem ser usados até que se consiga chegar a um modelo semi-teórico ou teórico (AFZAL; ABE, 2000).

2.4 Cinética de secagem de espuma

A transformação de um material líquido ou semi-líquido em espuma tem sido há muito tempo reconhecida como um dos métodos para encurtar o tempo se secagem. Na última década, essa tecnologia relativamente antiga, conhecida como secagem *foam-mat*, recebeu atenção renovada, devido à sua grande capacidade para processar material difícil de secar, obter produtos de propriedades desejadas (por exemplo, fácil reidratação, densidade controlada), e reter os voláteis que, de outra forma, seriam perdidos durante a secagem sem espuma. Assim, os estudos atuais são dirigidos não só a secagem convectiva de material propositalmente espumoso em secadores atomizadores, secadores de bandejas e outros, mas também para a liofilização convencional, bem como a secagem em microondas de espumas congeladas com e sem inserções de dielétricos como fonte complementar de calor (RATTI; KUDRA, 2006).

Em geral, a secagem de material na forma de espuma é mais rápida do que os não espumosos, embora alguns alimentos, como as espumas de soja (AKINTOYE; OGUNTUNDE, 1991) ou carambola (KARIM; CHEE-WAI, 1999) apresentem maiores velocidades de secagem no início da secagem *foam-mat* enquanto outros materiais, como tomate (LEWICKI, 1975), banana (SANKAT; CASTAIGNE, 2004), e manga (COOKE et al., 1976) apresentem taxas de secagem mais altas no final da secagem. Além do transporte acelerado de água líquida para frente de evaporação, os peritos em secagem têm, repetidamente, salientado o aumento da área interfacial dos materiais espumosos como o fator responsável pela redução do tempo de secagem. Isso ocorre porque a densidade do material espumoso é menor que a dos não-espumosos e se estende de 300 a 600 kg/m^3, a carga, em massa de espuma no secador é também menor. No entanto, o tempo de secagem menor não apenas compensa a diminuição da carga no secador, mas também aumenta o caudal do secador. Por exemplo, o caudal de secagem pode ser elevado em 32% quando se seca espuma de suco de maçã e de 22% quando se seca espuma de polpa de manga (RAJKUMAR et al., 2005). Devido à secagem em leito de espuma ser altamente dependente do material e do processo, esses valores podem variar com o tipo de

material a ser seco, o tipo de secador, e as condições de secagem. Além disso, um tempo de secagem mais curto por unidade de massa de espuma pode não levar sempre a um menor consumo de energia e uma melhor economia no processo.

Quando um alimento é desidratado, ele não perde água a uma velocidade constante ao longo do processo. Com o progresso da secagem, sob condições fixas, a taxa de remoção de água diminui. A forma precisa de uma curva de secagem normal varia conforme o alimento, com os diferentes tipos de secadores, e em resposta às variações das condições de secagem tais como a temperatura, a umidade, a velocidade do ar, o sentido do ar, a espessura do alimento, entre outros fatores (MELONI, 2003).

A importância do estudo das curvas de secagem de um produto é que essas indicam a velocidade de remoção de água em qualquer tempo medido a partir do início do processo. Uma maior ou menor inclinação da curva indica a facilidade ou dificuldade de remoção de água durante o processo de secagem (MELONI, 1995).

O período de secagem é comumente dividido em dois, um de velocidade constante e outro de velocidade decrescente. No primeiro período, as transferências de calor e massa são analisadas da superfície do material e ar de secagem, enquanto que, no segundo período, as análises são baseadas nas transferências internas que governam a secagem (PARK et al., 2007).

No período de velocidade constante, a temperatura do material igual à temperatura do ar de secagem e à taxa de secagem permanece constante. Esse período termina quando o material atinge o teor de umidade crítico. No período de velocidade decrescente, a remoção de umidade é muito menor, a taxa de secagem aproxima-se de zero, num certo teor de umidade de equilíbrio (FOUST et al., s.d.).

Predizer teoricamente a taxa de secagem decrescente é mais complexo que a taxa constante, pois devem ser considerados não somente os mecanismos externos de transferência de calor e massa, mas também os internos do produto (BROOKER et al., 1978).

O período de velocidade decrescente é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. A complexidade dos fenômenos, durante a secagem, conduz os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para predizer a taxa de secagem. Essas teorias, conforme Park (1987), podem ser resumidas como sendo derivadas de duas outras teorias; a teoria difusional e a teoria capilar (PARK et al., 2007).

Contudo, a solução analítica do modelo difusional de Fick requer que as condições de contorno sejam conhecidas e que as características de difusividade efetiva (D_{ef}) sejam especificadas. Essas limitações, além da exigência de se conhecer a geometria do material, levam, muitas vezes, ao uso de modelos empíricos ou semi-empíricos.

A taxa de secagem pode ser acelerada com o aumento da temperatura do ar de secagem e/ou com o aumento do fluxo de ar que passa pelo produto por unidade de tempo. A quantidade

de ar utilizada para a secagem depende de vários fatores. Entre eles: a umidade inicial do produto e a espessura da camada (GOUVEIA, 2003).

Vernon-Carter et al. (2001), Sankat e Castaigne (2004) e Dantas et al. (2008), estudando o processo de secagem em leito de espuma para tamarindo, banana e jaca, respectivamente, observaram, na cinética de secagem, perda de umidade à medida em que avança o tempo de secagem, para todas as temperaturas estudadas, com redução maior para as temperaturas mais elevadas. A secagem da polpa de tamarindo e de jaca ocorre no período de taxa decrescente, mostrando que a difusão é provavelmente o mecanismo físico que governa o movimento da umidade do interior das amostras para sua superfície, ou seja, a velocidade da secagem é controlada pela velocidade de difusão do líquido através do sólido, não apresentando um período de taxa constante definido, comportamento observado na maioria dos produtos biológicos (BROD, 2003).

O estudo da cinética de secagem visa o conhecimento do comportamento do material ao longo do processo e a predição do tempo de secagem, uma vez que a modelagem do processo é de grande importância para o desenvolvimento e a otimização dos secadores, além de possibilitar a padronização do processo.

Os modelos semi-teóricos para secagem em camada fina são, geralmente, derivados da simplificação de uma solução em série da segunda lei de Fick. Por exemplo, o modelo de Henderson e Pabis é o primeiro termo de uma solução em série da segunda lei de Fick (DOYMAZ, 2005).

De acordo com Akipinar (2006), os vários modelos existentes devem ser testados para cada cultura e para condições de secagem específicas.

Segundo Kudra e Rattia (2006), a secagem convectiva de suco de maçã pura e na forma de espuma em uma camada de 19 mm a 55°C indicou maiores velocidades de secagem para a espuma que para o suco, o que resultou em menor tempo secagem (500 a 200 min). Devido à estrutura porosa da espuma e a aproximação acelerada do equilíbrio, no final da secagem, é possível obter produto seco em contraste com o suco sem espuma que, no mesmo período de tempo, seca até um estado de xarope. As variações da eficiência de secagem instantânea e cumulativa com o teor de umidade foram semelhantes, mas as curvas de secagem da espuma foram localizadas bem acima dos respectivos sucos. Assim, o consumo de energia para secagem da espuma de suco de maçã foi 20% daquele necessário para a secagem do suco puro, nas vazões de secagem de 0,83 e 0,68 $kg.m^{-2}.H$.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matéria prima

Como matéria prima básica, foram utilizados araçás-boi, em estágio de maturação ideal para consumo, selecionados observando-se critérios de uniformidade do grau de maturação e integridade física. Os frutos foram coletados na Fazenda Ouro Verde, localizada na Vila Brasil, no distrito de Una na região sul da Bahia.

Os frutos foram lavados em água clorada (50 ppm de cloro ativo/15 minutos) e despolpados utilizando um despolpador horizontal de frutas, com 1.700 rpm e peneira com furos de 2,5 mm de diâmetro.

A polpa obtida foi acondicionada em sacos plásticos transparentes para 3 kg e armazenadas em *freezer* para posterior utilização. Após o descongelamento, a polpa foi submetida à pasteurização a 85°C por 3 segundos.

3.2 Caracterização físico-química da polpa de araçá-boi

Para a caracterização físico-química da polpa de araçá-boi, foram realizadas as seguintes análises:

3.2.1 Determinação do teor de água

O teor de água foi quantificado pela diferença de massa da amostra inicial e final após a secagem em estufa a 105ºC por 24 horas, de acordo com técnicas descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (1985), sendo expressa em base úmida (b.u.) pela expressão:

$$Umidade(b.u.) = \frac{mi - mf}{mf} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

mi = massa de polpa inicial (kg)

mf = massa de polpa final (kg)

3.2.2 Acidez total titulável (ATT)

A ATT foi determinada de acordo com método do Instituto de Adolfo Lutz (1985), sendo 10 g de amostra homogeneizadas em 25 ml de água destilada e submetidos à titulação com solução de NaOH 0,01N (padronizada com bifitalato de potássio), utilizando fenolftaleína 1% como indicador. Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico, utilizando a seguinte fórmula:

$$Ácido_Cítrico(\%) = \frac{V \times f \times 100}{m \times 100} \quad (4)$$

Onde:

V = volume de NaOH gasto na titulação (ml);

f = fator de correção (0,97943);

m = massa da amostra (g).

3.2.3 Determinação do pH

O pH foi determinado usando-se cerca de 5 g da amostra diluída em 10 ml de água destilada, até obtenção de uma mistura homogênea, com medição diretamente em pHmetro de bancada da marca Quimis 0,01, devidamente calibrado com solução tampão de pH 4,0 e 7,0.

3.2.4 Determinação do teor de sólidos solúveis (SS)

O teor de SS, expresso em ºBrix, foi determinado pelo método proposto pela AOAC (1990). Usou-se para esta análise um refratômetro portátil Alago Hand refractometer, 0,2%, com escala de 0ºBrix a 32ºBrix, devidamente aferido com água destilada. Uma alíquota da amostra diluída em 1:10 de polpa de araçá-boi em água destilada foi colocada sobre o prisma do aparelho e procedeu-se a leitura direta do índice refratométrico indicado pelo aparelho.

3.2.5 Determinação da massa específica

Para a determinação da massa específica aparente, utilizou-se balão volumétrico de 10 mL e precisão de 0,1 ml, devidamente aferido com água destilada a 25ºC. A amostra foi colocada no balão volumétrico até o volume desejado e este foi pesado para que se tenha a massa por volume (g/cm^3).

3.2.6 Determinação da atividade de água (Aw)

A atividade de água foi determinada por meio do aparelho Aqualab-TE da Decagon Devices, com precisão de 0,003, na temperatura de 25ºC. Este aparelho usa o método da temperatura do ponto de orvalho por resfriamento e condensação em espelho, para determinar a atividade de água.

3.2.7 Determinação da cor

A cor foi medida por meio de análise direta em um colorímetro Color Quest XE (Hunter Lab, 10nm), conectado a um computador com sistema de *software* instalado.

A cor foi determinada pela escala de cores internacional (CIE - Commisione Internationale em Iluminationne), que utiliza as coordenadas: L* que representa a luminosidade variando do branco (100) ao preto (0); a* que representa a transição da cor verde (-a*) para a cor vermelha (+a*) e b* que representa a transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*).

3.2.8 Determinação de açúcares totais (redutores e não redutores)

Os açúcares redutores e totais foram determinados seguindo o método descrito no Instituto Adolf Lutz (1985). Para a determinação dos açúcares redutores, utilizou-se a amostra contendo açúcares redutores como agente titulante, e o aparecimento de precipitado vermelho na solução de Fehlinga A e B (10 mL) adicionada de água (40 mL) como indicador do ponto de viragem. Na determinação dos açúcares totais, a inversão da sacarose pela hidrolise ácida e que, após aquecimento em banho-maria, é neutralizada com hidróxido de sódio 30% até mudança de pH. Após esse processo, a quantificação dos açúcares totais foi feita como a análise descrita para açúcares redutores.

3.2.9 Determinação de vitamina C

O teor de vitamina C foi quantificado através do método de titulação da solução de ácido ascórbico com iodato de potássio, de acordo com as técnicas descritas pelo Instituto Adolf Lutz (1985).

$$Vit_C(\frac{mg}{100g}) = \frac{V \times f}{P} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

V = volume gasto do iodato de potássio (ml);

f = fator de correção (0,8806);

P = massa da amostra (g).

Todas as análises de caracterização da polpa de araçá-boi foram realizadas em triplicata e em três repetições.

3.3 Processo de formação e caracterização da espuma

Para a formação das espumas, foram utilizados os seguintes aditivos: albumina (produto à base da proteína do ovo); Emustab® (produto à base de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60); Superliga® (produto à base de sacarose e dos espessantes, carboximetil-celulose e goma guar) e maltodextrina (produto à base de amido de milho). Esses aditivos foram usados proporções de 5, 10, 15 e 20% em massa.

Foram adicionados à polpa de araçá-boi (100 gr) os aditivos na concentração desejada e essa mistura foi submetida à agitação, em uma batedeira doméstica, por 15 minutos, para a obtenção da espuma.

A espuma formada da polpa de araçá-boi foi submetida às seguintes análises para sua caracterização:

3.3.1 Determinação de ATT, pH, SS, Massa Específica, Cor, Aw, Umidade, Açúcares totais e redutores e Vitamina C

Essas análises foram feitas seguindo as técnicas já descritas no item 3.2 para a caracterização da polpa de araçá-boi *in natura*.

3.3.2 Determinação da estabilidade

A estabilidade das espumas foi determinada baseando-se em duas técnicas diferentes: a primeira, à temperatura ambiente, preconizada por Baptista (2002), em que foi montado um sistema constituído de um *becker*, com um funil de vidro acoplado e um filtro de tela aço inox, onde 10g da espuma foi colocada no funil contendo o filtro. Esse sistema foi deixado em repouso por 2 horas sendo o filtrado pesado a cada 30 minutos. A segunda análise, usada por Sankat e Castaigne (2003), foi feita na temperatura de secagem, 70ºC por 120 minutos. Para tal, usou-se um cilindro graduado com 20 cm^3 de amostra, sendo avaliada a porcentagem de espuma coalescida em relação ao volume inicial.

Todas as análises foram realizadas em triplicata e em três repetições.

3.4 Análise dos dados

Os resultados obtidos na caracterização das espumas da polpa de araçá-boi foram submetidos à análise de regressão na qual as variáveis independentes são as concentrações dos agentes espumantes e as variáveis dependentes cada uma das obtidas nas análises.

3.5 Secagem em leito de espuma

Para a secagem das espumas, foram feitos ensaios prévios utilizando-se os aditivos nas concentrações estudadas (5, 10, 15 e 20%). Destes, somente para as espumas produzidas com albumina houve formação de pó após a secagem.

O fluxograma abaixo apresenta o processo da secagem em leito de espuma de polpa de araçá-boi (Figura 2).

A espuma formada devido ao batimento da polpa de araçá-boi com o albumina foi espalhada sobre bandejas com estrutura de alumínio e tela de *naylon*, formando uma camada fina com cerca de 5,0 mm de espessura. As bandejas foram levadas para secagem em um secador convectivo laboratorial conjugado a um ventilador de fluxo centrífugo.

O secador utilizado neste trabalho foi desenvolvido na UESB e para sua construção usaram-se chapas de madeira aglomerada revestidas com chapas de alumínio e espuma de poliuretano e revestimento externo em PVC.

O secador é composto de quatro orifícios circulares para entrada ou saída de ar, sendo que, para este experimento, usou-se somente a entrada inferior e saída superior de ar (Figura 3) de forma que o fluxo fosse vertical de baixo para cima.

Polpa de araçá-boi *in natura*

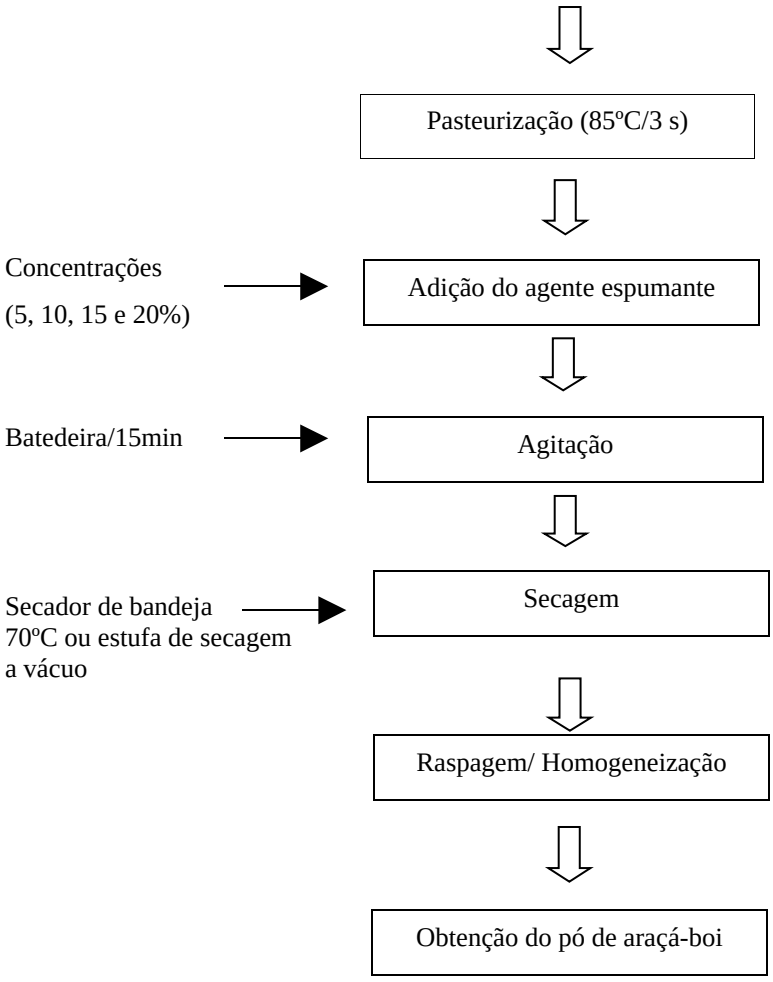

Figura 2. Fluxograma do processo de secagem de espuma de araçá-boi.

O ar de secagem foi insuflado por um ventilador centrífugo acionado por motor de 2CV, trifásico de 60 Hz e rotação máxima de 3.370 rpm. A rotação do motor foi controlada por meio de um inversor de freqüência (Figura 4-a). A velocidade do ar de secagem foi monitorada por um anemômetro digital de pás rotativas, modelo Thal-300 da Instrutherm, com precisão de ± 3% utilizado no ajuste do inversor de freqüência.

Figura 3. Secador usado no experimento.

O aquecimento do ar foi feito por resistência elétrica de 3.000 Watts colocada na tubulação imediatamente antes da câmara de secagem. O controle da temperatura do ar de aquecimento foi feito por um controlador digital de temperatura da marca Fullgauge, modelo TIC 107, com precisão de 0,01^{o}C, conectado a uma chave contactora, que liga e desliga o sistema de resistência quando o sensor atinge a temperatura ajustada para secagem (Figura 4-b).

O sensor para controle da temperatura foi colocado acima da última badeja, no sentido da passagem do ar.

Na câmara de secagem, foram colocadas 5 bandejas retangulares distanciadas cerca de 10 cm (Figura 4-c).

A velocidade do ar de secagem foi medida e monitorada periodicamente, por meio de um anenômetro digital de pás rotativas com precisão de ±3%.

A temperatura do ar de secagem foi de 70ºC, com uma velocidade do ar de 4,3 m/s, na saída do secador, correspondente a uma vazão de 0,337 m^3/s.

Amostras do material foram coletas a cada 15 minutos, durante toda a secagem, para determinação de atividade de água e teor de sólidos solúveis. A perda de umidade das amostras foi determinada por pesagem das bandejas, retiradas da câmara de secagem, em intervalos de 15 minutos, sendo recolocadas rapidamente no secador após a pesagem em uma balança eletrônica com precisão de 0,01 g, adotando como critério de parada do processo a obtenção de pesos iguais das bandejas entre três pesagens sucessivas.

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 4. Partes do secador usado no experimento:
(a) Ventilador e inversor de frequência; (b) Controlador de temperatura; (c) Bandeja; (d) Interior do secador.

A polpa *in natura* também foi submetida a secagem na mesma temperatura das polpas (70ºC) pelo tempo equivalente ao tempo necessário para as espumas atingirem o teor de umidade de equilíbrio (4 horas).

Após a secagem, a espuma de araçá-boi se apresentou na forma desidratada de consistência leve e esponjosa. Então, o produto desidratado foi retirado das bandejas e homogeneizado em um liquidificador doméstico, obtendo-se o pó da polpa de araçá-boi.

Para as análises físico-químicas do produto final, após se conhecer a cinética da secagem, procedeu-se a nova secagem do material, ate 0,35 de atividade de água.

3.6 Cinética de secagem

Neste trabalho, foram testados os modelos matemáticos citados por Akipinar (2005) descritos na Tabela 1.

Entre os critérios de seleção da melhor equação, foram usados, pela ordem, o coeficiente de determinação R^2 (GUARTE, 1996; MIDILLI et al., 2002), sendo eliminados os modelos que apresentaram valores de R^2 menores que ou iguais a 0,95, a estatística $\chi 2$ (MIDILLI; KUCUK, 2003), sendo eliminados os modelos para os quais se obteve $\chi 2 \geq 0{,}01$, a raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) (CHAVES, 1999), sendo eliminados os modelos com RMSE $\geq$ 0,1 e o erro médio (MBE), neste caso, eliminou-se os modelos com MBE $\geq$ 0,01. Eliminou-se o modelo como um todo, ainda que o critério de eliminação ocorresse em apenas uma temperatura ou concentração do agente espumante, entendendo-se que o modelo deve se ajustar a toda a base de dados.

Tabela 1. Modelos de equações de secagem testados

NOME DO MODELO	EQUAÇÃO
Lewis	$MR = \exp[-kt]$
Page	$MR = \exp[-kt^n]$
Page modificado	$MR = \exp[-(kt)^n]$
Henderson e Pabis	$MR = a\exp[-kt]$
Henderson e Pabis modificado	$MR = a\exp[-kt] + b\exp[-gt] + c\exp[-ht]$
Logarítmico	$MR = a\exp[-kt] + c$
Exponencial de dois termos I	$MR = a\exp[-k_0 t] + b\exp[-k_1 t]$
Exponencial de dois termos II	$MR = a\exp[-kt] + (1-a)\exp[-kat]$
Wang e Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
Difusão aproximada	$MR = a\exp[-kt] + (1-a)\exp[-kbt]$
Verna et al.	$MR = a\exp[-kt] + (1-a)\exp[-gt]$
Midilli e Kucuk	$MR = \exp[-kt^n] + bt$

3.7 Relação entre atividade de água e umidade, no processo de secagem da espuma

Para a relação entre a atividade de água e a umidade, foram testados os modelos matemáticos citados por Cassini (2004), apresentados na Tabela 2. Estes modelos encontram-se entre os mais relevantes na descrição das isotermas de sorção de produtos alimentícios. Na

tabela, Xeq e Xm são, respectivamente, os teores de umidade no equilíbrio e de monocamada. Xin, é a umidade de equilíbrio equivalente a uma atividade de água de 0,5 e A, b, B, KH, K1, K2, K3, K4, K5, n1, n2 e p são constantes dos modelos apresentados.

Tabela 2. Modelos comumente utilizados na predição de isotermas de sorção de produtos alimentícios (umidade de equilíbrio em função da atividade de água)

MODELO*	EXPRESSÃO
Oswin	$X_{eq} = A\left(\frac{Aw}{1 - Aw}\right)^{b}$
Halsey	$Aw = \exp(\frac{- A}{X_{eq}^{B}})$
Henderson	$(1 - Aw) = \exp(K_H X_{eq}^{V}$
Iglesias-chirife	$\ln(X_{eq} + (X_{eq}^{2} + X_{in})^{0,5}) = bAw + p$
D´arcy Watt	$X_{eq} = \frac{K_1 K_2 Aw}{1 + K_1 Aw} + K_5 Aw + \frac{K_3 K_4 Aw}{1 - K_3 Aw}$
Peleg	$K_{eq} = K_1 Aw^{n1} + K_2 Aw^{n2}$

FONTE: Cassini (2004).

3.8 Caracterização físico-química do pó da polpa de araçá-boi

As determinações do pH, SS, cor, Aw e umidade, foram feitas seguindo a mesma metodologia usada na caracterização da polpa de araçá-boi *in natura* e da espuma descrita nos itens 3.2 e 3.3 respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da matéria-prima

As características físico-químicas da polpa de araçá-boi encontram-se na Tabela 3. Os valores apresentados na tabela são valores médios das análises de caracterização da matéria-prima realizadas em triplicata, de acordo com a metodologia descrita no item 3.2.

Tabela 3. Valores médios referentes às propriedades físico-químicas da polpa de araçá-boi

Características	Valores médios
Umidade (% base úmida)	86,96
pH	2,71
Acidez total titulável (% ácido cítrico) (ATT)	3,62
Sólidos Solúveis (ºBrix)	6,36
Relação SS/ATT	1,75
Densidade (g/cm^3)	1,11
Atividade de água	0,994
Açúcares solúveis totais (%)	6,846
Açúcares redutores (%)	4,439
Cor	
L*	63,59
a*	10,97
b*	44,71
ΔE*	78,43
Vitamina C (mg/100g)	1,20

O teor de umidade da polpa de araçá-boi encontrada neste trabalho (86,96 b.u) foi inferior ao encontrado por Oliveira (2006), que foi 93,96. Esta diferença pode estar associada a uma série de fatores, como época da colheita, quantidade de água disponível no solo etc.

Em relação ao pH, o valor encontrado (2,71) foi próximo aos encontrados por Sacramento et al. (2008) e Oliveira (2006), 2,28 e 2,77 respectivamente, comprovando, assim, a alta acidez da polpa de araçá-boi.

Para o teor de sólidos solúveis totais, que é um indicador do grau de doçura das frutas, foi encontrado um valor intermediário aos padrões de identidade e qualidade da polpa de algumas frutas tropicais como acerola 5,5 ºBrix e o cajá de 9,0 ºBrix (M.A.P.A.). Segundo Haminiuk (2005), foi encontrado para outras espécies de araçá, como a *Psidium cattlleianum sabine*, ºBrix de 11,40, porém o valor encontrado neste trabalho de 6,36 ºBrix um pouco superior ao encontrado por Sacramento et al. (2008) e Andrade et al. (1989), 5,54 e 4,0 ºBrix respectivamente. Esse resultado pode ter relação com o tipo de a adubação, época de colheita e estado de maturação dos frutos.

A polpa de araçá-boi apresentou alta porcentagem de acidez (3,62%) quando comparada com os padrões de identidade e qualidade de algumas polpas de frutas cítricas como a acerola e o cajá segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2000), de 0,80 e 0,90% respectivamente. A relação solúveis/acidez total titulável (SS/ATT) propicia uma boa avaliação

do sabor dos frutos, sendo mais representativa do que a medição isolada de açúcares e de acidez, e representa o equilíbrio entre os sólidos solúveis e a acidez total titulável (CHITARRA; CHITARRA, 1990), sendo a relação SS/ATT encontrada relativamente baixa 1,75.

Neste estudo, foi encontrado, para a polpa congelada, o valor de 1,2002 mg de vitamina C por 100 g de polpa, que foi superior ao encontrado por Sacramento et al. (2008), de 0,53 mg/100 g, para frutos cultivados na região Sul da Bahia; essa diferença pode ser devido a diferenças nas condições discutidas acima. Em Manaus, Andrade et al. (1989), encontraram frutos de araçá em estado de maturação comercial contendo 101,1 mg de vitamina C por100 g de polpa e Andrade et al. (2002), em estudo de determinação de vitamina C em três frutos tropicais verificaram para o araçá-boi uma faixa de 100 – 300 mg por 100 g, concluindo que o araçá-boi é uma fonte rica de vitamina C. Porém a quantidade de vitamina C não é constante na polpa dos frutos em decorrência da sensibilidade aos fatores de cultivo (solo, clima e variedade), das condições climáticas predominantes no ciclo do cultivo, do manejo da planta e do estágio de maturação dos frutos.

Sacramento et al. (2008) encontraram valores de açúcares redutores para a polpa de araçá-boi de 1,05% sendo inferior ao encontrado no presente trabalho e um pouco superior ao encontrado por Oliveira (2006). O aumento da concentração de açúcares redutores pode ser devido ao processo de pasteurização que a polpa sofreu, hidrolisando, assim, a sacarose (açúcar não redutor) em frutose e glicose (açúcares redutores).

As frutas possuem grande teor de água disponível e o controle desses parâmetros deve ser acompanhado, principalmente no desenvolvimento de frutas desidratadas, pois são indicativos de ambiente favorável para o desenvolvimento microbiano e conseqüentemente para a degradação do fruto. O valor da atividade de água da polpa de araçá-boi encontrado foi elevado e próximo ao valor de outras polpas de frutas como a pitanga, em estudos realizados por Lopes (2005).

Na determinação da cor da polpa de araçá-boi, foram avaliadas as coordenada L*, a*, b* e ΔE*. Verificaram-se valores positivos para as coordenadas a* e b*, indicando tendência para tonalidades de vermelho e amarelo. A luminosidade (L*) indica uma tendência de uma polpa de araçá-boi mais clara.

4.2 Propriedades físico-químicas das espumas de polpa de araçá-boi em função da concentração dos aditivos

4.2.1 Acidez total titulável (% ácido cítrico)

Observa-se na Figura 5 que, para a acidez titulável, todos os aditivos usados na formação das espumas promoveram diminuição da mesma com o aumento das suas concentrações.

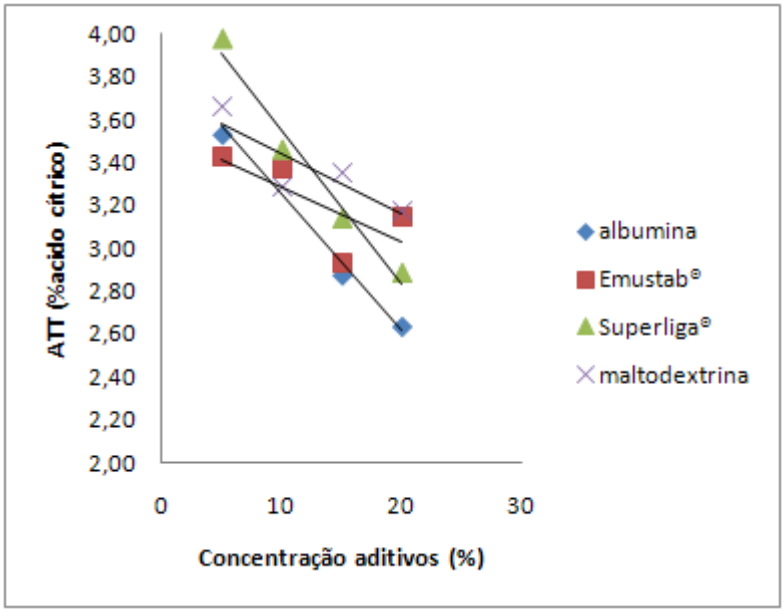

Figura 5. Acidez total titulável da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

Para cada aditivo usado, foi ajustado um modelo linear, relacionando a acidez com as concentrações, no formato de:

$$ACIDEZ = a \times C + b \quad (8)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b** = constantes obtidas por análise de regressão.

Na Tabela 4, observando-se os coeficientes dos modelos obtidos, observa-se que, para o Emustab® e a maltodextrina, não apresentaram efeito significativo da concentração na acidez da espuma da polpa de araçá-boi ao nível de 1% de probabilidade. Logo, o uso desses aditivos não altera a acidez característica da polpa de araçá-boi. Para os aditivos albumina e Superliga®, o modelo linear ajustado foi significativo ($p<0,01$), diminuindo a acidez, em % de ácido cítrico, com o aumento das suas concentrações.

Tabela 4. Coeficientes da análise de regressão para a acidez da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos

Aditivos	Termo	Coeficiente	p

Albumina	Intercepto	3,893	<0.0001
	Inclinação	-6,366	<0.0001
Emustab®	Intercepto	3,661	<0.0001
	Inclinação	-3,268	0,0284
Maltodextrina	Intercepto	3,606	<0.0001
	Inclinação	-1,807	0,1754
Superliga®	Intercepto	4,264	<0.0001
	Inclinação	-7,18	<0.0001

4.2.2 pH

Para o pH (Figura 6), o aumento da concentração dos aditivos usados na formação das espumas de polpa de araçá-boi não influenciou o pH da polpa ficando aproximadamente constante para as espumas formadas, com exceção do aditivo albumina, para a qual o pH aumentou com o aumento da sua concentração.

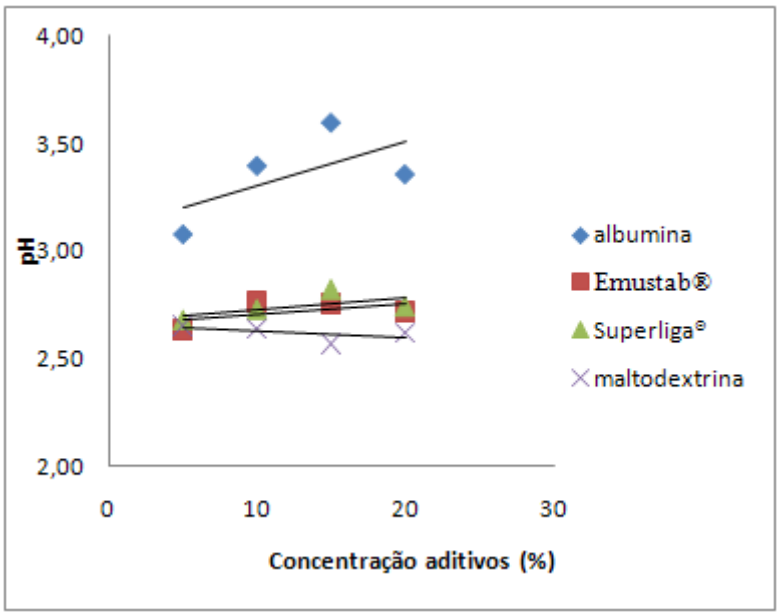

Figura 6. pH da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

Os valores médios de pH para as espuma de araçá-boi com Emustab®, Superliga® e maltodextrina foram 2,72, 2,74 e 2,62 respectivamente. Os valores médios encontrados para essas espumas não diferenciaram do valor do pH da polpa de araçá-boi *in natura* (2,71), sendo que a maltodextrina diminuiu um pouco o pH proveniente devido a alguma liberação de ácido do aditivo. Soares et al. (2001) também não encontraram diferença no pH das espumas e da polpa *in natura* de acerola, usando Emustab® e Superliga® como agente espumante.

Para a albumina, ajustou-se uma equação de regressão linear, semelhante à ajustada para a acidez, dada por:

$$pH = a \times C + b \quad (9)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b** = constantes obtidas por análise de regressão.

O valor do pH da espuma de araçá-boi formada com albumina aumentou com o aumento da sua concentração devido ao valor do pH da albumina ser maior que os dos demais aditivos (9,87). Os coeficientes do modelo ajustado para o aditivo albumina estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Termos e análise de variância da regressão linear entre o pH e a concentração para a albumina

Termo	Coeficiente	P
Intercepto	2,878	<0.0001
Inclinação	4,662	<0.0001

4.2.3 Sólidos solúveis (ºBrix)

Na Figura 7, são apresentados os sólidos solúveis das espumas da polpa de araçá-boi em função das concentrações dos aditivos usados. Pode-se observar que apenas o Emustab® não apresentou acréscimo significativo com o aumento da concentração dos aditivos sendo o valor médio do teor de sólidos solúveis desse aditivo de 9,77.

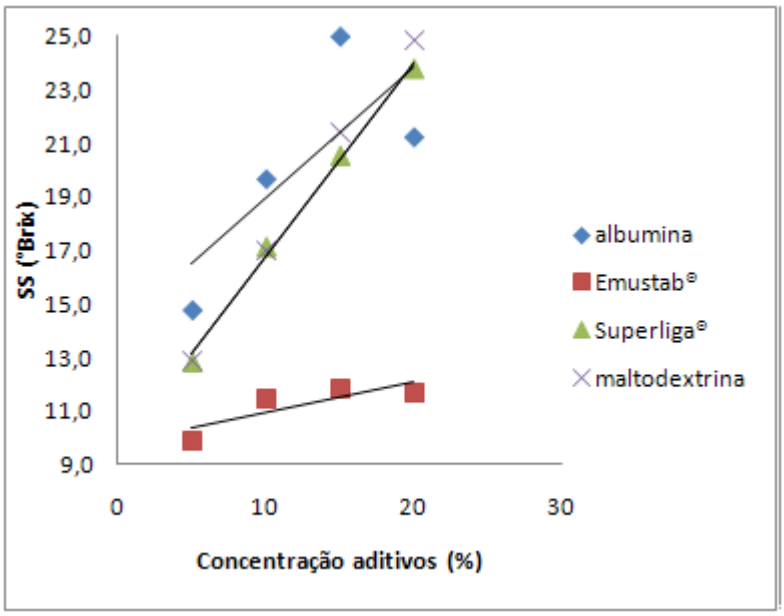

Figura 7. Sólidos solúveis da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

Os aditivos albumina, Superliga® e maltodextrina promoveram o aumento no valor dos sólidos solúveis quando comparados com o valor da polpa de araçá-boi *in natura* (6,36ºBrix), uma vez que o valor dos sólidos solúveis dos aditivos é superior ao da polpa. O aumento dos sólidos solúveis torna-se importante, pois pode promover alterações sensoriais e nutricionais no produto final.

Ajustou-se de uma equação linear do tipo:

$$BRIX = a \times C + b \quad (10)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b =** constantes obtidas por análise de regressão

Na Tabela 6, são mostrados os coeficientes ajustados para cada aditivo usado, bem como o coeficiente de determinação, de cada modelo. Observa-se que os termos do coeficiente angular são positivos, ou seja, o aumento da concentração dos aditivos aumentou o valor dos sólidos solúveis, das espumas.

Tabela 6. Coeficientes da análise de regressão para o teor de sólidos solúveis da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina e Superliga®

Aditivos	Termo	Coeficiente	p
Albumina	Intercepto	14,02	<0.0001
	Inclinação	66,34	<0.0001
Maltodextrina	Intercepto	8,99	<0.0001
	Inclinação	80,27	<0.0001
Superliga®	Intercepto	9,5	<0.0001
	Inclinação	72,53	<0.0001

4.2.4 Massa específica (g/cm³)

Na Figura 8, é mostrada a massa específica da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e das concentrações usadas. Observa-se que, para a albumina e Superliga®, não houve efeito da concentração sobre a massa específica sendo a média geral da massa específica

da espuma de polpa de araçá-boi; com estes aditivos, de 1,09 e 1,12 g/cm^3, respectivamente, também não houve diferença da massa específica em relação à polpa *in natura* que foi de 1,11 g/cm^3. Porém Thuwapanichayanan et al. (2008) encontraram valores de 0,3, 0,5 e 0,7 g/cm^3 para a massa específica das espumas de purê de banana formadas com albumina nas concentrações de 10, 5 e 2% respectivamente, indicando que, quanto maior a concentração do agente espumante, menor será a densidade. Porém, neste trabalho, esse efeito só foi observado para o Emustab®, que apresentou valores de 0,91, 0,76, 0,69 0,59 g/cm^3 para as concentrações de 5, 10, 15 e 20% respectivamente.

Durante a batedura de um líquido com aditivos espumantes o ar é transferido para esse líquido formando, assim, bolhas de ar que conseqüentemente diminuem a massa específica das espumas formadas.

Thuwapanichayanan et al. (2008) estudaram a influência da massa específica da espuma de purê de banana na secagem para a obtenção do pó e observaram que, quanto menor a massa específica das espumas, mais rápido e mais fácil é a difusão da água através da espuma na secagem.

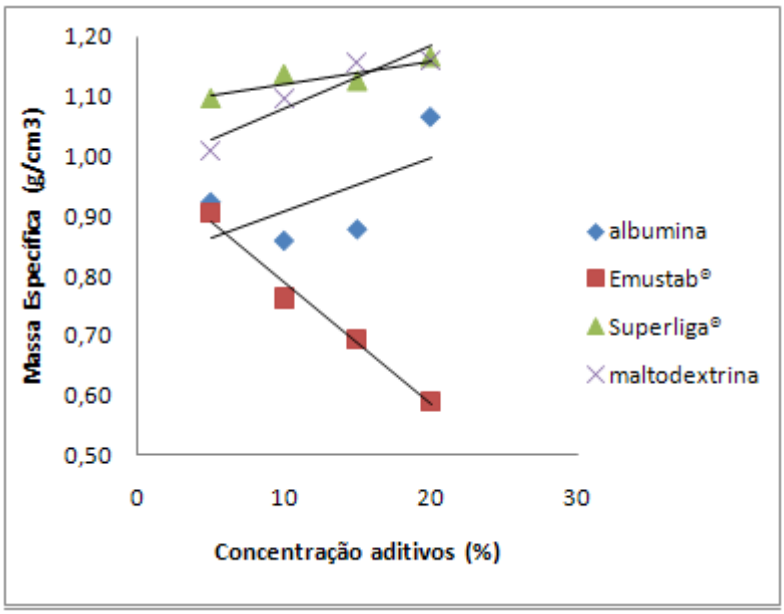

Figura 8. Massa específica da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

Para o Emustab® e a maltodextrina, observou-se o efeito linear da concentração. Contudo, os efeitos desses aditivos sobre a espuma foram distintos: o aumento da concentração de maltodextrina aumentou a massa específica da espuma, ocorrendo o contrário, com o Emustab®. Karim e Wai (1999), em estudos com secagem em leito de espuma da polpa de carambola usando metilcelulose como agente espumante, verificaram que a massa específica da espuma diminuía com o aumento da concentração de metilcelulose, resultado observado com o

uso do Emustab®. Em outros estudos, houve a sugestão de que a alta viscosidade do líquido impediria a armazenagem do ar durante a batedura mecânica. Logo, quando Karim e Wai (1999) aumentaram a concentração do metilcelulose, a viscosidade da mistura também aumentou, possivelmente sendo superior a viscosidade em que o limite máximo de volume de ar pode ser incorporado, resultando, assim, em uma massa específica maior da espuma.

Soares et al. (2001), utilizando Pectina cítrica®, Emustab® e Superliga® com agente espumante conseguiram reduzir a massa específica da polpa de acerola para 0,51g/cm^3, após 20 minutos de batimento.

Pinto (2009), secando espuma de polpa de jenipapo, usando os mesmo aditivos deste trabalho como agente espumante, observou o mesmo comportamento, ou seja, a albumina e a Superliga® não apresentaram efeito na massa específica da espuma em relação à concentração e a maltodextrina e o Emustab® apresentaram efeitos contrários, enquanto que, com o aumento da concentração da maltodextrina, a massa específica da espuma aumentou o Emustab®, diminuiu a massa específica da espuma com o aumento das concentrações.

Também para a massa específica foi ajustado um modelo do tipo:

$$MASSA_ESPECÍFICA = a \times C + b \quad (11)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b** = constantes obtidas por análise de regressão

Na Tabela 7, são mostrados os coeficientes do modelo para a maltodextrina e o Emustab®. Observa-se que o termo do coeficiente de inclinação para a Emustab® foi negativo indicando que com o aumento da concentração da maltodextrina houve uma diminuição na densidade. Esse resultado é o mais adequado para uma posterior secagem, pois, quanto menor a massa específica, mais rápido e mais fácil torna-se o método de secagem em leito de espuma. O resultado da maltodextrina já era esperado uma vez que esse aditivo é de caráter espessante e não de formação de espuma.

Tabela 7. Coeficientes da análise de regressão para a massa específica da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos Emustab® e Maltodextrina

Aditivos	Termo	Coeficiente	P
Emustab®	Intercepto	0,9918	<0.0001
	Inclinação	-2,034	<0.0001
Maltodextrina	Intercepto	0,9654	<0.0001
	Inclinação	1,192	0,0003

4.2.5 Estabilidade

O estudo da estabilidade das espumas define a concentração mínima de aditivos, ideal para uso do método de secagem em leito de espuma. Para os aditivos estudados, albumina, maltodextrina, Superliga® e Emustab®, a estabilidade das espumas foi mantida constante nas diferentes concentrações e temperaturas (25 e 70ºC). Karim e Wai (1999) observaram que, para as espumas de carambola, a estabilidade aumentou com o aumento da concentração do aditivo usando o metil celulose a 5%, porém não atingiram 100% da estabilidade das espumas para as concentrações estudadas. Bastos et al. (2005) estudaram a estabilidade das espumas de manga utilizando o Tween 60® em diferentes concentrações e observaram que houve um aumento na estabilidade das espumas para todas as concentrações testadas. Determinaram um nível mínimo de 0,5% do agente estabilizante necessário para a produção da espuma, com estabilidade adequada para o processo de secagem.

Portanto, mesmo o uso da menor concentração dos aditivos estudados (5%) produziu espumas estáveis sem a formação de coalescido que dificultam a posterior secagem.

4.2.6 Atividade de água (Aw)

Na Figura 9, é apresentada a relação entre a concentração do aditivo e a atividade de água, para as espumas de polpa de araçá-boi com os diferentes agentes espumantes.

Observa-se que, para a espuma formada por Emustab®, não houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade da concentração sobre a atividade de água, cujo valor médio foi de 0,992. Para os demais aditivos, a atividade de água diminuiu com o aumento da concentração do agente sendo a taxa de decréscimo aproximadamente igual para a albumina e a maltodextrina e mais acentuada para a Superliga® devido à alta concentração de solutos destes aditivos (10, 8,8 e 8ºBrix) respectivamente.

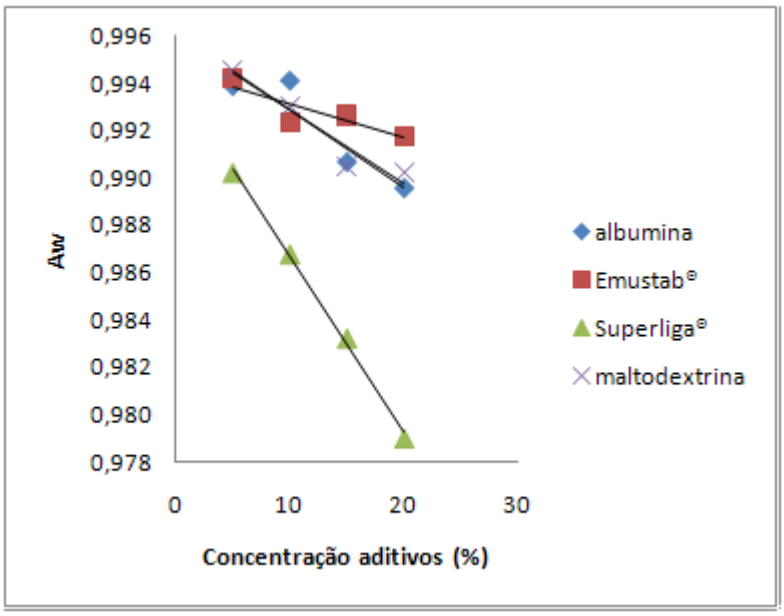

Figura 9. Atividade de água da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

Apesar de a albumina apresentar maior valor de sólidos solúveis, foi a Superliga® que mais reduziu a atividade de água das espumas. Segundo Diniz et al. (2003), é o tamanho e o peso das moléculas que tem a capacidade de redução da atividade de água e não a quantidade de sólidos.

A redução da atividade de água das espumas é favorável, pois poderá reduzir o tempo da secagem posterior.

O modelo ajustado para a atividade de água em função da concentração do agente espumante é dado por:

$$Aw = a \times C + b \qquad (12)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b** = constantes obtidas por análise de regressão

Na Tabela 8 são mostrados os resultados da análise de regressão linear para a relação entre a atividade de água e concentração dos aditivos albumina, maltodextrina e Superliga®. O modelo linear ajustou-se bem aos dados. Pode-se observar através dos termos negativos do coeficiente angular que, com o aumento da concentração dos aditivos, o valor da atividade de água das espumas reduziu.

Tabela 8. Coeficientes da análise de regressão para a atividade de água da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina.e Superliga®.

Aditivos	Termo	Coeficiente	p
Albumina	Intercepto	0,9964	<0.0001
	Inclinação	-0,03333	<0.0001
Maltodextrina	Intercepto	0,9961	<0.0001
	Inclinação	-0,03267	<0.0001
Superliga®	Intercepto	0,994	<0.0001
	Inclinação	-0,07433	<0.0001

4.2.7 Umidade (%b.u.)

Observa-se (Figura 10) que a umidade das espumas de araçá-boi diminuiu com o aumento das concentrações dos aditivos usados. A maltodextrina, albumina e Superliga® apresentaram considerável redução da umidade das espumas enquanto que o Emustab® mostrou um comportamento discreto na redução da umidade.

Semelhante a atividade de água a Superliga® foi o aditivo que mais reduziu a umidade da espuma com o aumento da sua concentração.

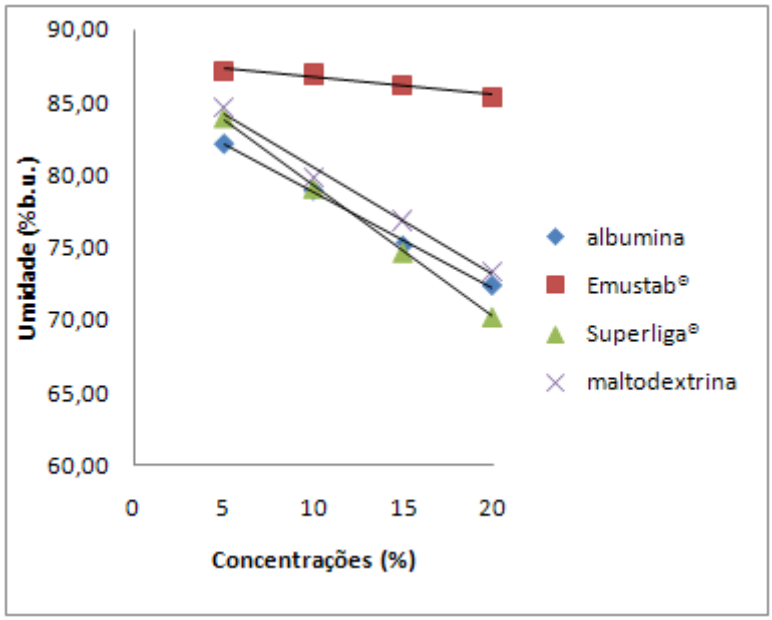

Figura 10. Umidade (base úmida) da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

O modelo ajustado para a umidade das espumas de araçá-boi, em função da concentração dos diferentes agentes espumantes é dado por:

$$Umidade = a \times C + b \quad (13)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b** = constantes obtidas por análise de regressão

Na Tabela 9, estão os coeficientes dos termos do modelo ajustado para a umidade das espumas.

Para todos os aditivos usados, houve efeito significativo ($p<0,01$) e os coeficientes angulares foram negativos, indicando a diminuição da umidade com o aumento da concentração dos aditivos.

Tabela 9. Coeficientes da análise de regressão para umidade da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina e Superliga®

Aditivos	Termo	Coeficiente	p
Albumina	Intercepto	85,492	<0.0001
	Inclinação	-0,9286	<0.0001
Maltodextrina	Intercepto	87,878	<0.0001
	Inclinação	-0,9924	<0.0001
Emustab®	Intercepto	87,9183	<0.0001
	Inclinação	-0,9534	<0.0001
Superliga®	Intercepto	88,305	<0.0001
	Inclinação	-0,9945	<0.0001

4.2.8 Açúcares redutores e totais

Os teores de açúcares redutores e totais das espumas da polpa de araçá-boi em relação às concentrações dos aditivos usados podem ser observados na Figura 11.

Observa-se que, tanto para o açúcar redutor como para os açúcares totais, houve um ligeiro aumento com o aumento da concentração dos aditivos, sendo que a maltodextrina apresentou mudanças mais intensas nos teores de açúcar redutor e total, devido a esse aditivo ser composto por glicose, que é um açúcar redutor. A maltodextrina também provocou grande modificação nos teores de açúcar redutor e total da polpa *in natura* de araçá-boi.

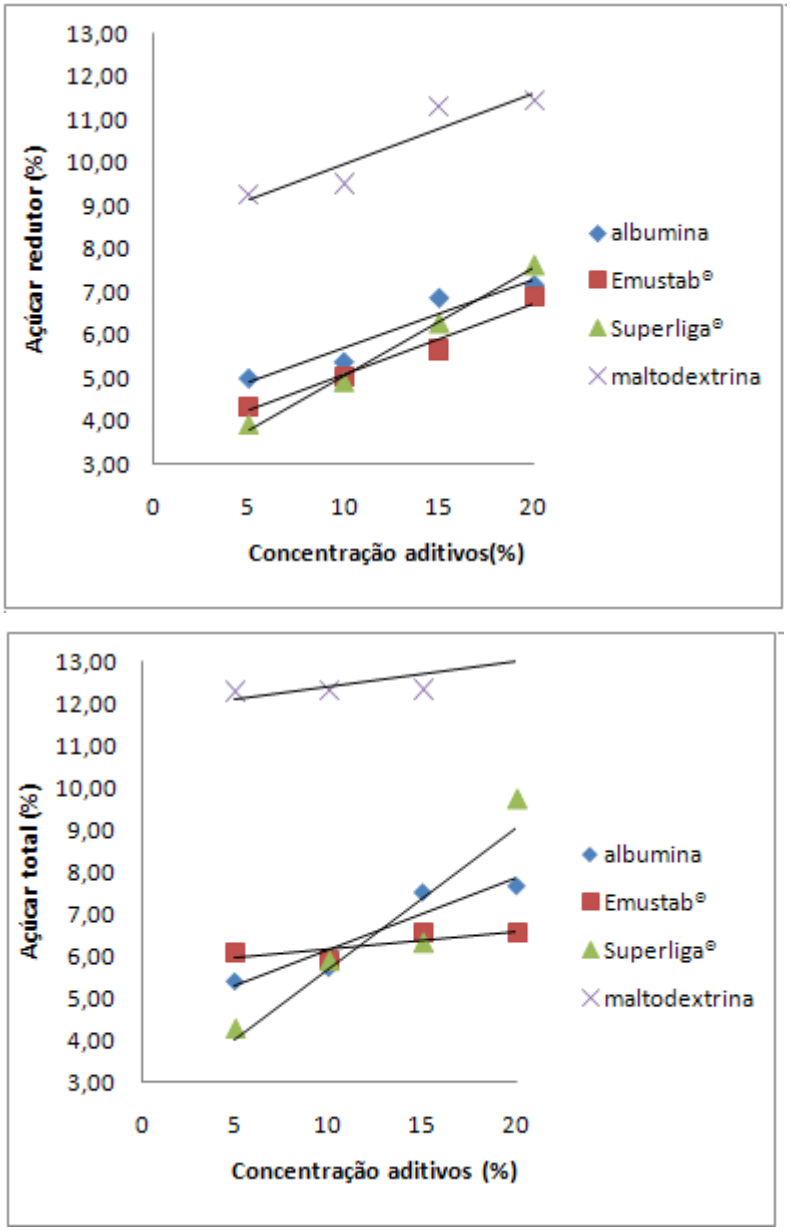

Figura 11. Açúcar redutor e açúcar total da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

O modelo ajustado na análise de regressão, para os teores de açúcar redutores e totais, em função da concentração dos agentes espumantes, é dado por:

$$Açúcares = a \times C + b \quad (14)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b** = constantes obtidas por análise de regressão

Para os açúcares redutores, todos os aditivos apresentaram coeficientes significativos do modelo linear ($p<0,01$) como mostrado na Tabela 10. Todos os agentes espumantes aumentaram o teor de açúcares redutores das espumas com o aumento das suas concentrações. Isto se deve, provavelmente, à presença de açúcares redutores nos aditivos.

Tabela 10. Coeficientes da análise de regressão para açúcar redutor da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos

Aditivos	Termo	Coeficiente	P
Albumina	Intercepto	4,078	<0.001
	Inclinação	0,935	<0.001
Maltodextrina	Intercepto	8,321	<0.001
	Inclinação	0,852	<0.001
Superliga®	Intercepto	2,568	<0.001
	Inclinação	0,992	<0.001
Emustab®	Intercepto	3,454	<0.001
	Inclinação	0,978	<0.001

Na Tabela 11, são apresentados os resultados dos coeficientes da análise de regressão para o açúcar total das espumas de polpa de araçá-boi em função da concentração do agente espumante. Somente a maltodextrina não apresentou influência significativa ($p > 0,01$) para o açúcar total como aumento da sua concentração nas espumas, mas provocou aumento em relação à polpa *in natura* alcançando uma média de 10,39%. Para o açúcar redutor, os aditivos influenciaram positivamente, ou seja, com o aumento da concentração, houve um aumento do açúcar total.

Tabela 11. Coeficientes da análise de regressão para açúcar total da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, Superliga® e Emustab®

Aditivos	Termo	Coeficiente	P
Albumina	Intercepto	4,465	<0.001
	Inclinação	0,922	<0.001
Superliga®	Intercepto	2,332	<0.001
	Inclinação	0,983	<0.001
Emustab®	Intercepto	5,1008	<0.001
	Inclinação	0,906	<0.001

4.2.9 Vitamina C

Na Figura 12, é apresentada a relação entre o teor de vitamina C as concentrações dos aditivos usados nas espumas da polpa de araçá-boi. O aumento da concentração dos aditivos provocou aumento na concentração da vitamina C nas espumas formadas, com exceção da Superliga®.

O aumento da vitamina C com o uso dos aditivos é bastante importante enriquecendo nutricionalmente o produto final, já que a vitamina C é essencial à saúde.

Soares et al. (2001) também observaram comportamento semelhante no valor da vitamina C da acerola na secagem em leito de espuma usando como emulsionantes e espessantes uma formulação com Pectina cítrica®, Emustab® e Superliga®, apresentando aproximadamente um valor 9 vezes maior do que na polpa no final do processo.

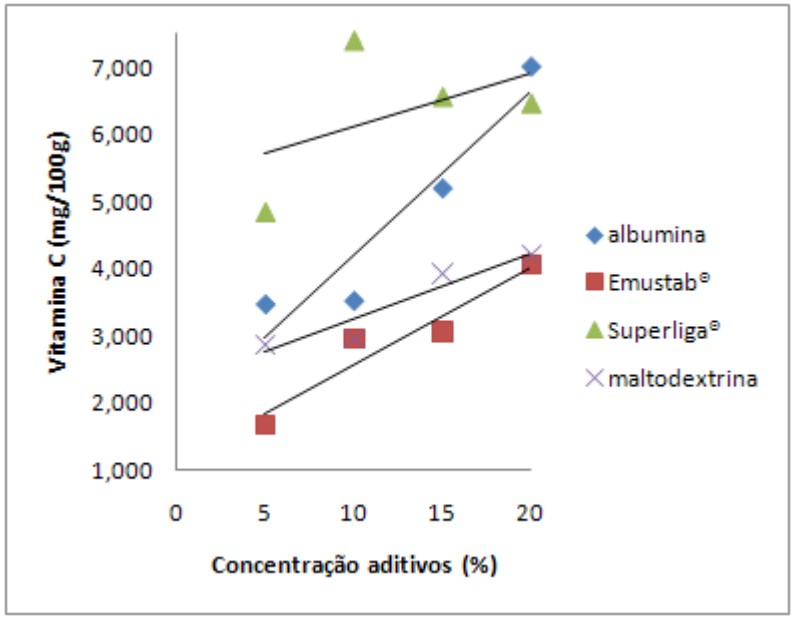

Figura 12. Vitamina C da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

Com base nos resultados obtidos, procedeu-se a um ajuste por regressão, segundo o modelo linear, dado por:

$$VitC = a \times C + b \quad (15)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b** = constantes obtidas por análise de regressão

Vit C = vitamina C

Na Tabela 12, estão os resultados dos coeficientes do modelo obtidos por análise de regressão. Somente a Superliga® não apresentou efeito no teor de vitamina C com o aumento das concentrações usadas (p>0,01).

Tabela 12. Coeficientes da análise de regressão para a vitamina C da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina e Emustab®

Aditivos	Termo	Coeficiente	P
Albumina	Intercepto	1,712	<0.001
	Inclinação	-0,109	<0.001
Maltodextrina	Intercepto	2,251	<0.001
	Inclinação	0,676	<0.001

Emustab®	Intercepto	3,487	<0.001
	Inclinação	0,9132	<0.001

4.2.10 Cor

*4.2.10.1 L**

Na Figura 13, é apresentado o comportamento da luminosidade (valor de L*) das espumas da polpa de araçá-boi em relação a concentrações dos aditivos. Observa-se que todos os aditivos provocaram efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade no valor de L* quando houve o aumento das concentrações.

Somente o Emustab® apresentou comportamento inverso dos outros aditivos. Para a albumina, maltodextrina e Superliga® o valor de L* diminuiu com o aumento da concentração e para o Emustab® o valor de L* aumentou com o aumento da sua concentração.

O maior valor de L* se deve ao efeito da adição do Emustab® quando comparado à polpa de araçá-boi *in natura* (63,5).

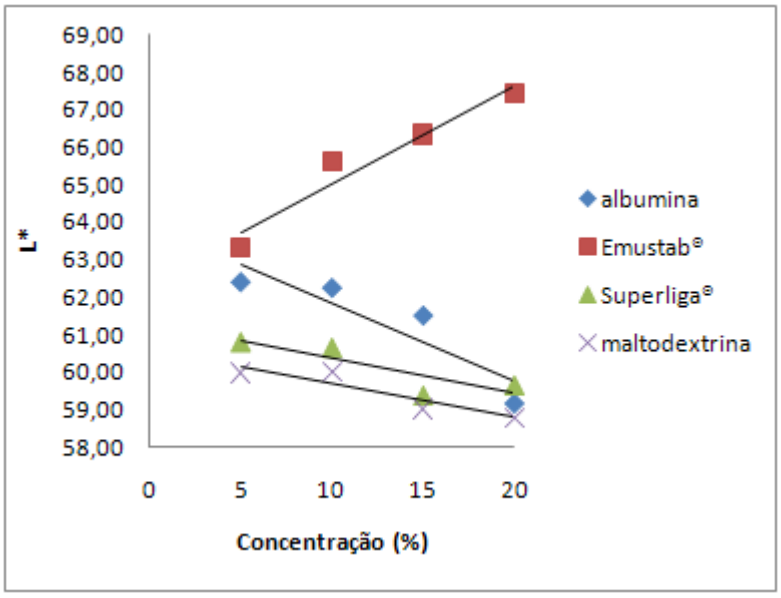

Figura 13. Valores de L* da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

O decréscimo da luminosidade indica escurecimento que possivelmente pode estar relacionado com o escurecimento não-enzimático que ocorre sempre na presença de açúcares (SOUSA et al., 2003). Como as espumas formadas pela albumina, maltodextrina e Superliga® apresentaram altos valores de sólido solúveis (Figura 8). Isso justifica a diminuição do valor de L* nas espumas em relação à polpa *in natura*. Gurjão (2006) encontrou maiores valores de L* para a espuma de tamarindo devido ao efeito da adição da albumina na polpa de tamarindo.

Através dos resultados obtidos, o modelo ajustado foi o linear, dado por:

$$L^* = a \times C + b \quad (16)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b =** constantes obtidas por análise de regressão

Os resultados apresentados na Tabela 13 mostram os coeficientes ajustados para o modelo linear, sendo que todos os coeficientes foram significativos, para todos os aditivos (p>0,01). Observa-se que somente a inclinação do Emustab® apresentou valor positivo, o que indica maior luminosidade e possível maior aproximação da cor original da polpa de araçá-boi após a secagem.

Tabela 13. Coeficientes da análise de regressão para valores de L* da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina, Emustab® e Superliga®

Aditivos	Termo	Coeficiente	P
Albumina	Intercepto	63,916	<0.001
	Inclinação	-0,902	<0.001
Maltodextrina	Intercepto	60,578	<0.001
	Inclinação	-0,929	<0.001
Emustab®	Intercepto	62,450	<0.001
	Inclinação	0,969	<0.001
Superliga®	Intercepto	61,315	<0.001
	Inclinação	-0,858	<0.001

*4.2.10.2 Parâmetro a**

O parâmetro a* representa a variação da cor amostra entre vermelho (+100) e o verde (-80).

Na Figura 14, é apresentada a variação da coordenada a* das espumas de polpa de araçá-boi em relação às concentrações dos aditivos. A albumina não mostrou efeito no valor de a* com o aumento da sua concentração. Efeito contrário foi observado para coordenada a* para o Emustab, à medida em que aumentava a concentração, o valor de a* reduzia tendendo para diminuição do vermelho.

Todos os aditivos provocaram diminuição no valor do parâmetro a* quando comparados com a polpa *in natura* do araçá-boi.

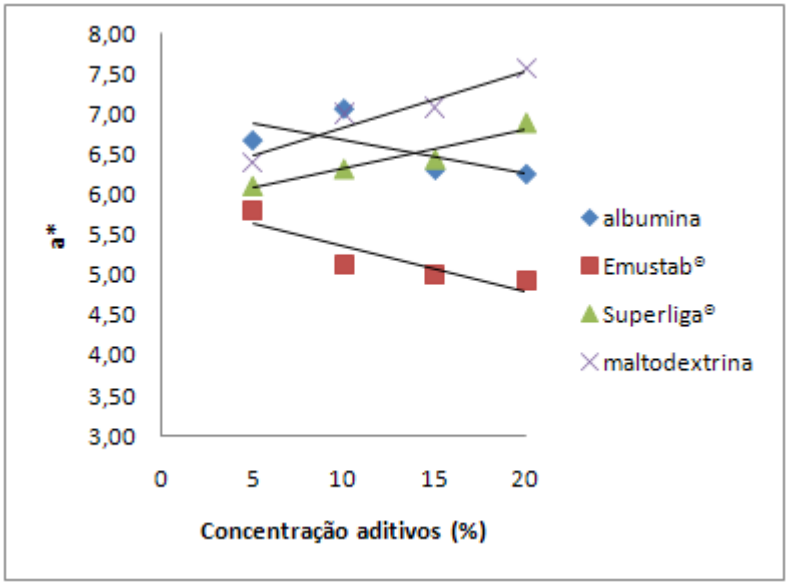

Figura 14. Parâmetro a* da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

Obteve-se, com base nos resultados, o modelo da regressão linear para o parâmetro a*, que é dado por:

$$a^* = a \times C + b \quad (17)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b** = constantes obtidas por análise de regressão

Os coeficientes dos termos da análise de regressão para o modelo linear dos valores do parâmetro a* das espumas de polpa de araçá-boi estão apresentados na Tabela 14. Somente a albumina não apresentou coeficientes significativos no valor do parâmetro a* com o aumento da sua concentração (p>0,01). Para o Emustab®, a inclinação foi negativa indicando uma tendência para o verde.

Tabela 14. Coeficientes da análise de regressão para o parâmetro a* da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos maltodextrina, Emustab® e Superliga®

Aditivos	Termo	Coeficiente	P
Maltodextrina	Intercepto	6,138	<0.001
	Inclinação	0,963	<0.001
Emustab®	Intercepto	5,908	<0.001
	Inclinação	-0,883	<0.001
Superliga®	Intercepto	5,831	<0.001
	Inclinação	0,963	<0.001

*4.2.10.3 Parâmetro b**

Na Figura 15, são mostrados os valores do parâmetro b*, que varia do azul (-70) ao amarelo (+70), das espumas da polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos. Nota-se que somente para a Superliga® o aumento da concentração não influenciou, ao nível de 1% de probabilidade, no valor da coordenada b*. O aumento da concentração promoveu o aumento da coordenada b* para a maltodextrina, ocorrendo o inverso para o Emustab® e albumina.

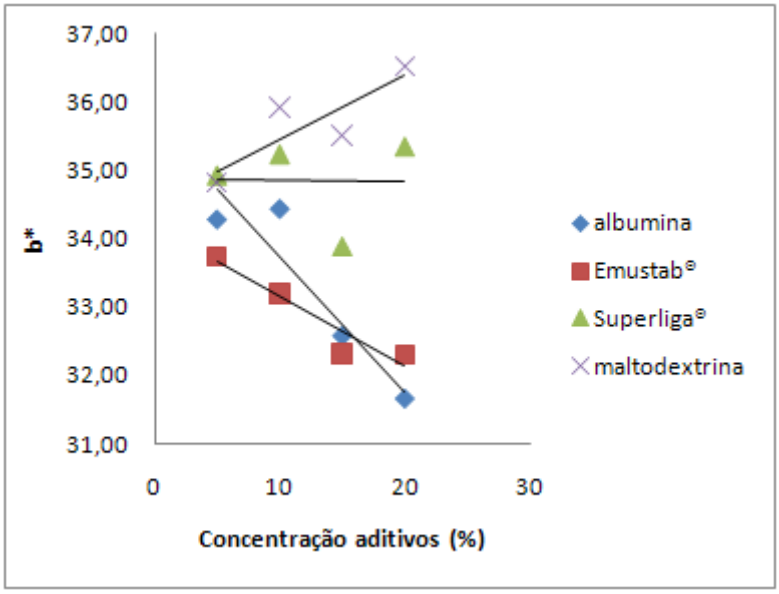

Figura 15. Parâmetro b* da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

Todos os aditivos usados neste estudo provocaram diminuição no valor da coordenada b* em relação à polpa *in natura* (44,71).

Como para as demais análises também foi realizada análise de regressão, obtendo-se para o modelo linear a seguinte equação:

$$b^* = a \times C + b \qquad (18)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b** = constantes obtidas por análise de regressão

Na Tabela 15, observa-se que somente a maltodextrina apresentou o coeficiente da inclinação positiva indicando um aumento no valor do parâmetro b* com o aumento da sua concentração tendendo as espumas a aproximação do valor da polpa de araçá-boi *in natura*, ao amarelo. A Superliga® apresentou valor médio de 34,85 para o parâmetro analisado.

Tabela 15. Coeficientes da análise de regressão para o parâmetro b* da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina, maltodextrina e Emustab®

Aditivos	Termo	Coeficiente	p
Albumina	Intercepto	35,688	<0.001
	Inclinação	-0,931	<0.001
Maltodextrina	Intercepto	34,515	<0.001
	Inclinação	0,847	<0.001
Emustab®	Intercepto	34,175	<0.001
	Inclinação	-0,883	<0.001

*4.2.10.4 Parâmetro ΔE**

O parâmetro ΔE* (diferença total de cor) é o único que leva em conta as diferenças entre os valores das coordenadas L*, a* e b* da amostra e do padrão. O ΔE é bastante estudado em trabalhos que têm como objetivo avaliar o efeito da desidratação ou qualquer outro processamento na cor de alimentos (CASTAÑÓN et al., 2000; BERTOLO et al., 2000, citado por PINHEIRO, 2004).

Na Figura 16, é representado o valor de ΔE* das espumas da polpa de araçá-boi em relação às concentrações dos aditivos. Observa-se que houve uma diminuição no valor do parâmetro ΔE* com o aumento das concentrações da albumina, maltodextrina e Superliga® e para o Emustab® o comportamento foi inverso. Como o parâmetro ΔE* é calculado pela diferença dos valores dos parâmetros L*, a* e b*, e sendo o que apresentou maior valor foi o parâmetro L*, o comportamento observado para o parâmetro ΔE* foi o mesmo para a luminosidade.

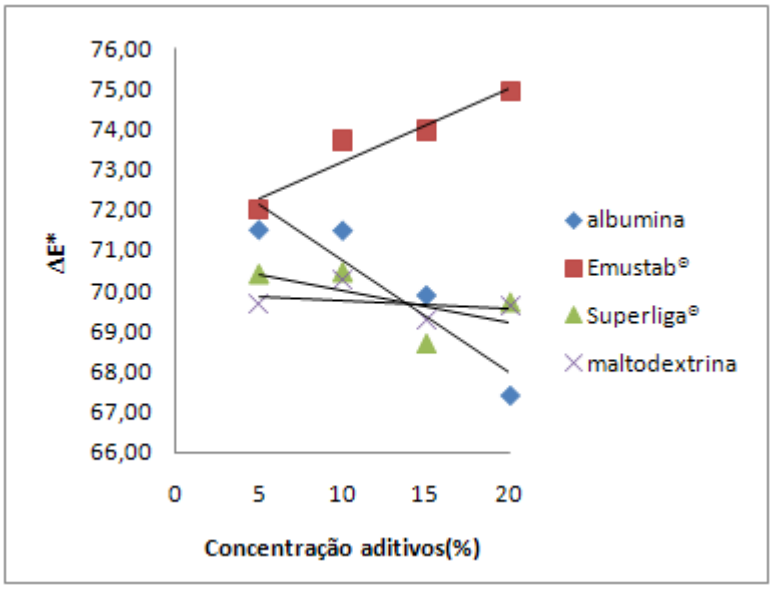

Figura 16. Parâmetro ΔE* da espuma de polpa de araçá-boi em função dos aditivos e da concentração.

Com base nos valores obtidos, a equação abaixo representa o modelo linear obtido através da análise de regressão.

$$\Delta E^* = a \times C + b \quad (18)$$

Onde:

C = concentração do aditivo;

a e **b** = constantes obtidas por análise de regressão

Observam-se, na Tabela 16, os coeficientes dos termos significativos da análise de regressão para o parâmetro ΔE*. Para a maltodextrina e Superliga®, não houve influência significativa (p>0,001) do aumento da suas concentrações para o parâmetro analisado, apresentando valores médios de 69,71 e 69,80 respectivamente. A albumina tem comportamento inverso do Emustab®, sendo que neste, com o aumento da sua concentração, as espumas formadas alcançam valores de ΔE* mais próximo do valor da polpa *in natura* de araçá-boi.

Tabela 16. Coeficientes da análise de regressão para o parâmetro ΔE* da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos albumina e Emustab®

Aditivos	Termo	Coeficiente	P
Albumina	Intercepto	73,546	<0.001
	Inclinação	-0,928	<0.001
Emustab®	Intercepto	71,398	<0.001
	Inclinação	0,323	<0.001

4.2.11 Relação Sólidos Solúveis/Acidez Total Titulável

A relação sólidos solúveis por acidez total titulável (SS/ATT) é um dos indicadores da qualidade e da maturação das frutas. Os consumidores de produtos cítricos geralmente preferem uma relação de 15 a 18, mas esses valores variam em função do produto e das preferências individuais dos consumidores (KIMBALL, 2002).

Observando-se a Figura 17, percebe-se que a relação SS/ATT aumenta com o aumento das concentrações dos aditivos usados, indicando um produto ácido.

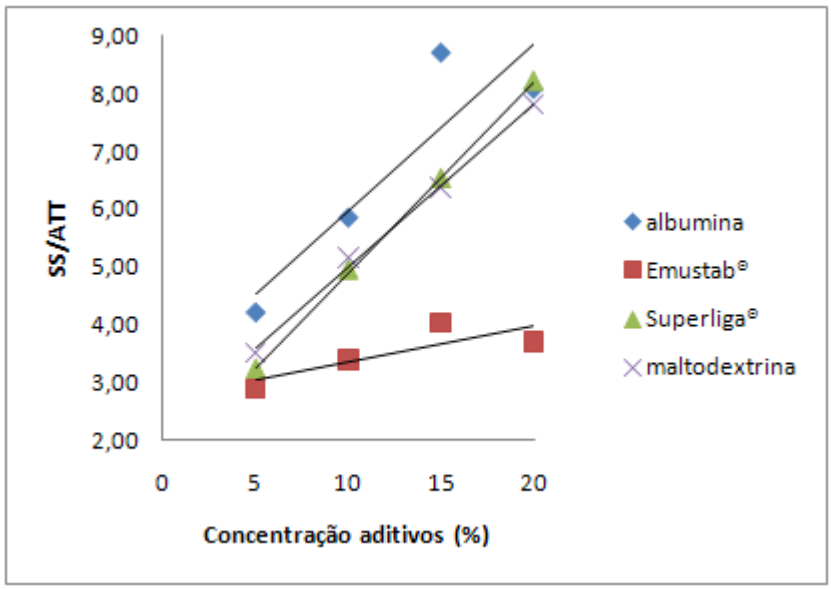

Figura 17. Relação entre o teor de sólidos solúveis (ºBrix) e a acidez total titulável (em % de ácido cítrico) das espumas de albumina, Emustab®, maltodextrina e Superliga®.

Foi ajustado para a relação SS/ATT um modelo linear que é dado por:

$$SS/ATT = a \times C + b \quad (18)$$

Sendo:

C = concentração do agente espumante;

a e **b=** constantes obtidas por análise de regressão.

Observa-se, na Tabela 17, que somente para a maltodextrina e Superliga® o modelo ajustado foi significativo ($p<0,01$). Para a albumina e Emustab®, os valores médios da relação SS/ATT foram de 6,7 e 3,5 respectivamente. Com a adição dos aditivos, a relação SS/ATT aumentou quando comparada com a polpa de *in natura* do araçá-boi. O aumento da relação SS/ ATT é desejável, pois produz um produto com características favoráveis para o gosto dos consumidores de produtos cítricos.

Tabela 17. Coeficientes da análise de regressão para a relação de ºBrix/ácido cítrico da espuma de polpa de araçá-boi em relação à concentração dos aditivos maltodextrina e Superliga®

Aditivos	Termo	Coeficiente	P
Maltodextrina	Intercepto	2,210	<0.001
	Inclinação	0,904	<0.001
Superliga®	Intercepto	1,665	<0.001
	Inclinação	0,900	<0.001

4.3 Cinética de secagem

Após as caracterizações das espumas da polpa de araçá-boi, percebeu-se que o aditivo albumina foi o que apresentou as melhores características para secagem e obtenção do pó. Sendo assim, podem-se observar, na Figura 18, os resultados da secagem das espumas de araçá-boi, em diferentes concentrações do aditivo, bem como o resultado da secagem da polpa integral, pelo tempo necessário para que as espumas atingissem o teor de umidade de equilíbrio (4 horas).

Observou-se que, após 4 horas de secagem, as espumas atingiram os teores de umidade de equilíbrio, que foram de 7,3, 7,4, 4,83 e 6,98 %, para as concentrações de 5, 10, 15 e 20%, do aditivo, respectivamente. Nesse mesmo período de tempo, a polpa integral atingiu o teor de umidade de 26,8%. Teores de umidade próximos a 27% foram obtidos nos tempos de 2 horas para as concentrações de 5, 10 e 20 % do aditivo usado. Na concentração de 15% do aditivo, levou-se uma hora e quarenta e cinco minutos para se atingir teores de umidade em torno de 27%. Portanto, a utilização da albumina como agente espumante reduziu o tempo de secagem da polpa de araçá-boi pela metade, além de ter permitido se atingir teores de umidade mais baixos que aquele que seria atingindo na secagem da polpa integral.

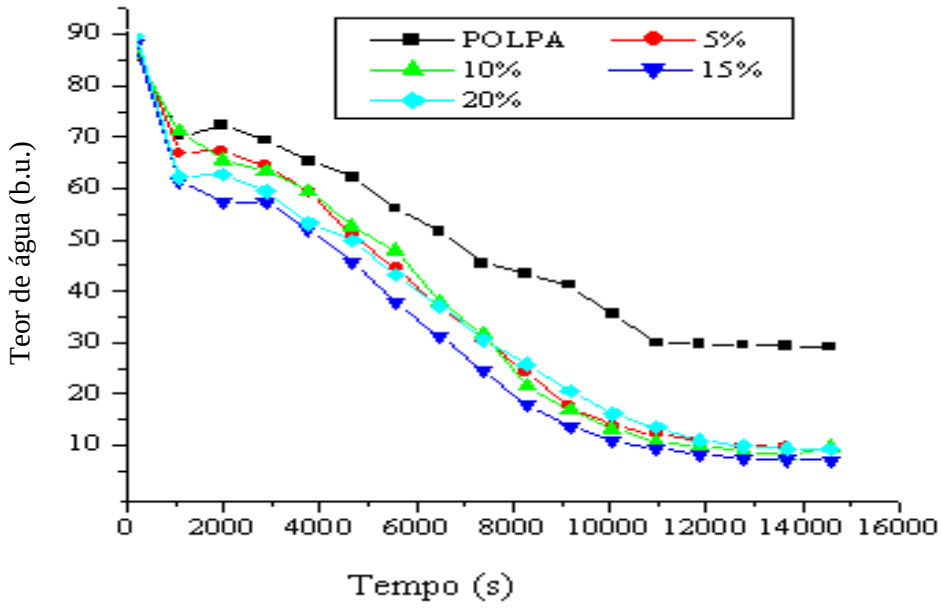

Figura 18. Curvas de secagem da espuma de aracá-boi, com diferentes concentrações de albumina e da polpa integral.

Uma camada de espuma seca muito mais rapidamente do que a mesma quantidade de líquido sob as mesmas condições de secagem, isto porque o líquido move-se mais facilmente em uma estrutura espumosa do que em uma densa camada do mesmo material. Isso é devido também pela evaporação dentro das bolhas seguida por difusão gasosa através das paredes finas da espuma (KARIM; WAI, 1999).

Tanto para a polpa integral como para as espumas de polpa de araçá-boi, a perda de água foi maior no início da secagem. Nos primeiros 15 minutos de secagem, as espumas, nas concentrações de 5, 10, 15 e 20, e a polpa integral atingiram valores de teor de água em torno de 65, 65, 60, 60 e 65% respectivamente, sendo que todas as amostras estavam com o teor de água inicial em torno de 85%, perdendo cerca de 20% de umidade e após 15 minutos a perda foi menor do que 5% para todas as amostras.

Após 2 horas de secagem, metade do tempo total, as espumas atingiram uma média de 25% de teor de umidade demorando mais 2 horas para atingir os teores de umidade de equilíbrio. A polpa integral também apresentou esse comportamento, porém com valores maiores para o teor de umidade.

4.4 Ajuste de modelos de cinética de secagem

A Tabela 18 mostra os coeficientes encontrados para as equações de cada um dos modelos de cinética de secagem testado, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e valor do qui-quadrado (χ^2).

Tabela 18. Coeficientes das equações dos modelos ajustados para a razão de umidade (RM) em função da concentração (CONC) de albumina em graus brix com os coeficientes de determinação (R^2) e valores do teste de qui-quadrado χ^2 (tempos em segundos)

MODELO	CONC. (%)	PARÂMETROS		R^2	χ^2
NEWTON	5	K=	1.91E-04	0.94	0.109
$MR = \exp[-kt]$	10	K=	1.79E-04	0.95	0.133
	15	K=	1.92E-04	0.95	0.118
	20	K=	1.78E-04	0.95	0.103
PAGE	5	K=	1.00E-05	0.96	0.005
		n=	1.29E+00		
	10	K=	5.17E-06	0.97	0.004
		n=	1.40E+00		
$MR = \exp[-kt^n]$	15	K=	6.79E-06	0.96	0.004
		n=	1.38E+00		
	20	K=	7.61E-06	0.96	0.0040
		n=	1.36E+00		
PAGE MODIFICADO	5	K=	1.80E-04	0.96	0.005

		n=	1.40E+00		
$MR = \exp[-(kt)^n]$	10	K=	1.70E-04	0.97	0.004
		n=	1.55E+00		
	15	K=	1.80E-04	0.97	0.004
		n=	1.47E+00		
	20	K=	1.70E-04	0.97	0.0039
		n=	1.40E+00		
HENDERSON e PABIS	5	K=	1.03E+00	0.93	0.008
		n=	-2.00E-04		
$MR = a\exp[-kt]$	10	K=	1.06E+00	0.93	0.008
		n=	-1.90E-04		
	15	K=	1.04E+00	0.94	0.008
		n=	-2.00E-04		
	20	K=	1.03E+00	0.94	0.007
		n=	-1.80E-04		

Tabela 18. Continuação...

MODELO	**CONC. (%)**	**PARÂMETROS**		**R^2**	**χ^2**
HENDERSON e PABIS MODIFICADO	5	a=	1.49E+00	0.98	0.004

		k=	9.00E-05		
		b=	-1.42E-01		
		g=	-1.48E-01		
		c=	-1.42E-01		
		h=	-1.48E-01		
	10	a=	1.49E+00	0.98	0.004
		k=	9.00E-05		
		b=	-2.64E-01		
		g=	1.54E-02		
$MR = a\exp[-kt] + b\exp[-gt] + c\exp[-ht]$		c=	-2.64E-01		
		h=	1.54E-02		
	15	a=	1.35E+00	0.97	0.004
		k=	1.00E-04		
		b=	-1.80E-02		
		g=	-6.15E-01		
		c=	-1.80E-02		
		h=	-6.15E-01		
	20	a=	1.44E+00	0.98	0.003
		k=	9.00E-05		
		b=	-1.10E-01		
		g=	-2.01E-01		
		c=	-1.10E-01		
		h=	-2.01E-01		
LOGARÍTMICO	5	K=	-7.05E-06	0.95	0.007
		c=	1.08E+01		
		a=	-1.00E+01		
	10	K=	-6.84E-06	0.94	0.008
		c=	1.09E+01		
$MR = a\exp[-kt] + c$		a=	-1.00E+01		
	15	K=	-6.69E-06	0.92	0.010
		c=	1.08E+01		
		a=	-1.00E+01		
	20	K=	-6.59E-06	0.94	0.007
		c=	1.09E+01		
		a=	-1.00E+01		

Tabela 18. Continuação...

MODELO	**CONC. (%)**	**PARÂMETROS**		**R^2**	**χ^2**
DOIS TERMOS	5	K_0=	-9.00E-05	0.98	0.003

		K_1=	-2.71E-01		
		a=	1.49E+00		
		b=	-1.70E+00		
	10	K_0=	-9.00E-05	0.98	0.004
		K_1=	-2.23E-01		
$MR = a\exp[-k_0 t] + b\exp[-k_1 t]$		a=	1.49E+00		
		b=	-1.15E+00		
	15	K_0=	-1.00E-04	0.97	0.004
		K_1=	2.12E-01		
		a=	1.35E+00		
		b=	-1.65E-01		
	20	K_0=	-9.00E-05	0.98	0.003
		K_1=	-1.16E-01		
		a=	1.44E+00		
		b=	-7.31E-01		
DOIS TERMOS EXPONENCIAL	5	K=	5.00E-04	0.95	0.006
		a=	-4.81E-01		
$MR = a\exp[-kt] + (1-a)\exp[-kat]$	10	K=	3.00E-05	0.98	0.003
		a=	-1.95E+00		
	15	K=	5.40E-04	0.95	0.005
		a=	-4.53E-01		
	20	K=	4.00E-05	0.98	0.002
		a=	-1.84E+00		
WANG e SING	5	a=	-1.30E-04	0.98	0.003
		b=	4.21E-09		
$MR = 1 + at + bt^2$	10	a=	-1.30E-04	0.98	0.003
		b=	3.67E-09		
	15	a=	-1.40E-04	0.98	0.003
		b=	4.45E-09		
	20	a=	-1.30E-04	0.98	0.002
		b=	3.80E-09		

Tabela 18. Continuação...

MODELO	**CONC. (%)**	**PARÂMETROS**		**R^2**	**χ^2**
DIFUSÃO APROXIMADA	5	K=	-1.00E-05	0.97	0.003

		a=	-3.21E-01		
		b=	-1.00E+01		
	10	K=	-9.48E-06	0.97	0.003
$MR = a\exp[-kt] + (1-a)\exp[-kbt]$		a=	-3.67E-01		
		b=	-1.00E+01		
	15	K=	-1.00E-05	0.97	0.004
		a=	-2.58E-01		
		b=	-1.00E+01		
	20	K=	-1.00E-05	0.98	0.003
		a=	-3.00E-01		
		b=	-1.00E+01		
VERNA et al.	5	K=	3.30E-04	0.96	0.005
		a=	1.00E+01		
		g=	3.60E-04		
	10	K=	3.30E-04	0.96	0.005
$MR = a\exp[-kt] + (1-a)\exp[-gt]$		a=	1.00E+01		
		g=	3.60E-04		
	15	K=	3.40E-04	0.96	0.005
		a=	1.00E+01		
		g=	3.70E-04		
	20	K=	3.10E-04	0.96	0.004
		a=	1.00E+01		
		g=	3.40E-04		
MIDILLI e KUCUK	5	K=	-7.00E-05	0.98	0.003
		n=	1.29E+00		
		b=	-2.00E-04		
	10	K=	-7.00E-05	0.98	0.002
$MR = \exp[-kt^n] + bt$		n=	1.29E+00		
		b=	-1.90E-04		
	15	K=	-7.00E-05	0.98	0.002
		n=	1.29E+00		
		b=	-2.00E-04		
	20	K=	-0.00007	0.98	0.002
		n=	1.29		
		b=	-0.00019		

De acordo com os critérios estabelecidos de $R^2 \leq 0,95$ e $\chi^2 \geq 0,01$, foram eliminados os modelos Newton e Logaritmo, por não atenderem aos dois critérios. Os modelos de Henderson e Pabis e Dois Termos Exponencial foram eliminados por não atenderem ao critério do R^2.

Dessa forma, dos 12 modelos inicialmente estudados, 4 foram eliminados por meio dos dois primeiros critérios de seleção. Observa-se que os resultados dos ajustes são muito próximos, com menor valor de $R^2 = 0,92$ para o modelo Logarítmico na concentração de 15%.

Ou seja, mesmo neste que foi o pior ajuste, 92% dos pontos são explicados pelo modelo. Vários modelos apresentaram o maior valor de R^2= 0,92, que foi de 0,98. Caso este tivesse sido o único critério, estes modelos seriam considerados equivalentes.

Na Tabela 19, são apresentados os resultados do MBE e do RMSE, para os modelos que permaneceram após a eliminação pelos critérios de R^2 e χ^2. De acordo com os respectivos critérios de eliminação (MBE≥0,01 e RMSE≥0,1), nenhum dos modelos foi eliminado pelo critério de RMSE e, pelo critério do MBE, foram eliminados os modelos de Page, de Page Modificado, de Difusão Aproximada, de Verna et al. e de Midilli e Kucuk. Entre os modelos eliminados, o de Difusão aproximada apresentou MBE≥0,01 para a concentração e 5% do aditivo e o de Midilli e Kucuk para a concentração de 20%. Todos os demais foram eliminados por apresentar MBE≥0,01 para todas as concentrações do aditivo. Os resultados obtidos para estes dois modelos (Difusão aproximada e Midilli e Kucuk) confirmam o que afirma Stone (1993), que um modelo pode ajustar-se em determinadas faixas e não em outras, o que limita a aplicação de modelos empíricos, estritamente à faixa para a qual foram ajustados.

Tabela 19. Resultados do desvio médio (MBE) e do erro quadrático médio (RMSE) para modelos de cinética de secagem de pó da polpa de araçá-boi com diferentes concentrações de albuminaq11

MODELO	CONC. (%)	M.B.E.	R.M.S.E
PAGE	5	-1.82E-02	6.62E-02
	10	-1.69E-02	6.02E-02
	15	-1.76E-02	6.16E-02
	20	-1.61E-02	5.93E-02
PAGE MODIFICADO	5	-1.98E-02	6.51E-02
	10	-1.88E-02	5.83E-02
	15	-1.88E-02	6.04E-02
	20	-1.74E-02	5.83E-02
HENDERSON e PABIS MODIFICADO	5	6.07E-18	4.92E-02
	10	2.87E-07	5.18E-02
	15	-5.88E-07	5.32E-02
	20	1.18E-06	4.62E-02
DOIS TERMOS	5	-6.25E-07	4.92E-02
	10	9.12E-07	5.18E-02
	15	1.63E-18	5.32E-02
	20	3.67E-18	4.62E-02

Tabela 19. (Continuação...)

MODELO	CONC. (%)	M.B.E.	R.M.S.E
WANG e SING	5	-5.76E-03	4.87E-02
	10	-6.82E-04	4.69E-02

	15	-2.48E-03	4.74E-02
	20	-4.41E-03	4.40E-02
DIFUSÃO APROXIMADA	5	-2.33E-02	5.51E-02
	10	-9.45E-04	5.21E-02
	15	-6.60E-03	5.41E-02
	20	-6.10E-03	4.77E-02
VERNA et al.	5	-1.84E-02	6.64E-02
	10	-1.80E-02	6.39E-02
	15	-1.82E-02	6.36E-02
	20	-1.66E-02	5.98E-02
MIDILLI e KUCUK	5	-6.93E-03	4.73E-02
	10	-1.35E-03	4.34E-02
	15	-3.85E-03	4.43E-02
	20	1.85E-02	5.03E-02

De acordo com Iqbal (1983), o RMSE fornece uma comparação termo a termo do desvio entre o valor estimado pelo modelo e o valor medido. Por outro lado, o MBE indica a tendência de o valor estimado subestimar (valores positivos de MBE) ou superestimar (valores negativos de MBE) os valores medidos. Contudo, de acordo com Chaves (1999), é imprescindível o uso de ambos os índices, sendo que bastam alguns poucos valores relativamente discrepantes, mesmo em uma longa série de dados, para causar grandes aumentos no RMSE. Por outro lado, quanto ao BEM, o que se observa é que uma seqüência de valores negativos de desvios pode ser anulada por uma seqüência de valores positivos, e vice-versa. Quando isso ocorre, o pesquisador poder ser levado, equivocadamente, à conclusão de que houve um valor baixo para o erro sistemático quando, na verdade, esse se apresentou positivo em determinados momentos e negativo em outros. A decisão pode, então, se tornar subjetiva, tendo o pesquisador que privilegiar um indicador em detrimento do outro. Além desses questionamentos, Badescu (1988) afirma que os valores dimensionais desses indicadores não permitem que se faça teste de modelos sob condições diversas, ou seja, os níveis de comparação têm que ser sempre os mesmos.

Os dois primeiros questionamentos podem ser contornados se a comparação for complementada com a análise gráfica e descritiva dos dados; neste trabalho, essa análise não detectou tendências nos gráficos de desvios, sendo que, para todos os modelos, foi aplicado o teste de Kolmongorov-Smirnov para normalidade de distribuição dos desvios e essa normalidade foi admitida em todos ($p<0,01$).

Uma análise geral dos resultados mostrou que todos os modelos apresentaram valores de RMSE tais que, numa comparação em um único ponto, eles produziriam desvios muito próximos. Contudo, o resultado do MBE mostra que o erro sistemático foi relativamente grande nos modelos de Page, de Page Modificado, de Difusão Aproximada, de Verna et al. e de Midilli

e Kucuk. Soares et al. (2007), que, estudando modelos de cinética de secagem manjericão, encontraram valores discrepantes tanto no MBE como no RMSE, para vários modelos de cinética de secagem, o que confirma a necessidade de ajustes específicos para cada produto e conjunto de condições.

Após a aplicação dos critérios de eliminação dos modelos, restaram como modelos que descrevem bem a secagem da espuma da polpa de araçá-boi, com diferentes concentrações de albumina, os modelos de Henderson e Pabis Modificado, Dois termos e de Wang e Sing. Para escolher o melhor entre os três modelos, Iqbal (1988) propõe o teste de "t" baseado no MBE e no RMSE que é dado por:

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \tag{19}$$

A Tabela 20 mostra os resultados do teste de "t" para os modelos de cinética de secagem que passaram pelos critérios de eliminação. O modelo de Wang e Sing apresentou valores de "t" superiores aos dos modelos de Henderson e Pabis Modificado e Dois Termos. Portanto, o modelo de Wang e Sing pode ser descartado pelo teste de "t".

Tabela 20. Resultado do teste de "t" para os modelos de cinética de secagem que passaram pelos critérios de eliminação (R^2, χ^2, MBE e RMSE)

MODELO	**CONC. (%)**	**"t"***
HENDERSON e PABIS MODIFICADO	5	4.779E-16
	10	2.220E-05
	15	4.425E-05
	20	1.019E-04
	Média	4.209E-05
DOIS TERMOS	5	4.920E-05
	10	7.042E-05
	15	1.228E-16
	20	3.182E-16
	Média	2.990E-05
WANG e SING	5	4.617E-01
	10	5.815E-02
	15	2.094E-01
	20	4.023E-01
	Média	2.829E-01

***valores da estatística "t", baseada no MBE e no RMSE.

Os modelos de Henderson e Pabis Modificado e Dois Termos apresentaram valores muito próximos para o teste de "t", o que pode ser explicado pelo fato de os modelos diferirem em um termo exponencial, ou seja, o modelo de Henderson e Pabis modificado usa três termos exponenciais. O uso desses três termos melhorou o ajuste na concentração de 5%, em relação ao modelo de Dois Termos. Entretanto, o modelo de Dois Termos mostrou ajuste melhor nas

concentrações de 10 e 20% e na média. Portanto, esse modelo pode ser considerado o melhor entre os 12 testados, para descrever a cinética de secagem da espuma de polpa de araçá-boi, com diferentes concentrações de albumina.

Na literatura, não se encontrou muita informação sobre modelos de cinética de secagem em leito de espuma. Vernon-Carter et al. (2001) ajustaram um modelo polinomial para a secagem de tamarindo em leito de espuma, porém, usando misturas de agentes espumantes e os valores de coeficiente de determinação obtidos por estes autores, foram inferiores aos encontrados neste trabalho. Sankat e Castaigne (2004) utilizaram o modelo de Newton para descrever a cinética de secagem de bananas e obtiveram coeficiente de determinação semelhante aos obtidos neste trabalho.

4.5 Análise da cinética de secagem

Na Figura 19, é mostrada a cinética de secagem da espuma de araçá-boi, nas diferentes concentrações do agente espumante, bem como as curvas referentes ao modelo Dois Termos, considerado o que melhor se ajustou.

Observa-se que, independente das concentrações usadas do aditivo, todas as espumas atingiram o equilíbrio na perda da umidade em um período de 12.600 segundos (3,5 horas). Devido a não haver diferença significativa na densidade da espuma entre as diferentes concentrações da albumina, o tempo de secagem foi o mesmo para todas as espumas analisadas.

Usando diferentes concentrações de albumina, Thuwapanichayanan et al. (2008) obtiveram espuma de banana com densidades de 0,3, 0,5 e 0,7 g/cm^3 e observaram secagens mais rápidas para as espumas com densidades menores.

Como a maioria dos produtos agrícolas e alimentícios, a espuma da polpa de araçá-boi apresentou períodos de taxa de secagem decrescente não sendo observados períodos de taxa constante. Segundo Gouveia et al. (2003), a ausência da taxa constante pode ter ocorrido pela natureza da umidade, pois, mesmo havendo umidade superficial livre, a água pode estar na forma de suspensão de células e de solução (açúcares e outras moléculas), apresentando uma pressão de vapor inferior à água pura.

Esse comportamento foi observado por Gurjão (2006) em secagem de espuma de tamarindo, por Pereira (2008) em secagem de espuma de própolis e por Rajkumar et al. (2007) em secagem de espuma de purê de manga. Entretanto, Thuwapanichayanan et al. (2008) verificaram, na secagem de espuma de purê de banana, a presença dos dois períodos (constante e decrescente).

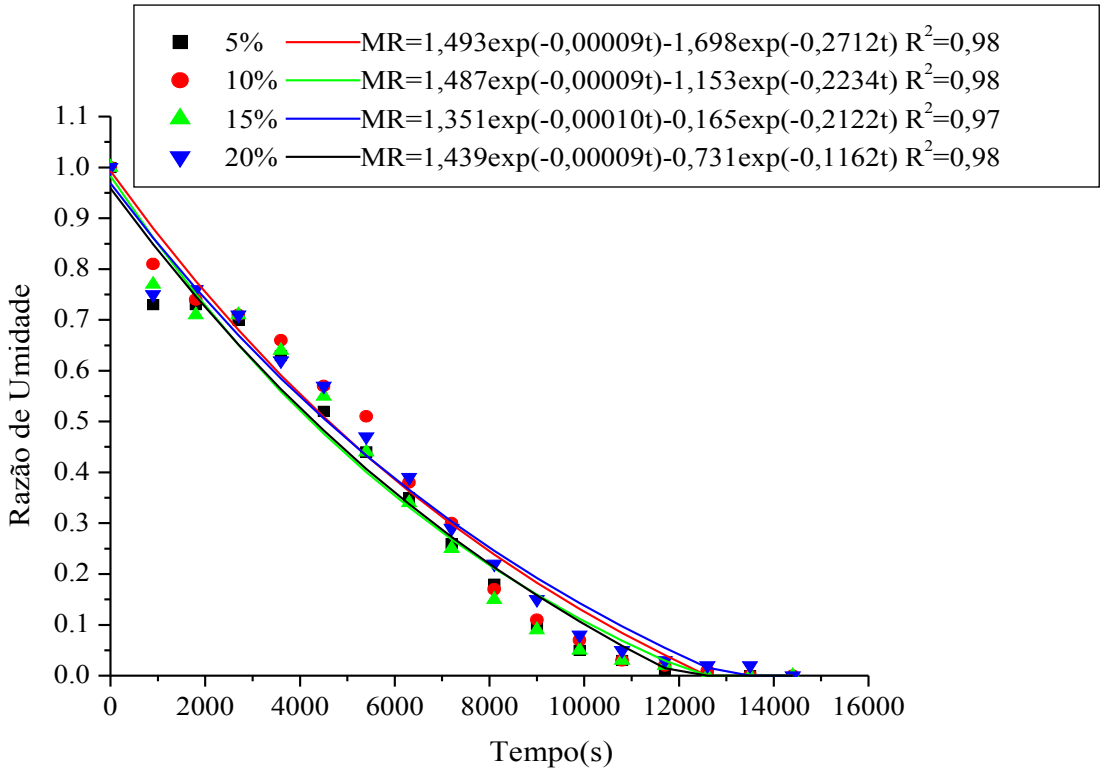

Figura 19. Cinética de secagem da espuma de araçá-boi, nas diferentes concentrações de albumina e curvas referentes ao modelo Dois Termos.

4.6 Redução da atividade de água

Na literatura consultada, foram encontrados poucos modelos que descrevam a redução da atividade de água durante a secagem de espumas ou mesmo de frutas. Giraldo-Zuniga et al. (2004) apresentaram as curvas de redução da atividade de água com o tempo de secagem, para frutículos de jaca nas temperaturas de 50, 60 e 70ºC, mas não ajustaram modelo algum. Figiel e Kita (2008) ajustaram um modelo exponencial para descrever a diminuição da atividade de água, durante a secagem do miolo de nozes, na temperatura de 55ºC e em micro-ondas a vácuo, tendo encontrado coeficiente de determinação de 0,99. Contudo, o modelo exponencial não se ajustou bem aos dados da espuma de polpa de araçá.

Na Tabela 21, são mostrados os coeficientes dos modelos ajustados para relacionar atividade de água e teor de água, durante o processo de secagem, com os respectivos coeficientes de determinação e valores de χ^2.

Tabela 21. Coeficientes dos modelos ajustados para relacionar atividade de água e teor de água, durante a secagem de espuma de polpa de araçá-boi com diferentes concentrações de albumina e respectivos coeficientes de determinação e valores de χ^2

MODELO	CONC (%)	PARÂMETROS	R^2	χ^2

OSWIN	5	A	5.56241	0.88	67.401
		B	0.52173		
	10	A	12.62068	0.76	136.739
		b	0.28539		
	15	A	10.96465	0.79	95.830
		b	0.27531		
	20	A	13.86259	0.68	120.273
		B	0.22542		
HALSEY	5	A	340.65543	0.91	0.0098
		B	2.75302		
	10	A	25.55172	0.74	0.0227
		B	1.75807		
	15	A	68.03193	0.89	0.0105
		B	2.35934		
	20	A	439.80851	0.85	0.0102
		B	3.0554		
HENDERSON	5	K_h	-0.00108	0.92	0.0077
		v	2.82493		
	10	K_h	-0.01464	0.78	0.020
		v	1.8186		
	15	K_h	-0.0061	0.90	0.0099
		v	2.36488		
	20	K_h	-0.00339	0.84	0.0105
		v	2.48084		
IGLESIAS e CHIRIFFI	5	X_{in}	70	0.72	0.0265
		p	1.62433		
		b	3.023		
	10	Xin	83	0.63	0.0320
		p	1.15496		
		b	3.50118		
	15	Xin	81	0.69	0.0306
		p	1.4268		
		b	3.07031		
	20	Xin	77	0.61	0.0263
		p	1.00203		
		b	3.53497		

Tabela 21. Continuação...

MODELO	**CONC (%)**	**PARÂMETROS**		**R^2**	χ^2
D´ARCY WATT	5	K_1	2.19	0.80	122.0

		K_2	-3.08847		
		K_3	1.00068		
		K_4	0.43452		
		K_5	17.36756		
	10	K1	-2.0E+45	0.51	313.0
		K2	-13.75361		
		K3	0.99989		
		K4	0.01328		
		K5	58.17168		
	15	K1	-4.68E+45	0.75	124.7
		K2	-4.29388		
		K3	0.99802		
		K4	0.11136		
		K5	32.62632		
	20	K1	-1.41E+45	0.45	258.6
		K2	-22.53442		
		K3	1.00006		
		K4	-0.0037		
		K5	64.82224		
PELEG	5	K_1	14.39821	0.92	49.36
		K_2	92.65687		
		n_1	0.47307		
		n_2	61.69592		
	10	K1	65.28199	0.91	57.94
		K2	6.28E+00		
		n1	29.40572		
		n2	-0.12277		
	15	K1	15.42061	0.87	62.39
		K2	53.66491		
		n1	0.78442		
		n2	59.56709		
PELEG	20	K1	11.61738	0.83	78.78
		K2	48.62023		
		n1	0.34005		
		n2	33.26966		

Tabela 21. Continuação...

MODELO	**CONC (%)**	**PARÂMETROS**		**R^2**	χ^2
GAB	5	Xm	33.43	0.89	63.88

		C	0.17984		
		K	0.99162		
	10	Xm	33.59	0.84	1387
		C	0.0488		
		K	1.00002		
	15	Xm	28.35	0.86	67.52
		C	0.19068		
		K	0.98468		
	20	Xm	32.31	0.80	88.15
		C	0.22439		
		K	0.97054		
BET	5	C	0.34863	0.85	87.58
		n	0.59876		
		Xn	33.43		
	10	C	0.51225	0.56	268.1
		N	0.61768		
		Xn	33.59		
	15	C	0.5214	0.58	205.0
		N	0.61779		
		Xn	28.35		
	20	C	0.50173	0.53	210.2
		N	0.6181		
		Xn	32.31		

Nenhum dos modelos da Tabela 21 se ajustou satisfatoriamente aos dados deste trabalho. Sendo assim, utilizou-se o *software* LAB fit – Ajuste de Curvas, VRS 7.2.19 para se buscar um modelo de 3 parâmetros. Este *software* testa 208 modelos estatísticos diferentes.

Entre os modelos testados, o que apresentou melhor ajuste foi o logístico+constante, dado por:

$$AW = \frac{A}{1 + B * \exp(C * t)} + D \qquad (20)$$

Sendo

AW = atividade de água;

t = tempo de secagem em segundos.

Os coeficientes do modelo logístico+constante com os respectivos coeficientes de determinação e valores de χ^2 são apresentados na Tabela 22. O menor coeficiente de determinação foi de 0,92, para a concentração de 20% e o maior foi 0,96 para a concentração de 15%.

Tabela 22. Coeficientes do ajuste do modelo logístico+constante, coeficientes de determinação e valores de χ^2 para a espuma de araçá-boi com diferentes concentrações de albumina

CONC. (%)	PARÂMETROS		R^2	χ^2
5	A	7.05E-01	0,94	0.00586
	B	8.06E-07		
	C	1.45E-03		
	D	2.82E-01		
10	A	6.68E-01	0,95	0.00421
	B	5.01E-08		
	C	1.71E-03		
	D	2.49E-01		
15	A	7.41E-01	0,96	0.00366
	B	4.25E-08		
	C	1.73E-03		
	D	2.49E-01		
20	A	6.94E-01	0,92	0.00513
	B	2.82E-06		
	C	1.16E-03		
	D	2.94E-01		

Na Figura 20, é mostrada a redução da atividade de água ao longo do período de secagem, para as diferentes concentrações do agente espumante.

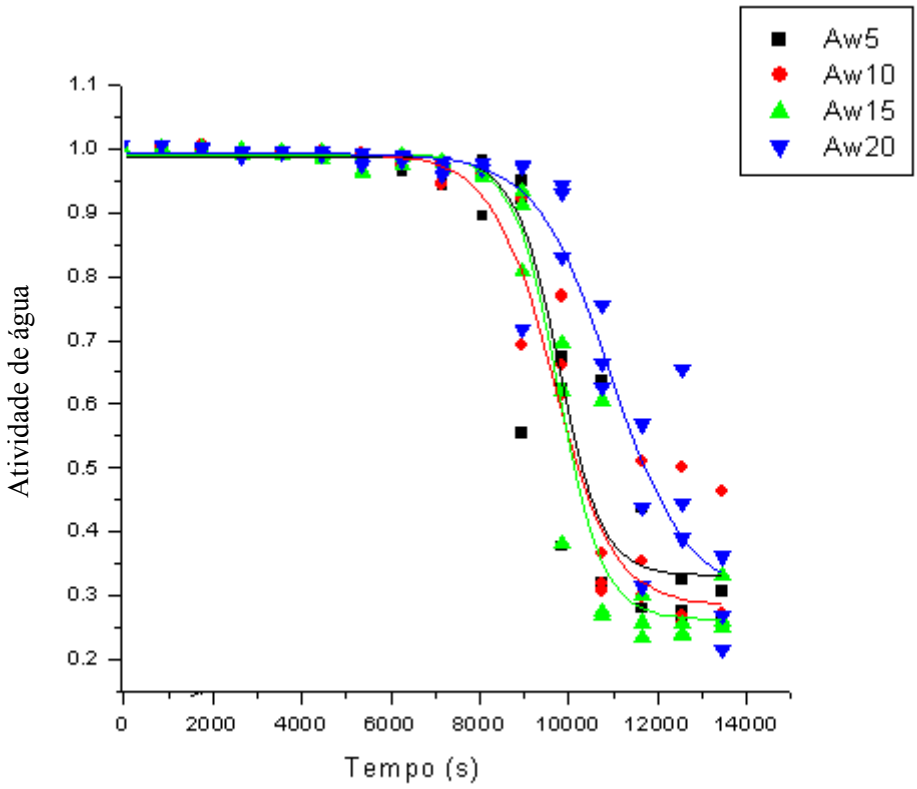

Figura 20. Variação da atividade de água da espuma da polpa de araçá-boi com o tempo de secagem e respectivas curvas do ajuste logístico + constante.

Para todas as concentrações do agente espumante, observou-se que nas duas primeiras horas de secagem, a atividade de água ficou aproximadamente constante. A partir desse tempo, a atividade de água diminuiu drasticamente, até cerca de quatro horas, quando a taxa de secagem se reduz consideravelmente. Nesse período final de secagem, a atividade de água diminui muito pouco, até atingir um valor constante.

A diminuição da atividade de água, durante a secagem da espuma da polpa de araçá-boi se deu, portanto, em três etapas: uma primeira de pequena queda (até duas horas), uma segunda com queda intensa da atividade de água (de duas a cinco horas) e uma fase final onde, novamente, a atividade de água diminuiu bem devagar, até atingir o valor final.

A atividade de água está relacionada com a estabilidade do produto através da determinação da disponibilidade de água existente no mesmo. Quando a espuma da polpa de araçá-boi atingiu o equilíbrio na perda de umidade em três horas e cinqüenta minutos, a atividade de água, em todas as concentrações, neste tempo, encontrou-se na faixa de 0,3-0,4. Portanto, como esperado, a atividade de água diminuiu com o aumento do tempo de secagem, já que o teor de água foi reduzido.

Como já discutido no item 4.2.6, a adição da albumina na polpa de araçá-boi reduziu a atividade de água com o aumento da concentração. Ao fim da secagem das espumas, o produto final atingiu valores médios de atividade de água de 0,271, 0,329, 0,278 e 0,280, para as diferentes concentrações de albumina 5, 10, 15 e 20% respectivamente. Desta forma, o pó de araçá-boi caracteriza-se como um alimento de baixa atividade de água, sendo assim, microbiologicamente estável.

Na Figura 21, é apresentada a relação entre a atividade da água e o teor de umidade, ao longo do processo de secagem, para as espumas da polpa de araçá-boi com diferentes concentrações do agente espumante.

A relação entre o teor de umidade de equilíbrio, a uma dada temperatura, e a umidade relativa, não é linear e pode ser representada pela denominada isoterma de sorção. Assim, para uma determinada composição em matéria seca, à medida que o alimento aumenta seu conteúdo de água a atividade de água também aumentará, e vice-versa (UBOLDI EIROA, 1981).

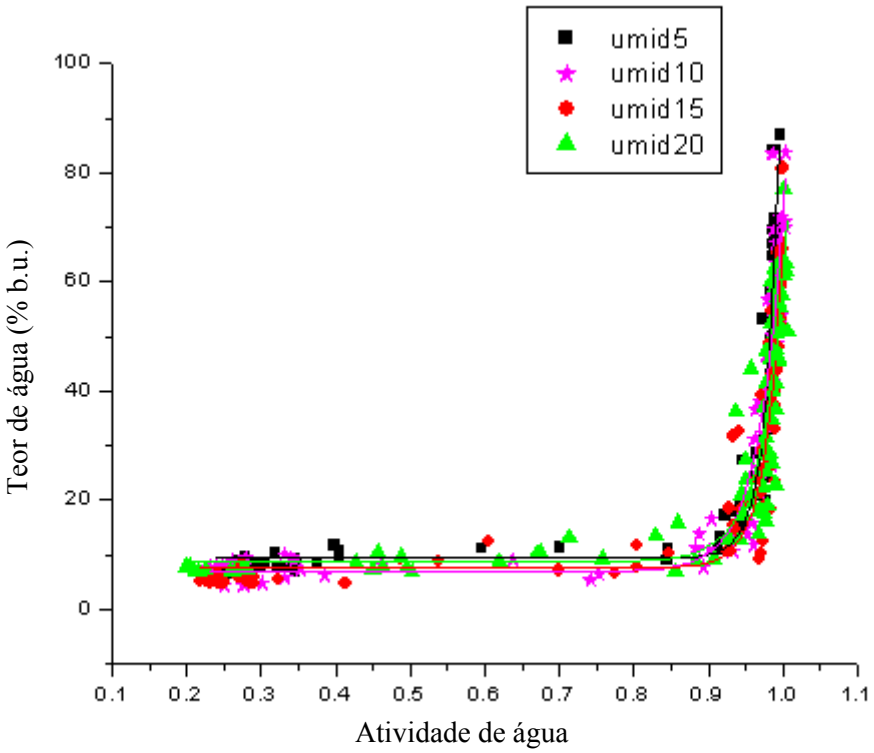

Figura 21. Relação entre atividade de água e teor de água (em % base úmida) durante a secagem da espuma de polpa de araçá-boi, com diferentes concentrações de albumina.

Observou-se que, até o teor de umidade de 20%, a atividade de água praticamente não diminuiu com a diminuição da umidade, provavelmente devido à grande quantidade de água livre no produto. Por outro lado, abaixo de 20% de umidade, a atividade de água diminuiu rapidamente, com pequenas diminuições na umidade do produto.

As isotermas são caracterizadas por três regiões distintas, as quais indicam diferentes mecanismos da ligação da água com os constituintes do alimento. As curvas da Figura 21 diferem das isotermas de dessorção, observadas em baixas temperaturas, por não apresentarem 3 períodos característicos e sim dois. Isto se deve, provavelmente, a alta temperatura da secagem, que forçou retiradas rápidas de água do produto.

Segundo Reis (2002), através das isotermas de dessorção é possível definir as condições de armazenamento de um determinado produto, evitando perdas excessivas de água e conseqüentemente o seu ressecamento.

4.7 Variações de propriedades físico-químicas durante o processo de secagem

A Tabela 23 mostra o pH inicial e final das espumas, após o processo de secagem convectiva.

O pH das espumas aumentou com o uso do agente espumante, sendo quanto maior a concentração maior o valor do pH das espumas e maior quando comparado com o valor do pH da polpa *in natura* (2,71).

Observa-se que houve um aumento no valor do pH no pó de araçá-boi após a secagem das espumas. Gurjão (2006) também observou esse comportamento na secagem de espuma da polpa de tamarindo com a adição da albumina, indicando que o uso da albumina mudou a composição físico-química do produto.

Soares et al. (2001), trabalhando com secagem em leito de espuma a 70ºC, constataram que houve efeito da temperatura na elevação dos valores do pó de acerola, em relação à polpa *in natura* usando Emustab® na formulação.

Tabela 23. Valores de pH inicial e final no processo de secagem de espuma de araçá-boi, em diferentes concentrações de albumina

Concentração (%)	**Momento**	**pH**
5	Inicio	2.88
	Fim	3.08
10	Inicio	3.09
	Fim	3.35
15	Inicio	3.33
	Fim	3.71
20	Inicio	3.70
	Fim	3.80

Para o teor de sólidos solúveis, ajustou-se o modelo Sigmoidal de Boltzmann para se obter uma relação entre o tempo de secagem e os sólidos solúveis totais, expressos em ºBrix. O modelo Sigmoidal de Boltzmann é dado por:

$$SS = \frac{A_1 - A_2}{1 + \exp((t - t_0)/dx} + A_2 \qquad (21)$$

Sendo SS os sólidos solúveis da polpa de araçá-boi, nas diferentes concentrações, expresso em ºBrix; t o tempo de secagem; to o tempo de referência para se atingir metade do processo; dx a constante de tempo do modelo e A1, A2 e A3 constantes do modelo.

Na Tabela 24, observa-se os coeficientes do modelo Sigmoidal de Bolztmann, bem como os valores dos coeficientes de determinação e do χ^2 para cada uma das concentrações utilizadas, podendo-se então observar que este modelo ajustou-se bem aos dados experimentais.

Tabela 24. Valores dos parâmetros para o ajuste do modelo Sigmoidal de Boltzmann, relacionando os sólidos solúveis (expressos em ºBrix) e o tempo de secagem da espuma da polpa de araçá-boi, em diferentes concentrações de albumina

Concentração (%)	**Parâmetros do modelo**		**R^2**	**$\chi 2$**
5	A_1	12,409	0,98	5,24
	A_2	58,947		
	t_o	9459,1		
	dx	1807,6		
10	A_1	16,621	0,98	4,19
	A_2	66,654		
	t_o	9863,9		
	dx	1715,6		
15	A_1	18,688	0,99	2,89
	A_2	60,554		
	t_o	9148,6		
	dx	716,76		
20	A_1	21,523	0,99	1,32
	A_2	59,094		
	t_o	9720,4		
	dx	2521,6		

Na Figura 22, são mostrados os gráficos das equações obtidas, através do modelo, bem como os dados experimentais. Observa-se que o valor dos SS obtidos durante a secagem apresentou comportamento crescente, ou seja, à medida que o tempo de secagem aumenta o valor dos SS das espumas também aumentou para todas as concentrações. Após duas horas de secagem, o valor dos SS das espumas apresentou um crescente aumento, atingindo ao final da secagem uma média de 10 vezes a mais ao da polpa *in natura.* Esse resultado está de acordo com os encontrados por Soares et al. (2001) em que também obtiveram 10 vezes a mais ao do produto *in natura* na secagem de acerola em leito de espuma e por Gurjão (2006), que encontrou valores 4,8 vezes maiores ao da polpa *in natura* do tamarindo neste mesmo processo.

As concentrações de 10 e 15% de albumina atingiram valores maiores ao final da secagem, obtendo um pó de araçá-boi com valor médio de 60ºBrix, enquanto que, para a espuma de 5 e 20%, os valores médios de SS para o pó foi de 54 e 48ºBrix respectivamente.

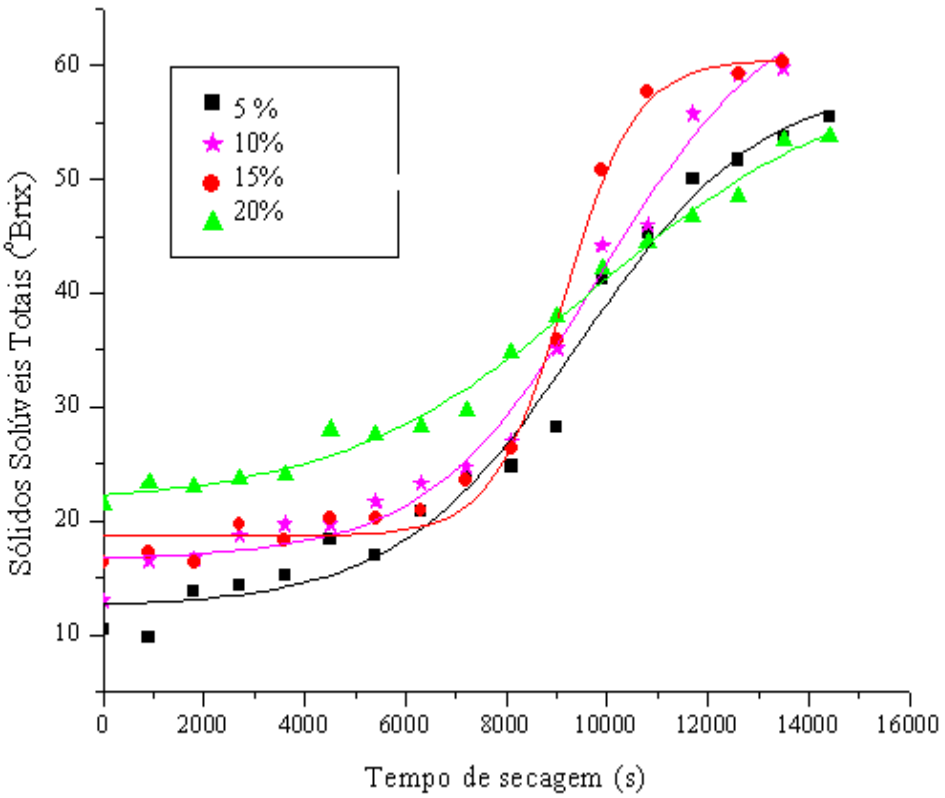

Figura 22. Variação dos sólidos solúveis da espuma da polpa de araçá-boi com o tempo de secagem e respectivas curvas do ajuste Sigmoidal de Boltzmann.

Para a relação entre a razão de umidade e o teor de sólidos solúveis, ajustou-se o modelo Lorentziano dado por:

$$SS = SS_O + \frac{2A}{\pi}\frac{W}{4(RM - RM_C) + W^2} \qquad (22)$$

Sendo SS os sólidos solúveis da polpa de araçá-boi, nas diferentes concentrações, expresso em ºBrix; SS_o o valor inicial do teor de sólidos solúveis; RM a razão de umidade; t o tempo de secagem; RM_c a razão de umidade na metade do tempo de processo; A e W constantes do modelo.

Na Tabela 25, estão os resultados do ajuste do Modelo Lorentiziano, bem como os valores dos coeficientes de determinação e do χ^2, podendo-se observar que, através dos parâmetros, este modelo se ajustou bem aos dados experimentais da relação entre a umidade e o teor de sólidos solúveis. E a Figura 23 mostra as curvas referentes ao ajuste, com os respectivos dados experimentais.

Observou-se que, durante a secagem, a umidade foi diminuindo e o teor de sólidos solúveis aumentando. Todas as concentrações de albumina estudadas neste trabalho apresentaram esse comportamento. Observa-se também que, quando as espumas atingiram uma razão de umidade de 0,2, o teor de sólidos solúveis apresentou um crescente aumento.

Tabela 25. Valores dos parâmetros para o ajuste do modelo Lorentiziano, relacionando os sólidos totais (expressos em ºBrix) e a razão e umidade da espuma da polpa de araçá-boi, em diferentes concentrações de albumina, ao longo do processo de secagem

Concentração (%)	**Parâmetros do modelo**		**R^2**	**$\chi 2$**
5	SS_o	11,66182	0,98	5,68
	RM_c	-0,20074		
	W_o	0,17392		
	A	72,61491		
10	SS_o	15,69095	0,98	6,59
	RM_c	-0,16671		
	W_o	0,21481		
	A	51,64953		
15	SS_o	18,09971	0,99	2,00
	RM_c	0,01026		
	W_o	0,14026		
	A	9,39896		
20	SS_o	19,60534	0,98	2,66
	RM_c	-0,37555		
	W_o	0,23109		
	A	140,0994		

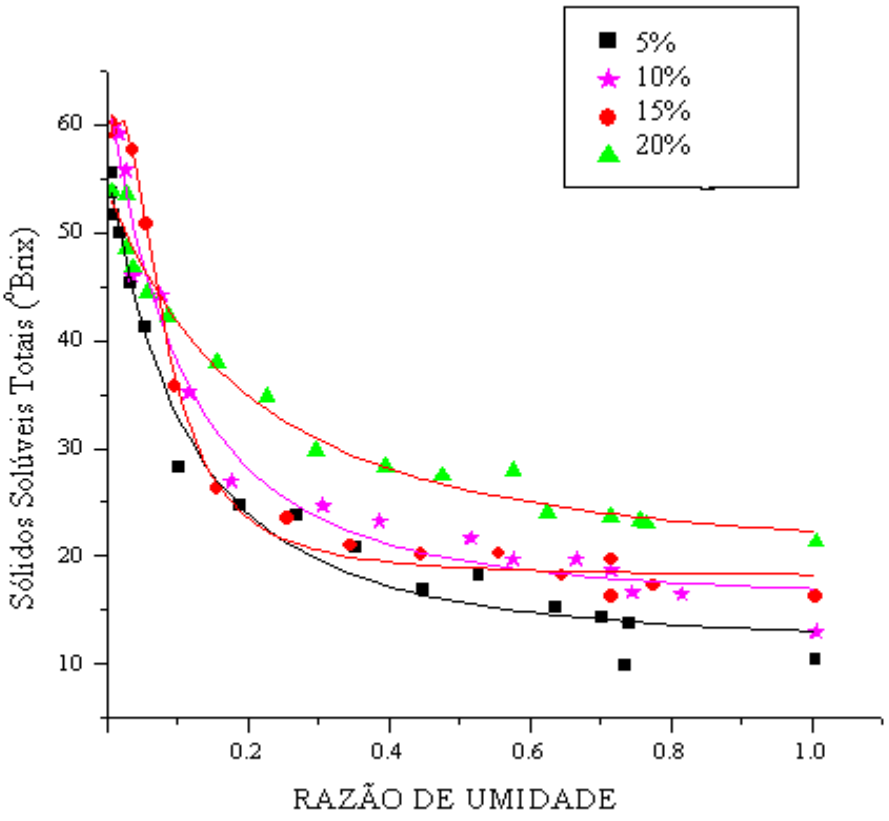

Figura 23. Variação dos sólidos solúveis com a razão de umidade e respectivas curvas do ajuste Lorentziano, para a secagem de espumas da polpa de araçá-boi, em diferentes concentrações da albumina.

Na Tabela 26, são apresentados os valores médios para as coordenadas L*, a*, b* e ΔE* da espuma (início) e do pó de araçá-boi (fim). Observa-se que, no início da secagem, somente o parâmetro a* não apresentou diferença entre as concentrações de albumina, e para o parâmetro ΔE* as concentrações 5 e 10% mantiveram-se iguais e as concentrações 15 e 20% apresentaram uma leve diferença.

Ao fim da secagem, nota-se que houve aumento nos valores dos parâmetros L*, a* e ΔE* para todas as concentrações e que o parâmetro b* apresentou uma ligeira diminuição no valor com o aumento da concentração da albumina.

Em relação à luminosidade (L*), com a adição da albumina na polpa de araçá-boi formando-se espuma, esta se apresentou mais escura, menor valor de L*, que a polpa *in natura* (63) e mais clara que o pó ao fim da secagem convectiva. Para as concentrações de 15 e 20%, o valor final da coordenada L* foi superior aos valores das concentrações de 5 e 10%, indicando pó mais claro nas concentrações de 15 e 20%.

O parâmetro b*, que varia do verde ao amarelo, apresentou valores bem menores que a polpa *in natura* (44), tanto no início e fim da secagem. Esse comportamento indica uma tendência ao verde, ou seja, tonalidade de amarelo menos intensa levando ao pó de araçá-boi uma coloração mais distante da coloração da polpa *in natura*.

Tabela 26. Valores médios dos parâmetros L*, a*, b* e ΔE* inicial e final no processo de secagem de espuma da polpa de araçá-boi, em diferentes concentrações de albumina

Concentração (%)	**Momento**	**L***	**a***	**b***	**ΔE***
5	Inicio	62,38	6,67	34,29	71,50
	Fim	66,55	11,75	32,35	74,92
10	Inicio	62,22	7,06	34,44	71,50
	Fim	69,00	10,92	32,23	76,93
15	Inicio	61,50	6,31	32,57	69,87
	Fim	73,68	8,32	30,72	80,26
20	Inicio	59,15	6,25	31,65	67,38
	Fim	73,67	7,87	29,51	79,75

5 CONCLUSÕES

O agente espumante, bem como sua concentração, influi diretamente nas propriedades físico-químicas da polpa de araçá boi. Especificamente:

- ✓ Ocorre, a diminuição da acidez titulável, mesmo sem haver alterações significativas ($P<0,01$) no pH;
- ✓ Os sólidos solúveis totais, o teor de açúcares (totais e redutores) e a vitamina C, aumentam, dependendo do agente espumante e do teor deste;
- ✓ Tanto a atividade de água como o teor de água podem ser diminuídos com a adição de agentes espumantes e também dependem do agente e de sua concentração;
- ✓ A massa específica pode aumentar ou diminuir, em função do tipo de agente espumante, sendo que este aumento, ou diminuição, depende da concentração dos mesmos;
- ✓ As variações na cor, tanto em luminosidade como na tonalidade, também dependem do agente espumante e de sua concentração sendo que pode haver aumento ou diminuição da luminosidade e mudanças na cor;
- ✓ O aumento da concentração aumenta a intensidade da mudança de cor provocada pelo agente espumante;
- ✓ A relação entre sólidos solúveis totais e acidez titulável depende do agente espumante e de seu teor, diminuindo para todos os agentes aqui utilizados.

A estabilidade da espuma de araçá-boi é mantida, com qualquer um dos agentes espumantes utilizados (albumina, maltodextrina, Superliga® e Emustab®), mesmo na menor concentração utilizada (5%).

Entre os aditivos usados neste trabalho, o que forneceu as melhores características de espuma foi a albumina. Contudo, a escolha do agente espumante deve ser específica para o produto e existe, em função dos resultados aqui obtidos, um indicativo de que uma combinação de agentes espumantes pode ser mais indicada, para se obter as propriedades desejadas da espuma e do produto final.

No que se refere à produção do pó, com a utilização de albumina, os resultados obtidos levam às seguintes conclusões:

- ➢ O tempo de secagem das espumas de polpa de araçá-boi se reduz quando comparado com a polpa integral. Além disso, atingem-se teores de umidade de equilíbrio, mais baixos do que aquele que seria atingindo na secagem da polpa integral.
- ➢ A utilização da albumina, na concentração de 5%, é suficiente para produção de pó de araçá-boi microbiologicamente estável pelo método de secagem em leito

de espuma. O aumento dessa concentração não levará a redução na atividade de água do teor de umidade de equilíbrio, e do tempo de secagem, embora possa levar a mudanças nas características físico-químicas e sensoriais do pó.

- Para o aditivo albumina, o modelo Dois Termos exponencial, foi o que melhor descreveu as curvas de secagem para as espumas de polpa de araçá-boi em todas as concentrações, segundo os critérios do R^2, χ^2, MBE, RMSE e o teste "t" baseado no MBE e RMSE.

6 REFERÊNCIAS

AFZAL, T. M.; ABE, T. Simulation of moisture changes in barley during far infrared radiation drying. **Computational Electronic and Agricultural**, v. 26, p. 137–145, 2000.

AGUIAR, J. P. L. 1983. Araçá-boi (*Eugenia stipitata*, McVaugh): aspectos e dados preliminares sobre a sua composição química. **Acta Amazonica**, 13(5-6): 953- 954.

AKINTOYE, O. A.; OGUNTUNDE, A. O. Preliminary investigation on the effect of foam stabilizers on the physical characteristics and reconstitution properties of foam-mat dried soymilk. **Drying Technology**, v. 9, n. 1, p. 245-262, 1991.

AKPINAR, E. K. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 75-84, 2005.

ANDRADE, J. S.; ARAGÃO, C. G.; CHAAR, J. S.; LEÃO, I. M. S. 1989. Caracterização do araçá-boi (*Eugenia stipitata* subsp. *sororia* McVaugh). In: **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 12, 1989, Rio de Janeiro. *Resumos*... Rio de Janeiro, SBCTA. p. 87.

ANDRADE, J. S.; RIBEIRO, F. C. F.; ARAGÃO, C. G.; FERREIRA, S. A. N. 1997. Adequação tecnológica de frutos da Amazônia: licor de araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh). **Acta Amazonica**, 27(4): 273-278.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTRY). **Official methods of analysis of the association of official analytical chemistry.** 12 ed. Washington, 1992.

ARAÚJO, E. A.; RIBEIRO, C.C. Elaboração de iorgute batido com polpa de frutas amazônicas. Parte II: acerola (*Malpighia punicifolia*), bacuri (*Platonia insignis*) e araçá-boi (*Eugenia stipitata*). In: **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 15, 1996, Poços de Caldas. *Resumos*... Poços de Caldas, SBCTA. p. 14.

ARRIAGA-ORIHUELA, R. M.; CALZADA-ESPINOSA, C. B.; MAQUEDA-HURTADO, L. E.; BEKISTAN, F. Viscosimetría com impulsor helicoidal em La caracterización reológica de espumas para lacomparación funcional de proteínas estabilizadas por gomas. **Información Tecnológica.** v. 14, n. 6, p. 17-24, 2003ª.

ARRIAGA-ORIHUELA, R. M.; MAQUEDA-HURTADO, L. E.; CALZADA-ESPINOSA, C. B.; BEKISTAN, F. Cinética de La desproporción de espumas de aislado de soya (FP940) estabilizadas com gomas usando viscosimetria com impulsor helicoidal. **Información Tecnológica.** v. 14, n. 6, p. 25-32, 2003b.

BADESCU, V. Comment on the statistical indicators used to evaluate the accuracy of solar radiation computing models. **Solar Energy**, v. 40, p. 479-480, 1988.

BAPTISTA, R. F. **Avaliação da qualidade interna de ovos de codorna (*coturnix couturnix japonica*) em função da variação de temperatura de armazenamento**. Niterói: Universidade Federal Fluminense. 2002. 99p. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária).

BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. L; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Desidratação da polpa de manga "tommy atkins" utilizando a técnica de foam mat drying - avaliações químicas, físico-químicas e sensoriais. **Braz. Jour. Food Technol.**, v. 8, n. 4, p. 283-290, out./dez. 2005.

BERISTAIN, C. I.; CORTÉS, R.; CASILLAS, M. A.; DÍAZ, R. Obtención de jugo de piña en polvo por el método desecado por espumas. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 41, n. 2, p. 238-245, 1991.

BRASIL, LEIS, DECRETOS, ETC. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº. 1 DE 7 DE JANEIRO DE 2000, **Diário Oficial da União Nº. 6**, Brasília, 10 de janeiro de 2000. Seção I., p. 54-58. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta.

BROD, F. P. R. **Avaliação de um secador vibro-fluidizado.** Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2003, 336 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)

CASSINI, A. S. **Análise das características de secagem da proteína texturizada de soja**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química: Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia.** Belém: CNPq/Museu Paraense Emílio Goeldi, 6ed. 1996, 279p. (Coleção Adolpho Ducke).

CHAVES, M. A. **Sistema de Informação e Modelagem de Radiação Solar**. Botucatu, 1999. 175p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias.

CHAVES FLORES, W. B.; CLEMENTE, C. R. Considerações sobre o araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh, Myrtaceae) na Amazônia Brasileira. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA**. Florianópolis, 1984. *Anais*... Florianópolis: SBF, 1984. p.167-177.

CHITARRA, M. E. D.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças. Fisiologia e manuseio.** Fundação de Apoio ao ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPE), ESAL 1990. 293p.

COOKE, R. D.; BREAG, G. R.; FERBER, C. E. M.; BEST, P. R.; JONES, J. Studies of mango processing. 1. The foam-mat drying of mango (Alphonso cultivar) puree. **Journal of Food Technology**, v. 11, p. 463-473, 1976.

COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (Beta vulgaris L.), abóbora (Cucurbita moschata) e cenoura (Daucus carota) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 34, n. 1, p. 5-9, 2003.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. Oxford: Clarendon Press, 1975.

DINIZ, E.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Atividade de água e condutividade elétrica de polpas de acerola concentradas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, n.1, p. 9-17, 2003.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, v. 69 (2), p. 161–165. 2005.

ELIZALDE, B. E.; PILOSOF, A. M. R.; BARTHOLOMAI, G. B. Prection of emulsion instability from emulsion composition and physicochemical properties of proteins. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 1, p. 116-1, 1991.

FALADE, K. O.; ADEYANJU, K. I.; UZO-PETERS, P. I. Foam-mat drying of cowpea (Vigna unguiculata) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. **European Food Research and Technology**. p. 486 – 491. 2003.

FERREIRA, S. A. N; GENTIL, D. F. O. **Araza (Eugenia stipitata) cultivo y utilizacion (Manual Técnico)**. Ministerio de Cooperacion Tecnica del Reino de Los Paises Bajos – Tratado de Cooperacion Amazonica – Secretaria Pro-Tempore – Venezuela, 92p. 1999.

FIGIEL, A.; KITA, A. Drying kinetics, water activity, shrinkage and texture of walnut kernels **Acta Agrophysica**, v. 11, n. 1.p. 71-80, 2008.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das Operações Unitarías**. 2 ed. JC. p. 401-404.

FRANCIS, F. J. **Encyclopedia of Food Science and Technology**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2000. v. 1. 2907 p.

GALDINO, P. O.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F; SILVA, R. N. G. Avaliação da estabilidade da polpa de umbu em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 73-80, 2003.

GENTIL, D. F. O.; CLEMENT, C. R. 1997. The araza (Eugenia stipitata): results and research directions. In: Donadio, L. C. (Ed.) **Proceedings of the International Symposium on Myrtaceae. Acta Horticulturae**, 452: p. 9-17.

GENTIL, D. F. O.; CLEMENT, C. R. The araza (*Eugenia stipitata*): results directions. **Interamerican Society For Tropical Horticulture Proceedings**, Curitiba, 1996, p. 83-89.

GIRALDO-ZUÑIGA, A. D., ARÉVALO-PINEDO, RODRIGUES, A. R. M., LIMA, C. S. S., FEITOSA, A. C. Drying curves and water activity evaluation for sliced jackfruit (*Artocarpus Integrifólia*) In: ***Drying 2004* – Proceedings of the 14th International Drying Symposium** (IDS 2004) São Paulo, Brazil, 22-25 August 2004, v. C, p. 1776-1783, 2004.

GOUVEIA, J. P. G. et al. Determinação das Curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n. 1, p. 65-68, 2003.

GUARTE, R. C. **Modeling the drying behavior of copra and development of a natural convection dryer for production of high quality copra in the Philippines**. PhD Thesys. (Hohenheim University, Stuttgart, Germany.) 1996.

GURJÃO, K. C. V. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de Tamarindo**. Areia: UFPA 2006.165 p. Tese (Doutorado em Agronomia).

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamneto reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium catlleianum sabine*) e amora-preta (*Rubis spp*)**. Curitiba: UFPR. 2005. 85p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos).

HART, M. R.; GRAHAM, R. P.; GINNETTE, L. F.; MORGAN JR., A. I. (1963). **Food Technol**, **17** (10), 90–92.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of the ASAE**, v. 17, p. 1167–1172, 1974.

In: http://sbrtv1.ibict.br/upload/sbrt7194/ .Acessado em 20 maio 2008.

In: http://portalamazonia.globo.com/artigo_amazonia_az. Acessado em 10 maio 2008.

In: www.cpafro.embrapa.br/embrapa/Artigos/aracaboi.htm. Acessado em 10 maio 2008.

HIEN, P. H.; TAM, N. H.; XUAN, N. V. Study on the reversal timing for the sra reversible dryer. In: **Seminar on "Agricultural Engineering and Agro-products Processing towards Mechanization and Modernization in Rural Areas"**, Nong-Lam University, HoChiMinh City, China, 2003.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas - métodos químicos e físicos de análises de alimentos**. v. 13 ed. São Paulo, SP: 1985.

IGBAL, M. **An introduction to solar radiation**. New York, Academic Press, 1983. 390p.

KAMEL, B. S. In: **Emulsifiers**. Food additive user's handbook. MITH, J. London: Blackie, 1997. Cap. 8, p. 169-201.

KARIM, A. A.; CHEE-WAI, C. Characteristic of foam prepared from starfruit (L.) puree by using methyl cellulose. **Food Hydrocolloids**, v. 13, n. 2, p. 203- 210, 1999.

KIMBALL, Dan. A. **Citrus Processing**. 2 ed. Editorial Acribia, S.A.,Zaragoza, Espanha. 2002.

LABUZA, T. P. Sorption phenomena in foods. **Food TechnologyII**, v. 22, p. 263-272, 1968.

LEWICKI, P. P. Mechanisms concerned in foam-mat drying of tomato paste. **Transactions of Agricultural Academy in Warsaw**. n. 55, p. 1-67, 1975.

LOPES, A. S. **Pitanga e acerola: estudo de processamento, estabilidade e formulação de néctar misto**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005. 193p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos).

MATA, M. E. R. M. C.; BRAGA, M. E. D.; SILVA, M. Curvas de congelamento de frutos de cajá (*Spondias Lutea* L.) a temperaturas semi-criogênicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n. 1, p. 55-62, 2003.

MCPHERSON, A. E.; SEIB, P. A. Preparation and properties of wheat and corn starch maltodextrins with a low dextrose equivalent. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 4, p. 424-430, 1997.

MELONI, P. L. S. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Instituto Frutal – Fortaleza. 87p. 2003.

MIDILLI, A.; KUCUK, H. Mathematical modelling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. **Energy Conversion and Management**, v. 44, p. 1111–1122. 2003.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for singlelayer drying. **Drying Technology**, v. 20 (7), p. 1503–1513, 2002

MORORÓ, R. C. **Como montar uma pequena fábrica de polpas de frutas**. Viçosa: CPT, 1998. 68 p.

OLIVEIRA, L. P. **Seleção e aproveitamento biotecnológico de frutos encontrados na Amazônia para elaboração de bebida alcoólica fermentada utilizando levedura imobilizada**. Manaus: UFAM, 2006. 171p. Tese (Doutorado em Biotecnologia).

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thinlayer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, p. 349–357, 2000.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processos e equipamentos de secagem.** Campinas, 121p. 2007.

PERNELL, C. W. E. A. Foegeding. Properties of whey and egg White protein foams. Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering aspects 204, 9-21 (2002).

PINHEIRO, G. S. **Propriedades físicas, termofísicas e físico-químicas de purê de banana adicionado de açúcar**. Lavras, UFLA, 2004. 141p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos).

RAJKUMER, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, 79 (2007) 1452–1459.

REIS, R. C. **Avaliação dos atributos de qualidade envolvidos na desidratação de manga (*Mangifera indica* L.) var. Tommy Atkins**. Viçosa, UFV, 2002. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos).

SACRAMENTO, C. K.; BARRETTO, W. S.; FARIA, J. C. Araçá-boi: uma alternativa para agroindústria. **Bahia Agrícola**, v. 8, n. 2, nov. 2008.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **Lebensm.-Wiss. u-Technol**, v. 37, n. 1, p. 217-525, 2004.

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v. 35, n. 5, p. 1179-1184, 2005.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA Jr., A. S.; FILHO, M. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata D.C.*) pelo processo foam-mat. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

SOARES, R. D., CHAVES, M. A., BONOMO, R. C. F., SILVA, J. N., BABIC, M. The selection criteria of the best matemathics model fo basil (Ocimum basilicum, L) thin-layer drying kinetics. **Journal of processing and energy in agriculture**, v. 11, p. 161-165, 2007.

SOUZA, J. S. I.; PEIXOTO, A. M.; TOLEDO, F. F. **Enciclopédia agrícola brasileira**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Publicado por Ed. USP, 1995, p. 99.

SOUSA, P. H. M; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA, A. C. R. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal-SP, v. 25, n. 3, p. 414-416, 2003.

STONE, R. J. Improved Statistical Procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v. 51, n. 4, p. 289-291, 1993.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOMCHART, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, v. 86, 573–583p., 2008.

TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; SIQUEIRA, E. T. F. **Desidratação de frutas**. Campinas: CETEA/ITAL, 2001. 40 p.

UBOLDI EIROA, M. N. Atividade de água: influência sobre o desenvolvimento de microrganismos e métodos de determinação em alimentos. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 18, n. 3, p. 353-383, 1981.

UBOLDI, M. **Desidratação por camada de espuma (foam-mat) de suco de tomate.** Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos 1971. 32 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos).

VAN DER BERG, C., BRUIN, S. In: **Water activity Influences of food quality**: Water activity and its stimation in food systems: theoretical aspects. ROCKLAND L. B.; STWART G. F. (Ed.). Academic Press, 1981.

VERNON-CARTER, E. J.; ESPINOSA-PAREDES, G.; BERISTAIN, C. I.; ROMERO-TEHUITZIL, H. R. Effect of foaming agents on the stability, rheological properties, dryng kinetics and flavour retention of tamarind foam-mats. **Food Research international**, v. 34, n. 1, p. 587-598, 2001.

VILLACHICA, H.; CARVALHO, J. E. U.; MULLER, C. H.; DIAZ, C.; ALMANZA, M. 1996. Frulales y hortalizas promisorios de la Amazonia. Lima, Peru, Tratado de Cooperacion Amazonica - Secretaria Pro-tempore. 367p.

WALSTRA, P. In: **Química de los alimentos**. Sistemas dispersos: Consideraciones básicas em Química de los Alimentos. Director Owen R. Fenneme, Editorial Acribia. Zaragoza España, 2000 Cap. 3.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo