

Engenharias, Ciência e Tecnologia

**Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)**

SAFETY HELMET SAFETY

Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-084-1

DOI 10.22533/at.ed.841193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume I apresenta, em seus 10 capítulos, conhecimentos relacionados a Gestão de Sistemas, Processos Produtivos e Qualidade em Serviços relacionados à engenharia de produção nas áreas de gestão da produção, processos produtivos e, Gestão de Operações e Serviços.

As áreas temáticas de Gestão de Sistemas, Processos Produtivos e Qualidade em Serviços, tratam de temas relevantes para a Gestão da Produção. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam gerir de uma forma mais otimizada conhecimentos e estudos na área de processos produtivos, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Gestão de Sistemas e Processos Produtivos, e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

ANÁLISE DO BALANÇO DE MASSA E DA DISTRIBUIÇÃO DAS PARTÍCULAS DO PÓ NA SECAGEM DE PASTA EM LEITO DE JORRO

João Pedro Alves de Azevedo Barros

José Teixeira Freire

DOI 10.22533/at.ed.8411931011

CAPÍTULO 2 18

APLICAÇÃO DA INTERMITÊNCIA NO PROCESSO DE SECAGEM DE MATERIAL PARTICULADO EM LEITO DE JORRO

Ronaldo Correia de Brito

Rodrigo Béttega

José Teixeira Freire

DOI 10.22533/at.ed.8411931012

CAPÍTULO 3 34

COBERTURAS DE SOLO E TELAS FOTOSSELETIVAS NO CULTIVO DA ALFACE EM BOA VISTA, RR

Taline Katlen de Oliveira Nunes

João Luiz Lopes Monteiro Neto

João Vitor Paiva Cabral

José de Anchieta Alves de Albuquerque

Elton da Silva Dias

Luiz Guilherme Carvalho Zborowski

Rannyonara Oliveira Rodrigues

Brito Luis Dresch

DOI 10.22533/at.ed.8411931013

CAPÍTULO 4 40

EFEITO DOS AGENTES ENCAPSULANTES NAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DE MICROCÁPSULAS DE EXTRATO DE URUCUM (BIXA ORELLANA)

Caroline Pereira Moura Aranha

Caio Francisco Valente Serra

Vânia Regina Nicoletti Telis

DOI 10.22533/at.ed.8411931014

CAPÍTULO 5 51

LEITO BIFÁSICO NA REAÇÃO DE APATITA NA FABRICAÇÃO DE FERTILIZANTES

Fabrcio Gomes Menezes Porto

José Roberto Delalibera Finzer

Roberto Mattioli Silva

DOI 10.22533/at.ed.8411931015

CAPÍTULO 6 61

MUDAS DE MARACUJAZEIRO-AMARELO PRODUZIDAS EM DIFERENTES AMBIENTES E SUBSTRATOS

Roberto Tadashi Sakazaki
João Luiz Lopes Monteiro Neto
Wellington Farias Araújo
Carlos Abanto-Rodríguez
Rafael Souza Coimbra e Silva
Taline Katlen de Oliveira Nunes
Sonicley da Silva Maia
Beatriz Sayuri Campaner Sakazaki

DOI 10.22533/at.ed.8411931016

CAPÍTULO 7 67

PRODUÇÃO DE MILHO VERDE EM CONSÓRCIO COM CROTALARIA JUNCEA SOB DIFERENTES DOSAGENS DE N EM TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA EM RORAIMA

Juliano Jonas Sábio de Melo
Hipólito Ribas Pereira
Maria Edjane Matias Silva
Edmilson Evangelista da Silva

DOI 10.22533/at.ed.8411931017

CAPÍTULO 8 73

REDUÇÃO DE COR ICUMSA DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR PELA UTILIZAÇÃO DE BENTONITA COMO CLARIFICANTE

Sarah Arvelos
Ananda Cristina Coelho Ribeiro
Heitor Otacílio Nogueira Altino

DOI 10.22533/at.ed.8411931018

CAPÍTULO 9 88

LOGÍSTICA REVERSA: UM LEVANTAMENTO SOBRE O PÓS-VENDA DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COM COMERCIANTES DO BAIRRO CAPIM MACIO, NA CIDADE DO NATAL-RN

Glauber Henrique Borges de Oliveira Souto
Claudiane da Silva
Janayne Thayane de Souza Toscano

DOI 10.22533/at.ed.8411931019

CAPÍTULO 10 94

QUALIDADE DA ÁGUA CONSUMIDA EM ESCOLAS MUNICIPAIS DA ÁREA RURAL DE CERRITO ALEGRE, 3^o DISTRITO DE PELOTAS/RS

Catiúscia Weinert Mizuschima
Jocelito Saccol de Sá
Marília Guidotti Corrêa

DOI 10.22533/at.ed.84119310110

SOBRE O ORGANIZADOR 108

EFEITO DOS AGENTES ENCAPSULANTES NAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DE MICROCÁPSULAS DE EXTRATO DE URUCUM (*BIXA ORELLANA*)

Caroline Pereira Moura Aranha

Universidade Federal da Grande Dourados,
Faculdade de Engenharia, Engenharia de
Alimentos
Dourados – MS

Caio Francisco Valente Serra

Universidade Estadual Paulista, Departamento de
Engenharia e Tecnologia de Alimentos
São José do Rio Preto – SP

Vânia Regina Nicoletti Telis

Universidade Estadual Paulista, Departamento de
Engenharia e Tecnologia de Alimentos
São José do Rio Preto – SP

RESUMO: Corantes naturais obtidos a partir de extratos vegetais têm atraído bastante interesse da indústria alimentícia, devido a suas propriedades funcionais e à latente procura por produtos naturais. Dentre os corantes naturais, o urucum corresponde a 90% do uso pela indústria brasileira. É um pigmento carotenoide, que pode trazer benefícios à saúde, além de possuir atividade antioxidante. Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo estudar as isotermas de sorção de microcápsulas produzidas por spray drying. Soluções puras e combinações binárias e ternárias das matrizes encapsulantes, maltodextrina 10 DE (MD), amido modificado de milho (AM) e goma arábica (GA), contendo o extrato de urucum a

ser encapsulado, em diferentes concentrações, foram submetidas ao processo de atomização. Para a realização das isotermas de sorção foi avaliada a eficiência de encapsulação das microcápsulas produzidas para seleção das melhores formulações. As isotermas foram determinadas através do método estático gravimétrico, utilizando dessecadores contendo soluções saturadas de diferentes sais a 25°C. Os dados experimentais de isotermas de sorção foram modelados de acordo com os modelos de GAB, BET e Oswin. As isotermas de secagem, para as cápsulas selecionadas, se apresentam na forma sigmoideal, sendo classificadas como Isotermas do Tipo II.

PALAVRAS-CHAVE: atomização; maltodextrina; goma arábica; amido modificado.

1 | INTRODUÇÃO

A cor é um dos atributos mais importantes pela indústria de alimentos, que fornece características de qualidade afetando a aceitação do consumidor. No entanto, diversos estudos vêm comprovando toxicidade de corantes sintéticos, e assim, têm provocado uma tendência na indústria alimentícia da produção de produtos naturais, que, ademais, possam fornecer benefícios a saúde (Selim et

al., 2008).

O urucum é uma das principais fontes de corantes naturais utilizados mundialmente. No Brasil, seu uso corresponde a 90% pela indústria. É aplicado na indústria de alimentos como corante em derivados lácteos, embutidos, doces, licores, sorvetes e margarinas. Outros ramos industriais que também fazem uso de suas propriedades tintoriais são: a indústria têxtil e a de tintas e vernizes (Oliveira, 2005; Tocchini, Mercardante 2011).

Segundo Oliveira (2005), os pigmentos do urucum possuem comprovada ação antioxidante, o que tem intensificado o número de pesquisas que visem buscar alternativas para ampliar sua produção. A síntese de derivados da bixina vem sendo pesquisada, procurando oferecer ao mercado novos antioxidantes e fármacos mais eficazes, destinados a aplicações específicas, como na composição de drogas antitumorais, agentes fitoterápicos, entre outras.

Nexte contexto, a microencapsulação do extrato de urucum é vista como um otimizador na utilização desse composto, expandindo suas possibilidades de uso, bem como preservando o material e suas propriedades funcionais. A secagem por spray drying é uma alternativa para produzir corantes em pó com grande quantidade de compostos bioativos. Porém, durante a secagem, os pós costumam apresentar problemas de manipulação, como pegajosidade e alta higroscopicidade. Esses problemas tornam o armazenamento e utilização mais difícil, além de diminuir o rendimento do processo e afetar as características do produto final. (TELIS; MARTINEZ-NAVARRETE, 2010).

A atividade de água descreve a quantidade de água disponível nos alimentos para ser utilizada em reações físicas, químicas e microbiológicas, influenciando o processamento, a qualidade, a segurança e a estabilidade do produto (Duggan et al., 2008). Um importante objetivo da engenharia de alimentos é entender o comportamento da sorção de umidade nos alimentos. Segundo Brett et al. (2009), talvez a melhor maneira de representar as características de sorção de alimentos seja através das isotermas de sorção, pelas quais se pode prever a estabilidade dos alimentos.

Dessa maneira, este projeto se propõe a estudar as isotermas de sorção de quatro combinações de diferentes de material de parede, maltodextrina 10 DE (MD), amido modificado de milho (AM) e goma arábica (GA), do extrato do urucum.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O material a ser encapsulado foi o extrato de urucum (TEBRACC, Itaquaquetuba, Brasil), e os materiais encapsulantes foram maltodextrina 10 DE (Mor-Rex® 1910, Corn Products, Brasil), amido de milho modificado (HiCap 100, National Starch, São Paulo, Brasil) e goma arábica (Synth, São Paulo, Brasil).

2.1 Preparo das Amostras

As misturas foram preparadas seguindo um planejamento estatístico de acordo com a Tabela 1, em que foram definidas as proporções entre os materiais de parede.

Ensaio	MD	AM	GA
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0,333333	0,666667	0
5	0,333333	0	0,666667
6	0	0,333333	0,666667
7	0,666667	0,333333	0
8	0,666667	0	0,333333
9	0	0,666667	0,333333
10	0,333333	0,333333	0,333333
11	0,666667	0,166667	0,166667
12	0,166667	0,666667	0,166667
13	0,166667	0,166667	0,666667
14	0,333333	0,333333	0,333333

Tabela 1: Proporções entre as formulações seguindo o planejamento estatístico.

No preparo das emulsões, fixou-se uma quantidade de polímeros totais em 30%. Os materiais de parede (MD, AM e GA) foram dissolvidos em água deionizada à temperatura ambiente e misturados com o auxílio de um agitador magnético até suas completas dissoluções. As soluções com amido passaram por uma pré-gelatinização a 90°C por 30 minutos. Após a dissolução, as suspensões foram reservadas à 10°C por 24h a fim de garantir a completa hidratação dos polímeros. Após esse tempo, o extrato de urucum foi adicionado à suspensão em uma proporção de 4,5%, sendo emulsionado por um homogeneizador a 18000 rpm por 10 minutos.

2.2 Secagem por Aspersão

As emulsões foram mantidas sob agitação contínua por todo o processo de secagem, o qual foi realizado em um secador modelo Mini Spray Dryer B-290 (BÜCHI, Suíça), cujas dimensões da câmara são: 110 cm de altura e 50 cm de largura, equipado com um bico de aspersão de 0,7 mm. A pressão do compressor foi ajustada a 6kgf/cm², a velocidade do fluxo de ar a 636 L/h, a velocidade do fluxo de alimentação a 3,9 mL/min e a temperatura do ar de entrada a 170°. As amostras secas foram coletadas do equipamento, embaladas em sacos plásticos herméticos, recobertas com papel alumínio e armazenadas em dessecador.

2.3 Determinação de Umidade

Calculou-se a umidade pelo método gravimétrico em estufa a vácuo a 70°C sob pressão reduzida a 100 mmHg até obtenção de peso constante. (AOAC, 1995).

2.4 Eficiência de Encapsulação

A eficiência de encapsulação, definida como a quantidade de material encapsulado, foi calculada como a relação entre o teor de bixina retido nas microcápsulas e o teor de bixina total adicionado à emulsão, como proposto por McNamee, O’Riordan e O’Sullivan (2001) pela Equação 1:

$$EE(\%) = \frac{(BT - BS)}{BT} \quad (1)$$

onde BT é o teor de bixina total das cápsulas de extrato de urucum e BS teor de bixina na superfície das cápsulas.

A determinação do teor de bixina do corante natural de urucum nas microcápsulas foi realizada segundo método de Bligh-Dyer com modificações. A Quantificação do teor de bixina superficial pesou-se 0,2g de microcápsulas em um béquer, adicionou-se 20 mL de clorofórmio e centrifugou-se a 3000 rpm por 10 minutos. Após centrifugação, filtrou-se a amostra, tomou-se 1 mL do filtrado transferindo-se para um balão volumétrico de 10 mL e aferiu-se o balão com diclorometano. Prosseguindo, quantificou-se a bixina em espectrofotômetro a 470 nm.

2.5 Isotermas de Sorção

Para a obtenção das isotermas de sorção, empregou-se o método estático gravimétrico, em que amostras dos materiais encapsulados (0,6g) foram acondicionadas a 25°C utilizando soluções saturadas de sais para se obter atividades de água de 0,112, 0,225, 0,320, 0,432, 0,529, 0,645 e 0,755, de acordo com os procedimentos padrões para determinação de isotermas de sorção segundo Spiess e Wolf (1983). O peso das amostras foi medido até atingir valor constante.

As isotermas de sorção são geralmente descritas por modelos matemáticos baseados em critérios empíricos ou teóricos. O modelo de Guggenheim-Anderson-de-Boer (GAB), descrito na Equação 2, o modelo clássico de Brunauer-Emmett-Teller (BET), descrito na Equação 3, e o modelo de Oswin, descrito na Equação 4, são os mais utilizados para ajustar dados de sorção em produtos alimentícios.

$$X_e = \frac{X_m C_{GAB} K_{GAB} A_w}{[(1 - K_{GAB} A_w) (1 + K_{GAB} (C_{GAB} - 1) A_w)]} \quad (2)$$

onde X_m é a umidade da monocamada (g água/g sólidos), C_{GAB} e K_{GAB} são as constantes do modelo e A_w é atividade de água.

$$X_e = \frac{X_m C_{BET} A_w}{[(1 - A_w) (1 + (C_{BET} - 1) A_w)]} \quad (3)$$

onde X_m é a umidade da monocamada (g água/g sólidos), C_{BET} é a constante do modelo e A_w é atividade de água.

$$X_e = a \left(\frac{A_w}{1-A_w} \right)^b \quad (4)$$

onde a e b são constantes de ajuste do modelo, e A_w é a atividade de água.

Assim, os dados experimentais de isotermas de sorção foram modelados de acordo com os modelos de GAB, BET e Oswin. Os parâmetros dos modelos foram obtidos por regressão não linear pelo programa Origin Pro 8.0. O ajuste significativo na regressão de cada modelo foi avaliado pelo coeficiente de determinação (R^2) e pela soma dos quadrados dos resíduos (SSQ).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados ensaios de secagem em diferentes proporções de material encapsulante a fim de determinar quais as melhores formulações capazes de proporcionar melhores eficiências de encapsulação. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 2.

Ensaio	% Eficiência	% Umidade
1(1 MD)	69,75±1,35	4,52 ± 0,04
2(1 AM)	88,74±0,91	2,36 ± 0,03
3(1 GA)	87,53±3,98	4,05 ± 0,09
4(1/3 MD: 2/3 AM)	82,37±3,59	1,95 ± 0,02
5(1/3 MD: 2/3 GA)	88,08±2,42	3,73 ± 0,08
6(1/3 AM: 2/3 GA)	95,16±1,76	3,11 ± 0,13
7 (2/3 MD: 1/3 AM)	86,13±2,73	2,54 ± 0,12
8(2/3 MD: 1/3 GA)	76,96±1,20	3,27 ± 0,02
9(2/3 AM: 1/3 GA)	93,17±1,97	2,18 ± 0,04
10(1/3 MD: 1/3 AMD: 1/3 GA)	90,83±1,21	3,35 ± 0,02
11(2/3 MD: 1/6 AM: 1/6 GA)	86,87±1,35	3,13 ± 0,09
12 (1/6 MD: 2/3 AM: 1/6 GA)	90,29±0,47	2,84 ± 0,05
13(1/6 MD: 1/6 AM: 2/3 GA)	89,95±1,01	3,58 ± 0,64
14(1/3 MD: 1/3 AMD: 1/3 GA)	90,33±0,99	2,96 ± 0,13

Tabela 2: Resultados obtidos do planejamento experimental para eficiência de encapsulação e umidade.

Os melhores valores para a eficiência de encapsulação foram para as misturas binárias que continham amido modificado e goma arábica, apresentando valores de 95,16% (1/3AM: 2/3GA) e 93,17% (2/3AM: 1/3GA). As misturas ternárias também proporcionaram boas eficiências, que variaram de 86,87% (2/3MD: 1/6AM: 1/6GA) a 90,83% (1/3MD: 1/3AM: 1/3GA).

A goma arábica possui características que facilitam seu grande uso como matriz

encapsulante para retenção de óleos voláteis e aromas, como boa solubilidade em água, propriedades tensoativas e produção de soluções com baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos (Kaushik; Roos, 2007). Segundo King et al. (1976), o amido modificado também atua como um ótimo agente encapsulante, devido à excelente retenção de voláteis (acima de 93%), à estabilização da emulsão e à sua baixa viscosidade. Dessa forma, é justificada o alto percentual de EE para as misturas binárias formadas de goma arábica e amido modificado, bem como algumas formulações terciárias.

De acordo com a ANOVA, o modelo que melhor se ajustou para a análise de variância foi o Cúbico, com R^2 de 0,9671. A superfície de resposta triangular para eficiência de encapsulação (Figura 1) evidencia que a goma arábica e o amido modificado têm maior influência sobre os valores de EE, mostrando que as misturas binárias que continham esses materiais de parede resultaram em melhores eficiências, e que as misturas terciárias também apresentaram bons resultados.

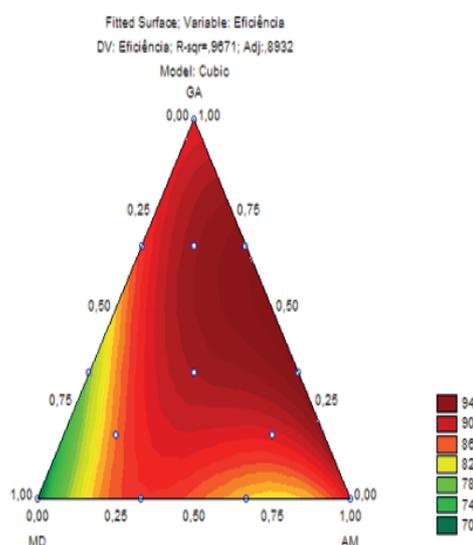


Figura 1: Superfície de resposta triangular para eficiência de encapsulação.

Os resultados experimentais das umidades de equilíbrio (em base seca) de cada matriz obtidas a cada atividade de água a 25°C encontram-se na Tabela 3.

Observou-se um acréscimo das umidades de equilíbrio à medida que se aumentou a atividade de água, encontrando-se valores mais altos para a goma arábica, seguidos dos valores para a maltodextrina e para o amido modificado.

Aw	Umidade de equilíbrio (g/g matéria seca)		
	MD	AM	GA
0,112	0,0433 ± 0,0005	0,0273 ± 0,0026	0,0682 ± 0,0034
0,225	0,0585 ± 0,0004	0,0367 ± 0,0015	0,0869 ± 0,0016
0,32	0,0675 ± 0,0013	0,0406 ± 0,0009	0,1027 ± 0,0006
0,432	0,0724 ± 0,0011	0,0586 ± 0,0019	0,1121 ± 0,0002
0,529	0,0784 ± 0,0019	0,0866 ± 0,0004	0,1228 ± 0,0002
0,645	0,1131 ± 0,0003	0,1130 ± 0,0014	0,1629 ± 0,0355

0,755

0,1517 ± 0,0031

0,1268 ± 0,0065

0,2120 ± 0,0013

Tabela 3: Umidades de equilíbrio da maltodextrina 10DE, do amido modificado e da goma arábica.

Os valores obtidos para as umidades de equilíbrio das matrizes possibilitaram o ajuste pelos modelos GAB, BET e de Oswin, obtendo os parâmetros de cada equação mostrados na Tabela 4. O modelo GAB foi o que melhor se ajustou para os materiais maltodextrina e goma arábica, apresentando R^2 de 0,97543 e 0,98642, respectivamente, e SSQ inferiores a 3%. Já para o amido modificado, o modelo que melhor se ajustou foi o de Oswin, apresentando R^2 de 0,95191 e SSQ de 9,11%.

Dessa forma, a construção das isotermas para esses materiais pode ser feita de acordo com o modelo que melhor se ajustou para cada, como mostrado na Figura 2.

Analisando as isotermas da Figura 2, observa-se que a goma arábica apresentou maiores valores de umidade de equilíbrio em cada atividade de água. De acordo com Be Miller e Whistler (1996), a goma arábica possui grande número de ramificações com grupos hidrofílicos em sua estrutura, o que pode ter sido responsável pela maior capacidade de absorção de água do ambiente.

Modelos	Parâmetros					
	Amostra	Xm	C	K	R ²	SSQ
GAB	MD	0,04376	142,7441	0,94229	0,97543	2,89%
	AM	0,03483	-1,46E+45	9,85E-01	0,85529	35,44%
	GA	0,07056	86,82234	8,84E-01	0,98642	1,15%
BET		Xm	C	R ²	SSQ	
	MD	0,03901	1,20E+45	0,9606	5,10%	
	AM	0,0338	5,51E+44	0,88255	30,17%	
	GA	0,0569	-2,03E+44	0,90627	8,28%	
Oswin		a	b	R ²	SSQ	
	MD	0,08834	4,33E-01	0,93776	8,88%	
	AM	0,07393	5,31E-01	0,95191	9,11%	
	GA	0,13164	3,83E-01	0,96054	4,10%	

Tabela 4: Valores dos parâmetros dos modelos de isotermas para as matrizes de maltodextrina 10DE, amido modificado e goma arábica a 25°C.

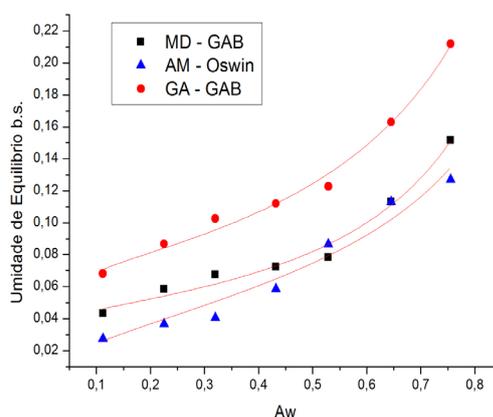


Figura 2: Isotermas de sorção ajustada pelo modelo de GAB (maltodextrina 10DE e goma arábica) e pelo modelo de Oswin (amido modificado) a 25°C.

Foram selecionadas quatro amostras que apresentaram maiores eficiência de encapsulação do planejamento experimental realizado inicialmente, conforme Tabela 2 e Figura 1. Sendo elas as amostras binárias 6 (1/3 AM: 2/3 GA) e 9 (2/3 AM: 1/3 GA) e as amostras ternárias 10 (1/3 MD: 1/3 AM: 1/3 GA) e 12 (1/6 MD: 2/3 AM: 1/6 GA). Essas amostras foram estocadas em determinados ambientes com atividades de água específicas, obtendo-se umidades de equilíbrio que se encontram na Tabela 5.

Aw	Umidade de equilíbrio (g/g matéria seca)			
	U6	U9	U10	U12
0,112	0,0449 ± 0,0018	0,0393 ± 0,0016	0,0416 ± 0,0022	0,0358 ± 0,0010
0,225	0,0583 ± 0,0006	0,0481 ± 0,0002	0,0522 ± 0,0006	0,0460 ± 0,0008
0,32	0,0641 ± 0,0003	0,0537 ± 0,0002	0,0612 ± 0,0041	0,0620 ± 0,0183
0,432	0,0709 ± 0,0005	0,648 ± 0,0016	0,0667 ± 0,0014	0,0636 ± 0,0028
0,529	0,0944 ± 0,0021	0,854 ± 0,0010	0,0865 ± 0,0005	0,0827 ± 0,0015
0,645	0,1323 ± 0,0019	0,1268 ± 0,0014	0,1192 ± 0,0001	0,1206 ± 0,0014
0,755	0,1923 ± 0,0023	0,1802 ± 0,0022	0,1724 ± 0,0011	0,1813 ± 0,0012

Tabela 5 Valores dos parâmetros dos modelos de isotermas para as amostras 6, 9 10 e 12 do planejamento experimental a 25°C.

Assim, essas amostras foram submetidas à metodologia para determinação do modelo que melhor se ajusta às suas umidades de equilíbrio em relação à atividade de água do ar, como é mostrado na Tabela 6. As amostras melhor se ajustaram ao modelo de GAB, com valores de R^2 superiores a 0,985 e SSQ inferiores a 4,6%.

Modelos	Amostra	Parâmetros				
		Xm	C	K	R ²	SSQ
GAB	6(1/3 AM: 2/3 GA)	0,04244	-2,88E+43	1,03441	0,99277	1,58%
	9(2/3 AM: 1/3 GA)	0,03755	6,28E+44	1,05E+00	0,98637	2,09%
	10(1/3 MD: 1/3 AM: 1/3 GA)	0,04068	88,71647	1,01E+00	0,99579	0,78%
	12 (1/6 MD: 2/3 AM: 1/6 GA)	0,03668	-9,22E+44	1,05865	0,98797	4,57%
BET	6(1/3 AM: 2/3 GA)	0,04687	3,67E+01		0,99197	2,06%
	9(2/3 AM: 1/3 GA)	0,04218	-4,28E+44		0,96834	11,53%
	10(1/3 MD: 1/3 AM: 1/3 GA)	0,04221	5,14E+01		0,99587	0,92%
	12 (1/6 MD: 2/3 AM: 1/6 GA)	0,04177	9,20E+44		0,96508	16,29%
Oswin	6(1/3 AM: 2/3 GA)	a	b		R ²	SSQ
	9(2/3 AM: 1/3 GA)	0,09708	5,68E-01		0,95218	18,36%
	10(1/3 MD: 1/3 AM: 1/3 GA)	0,08748	6,18E-01		0,9649	19,88%
	12 (1/6 MD: 2/3 AM: 1/6 GA)	0,08907	5,46E-01		0,95607	14,86%
		0,08653	6,20E-01		0,96091	18,09%

Tabela 6: Valores dos parâmetros dos modelos de isotermas para as amostras 6, 9 10 e 12 do planejamento experimental a 25°C.

O modelo de GAB é baseado no conceito de umidade na monocamada (X_m), o qual representa a quantidade de água que se encontra fortemente adsorvida à superfície da amostra. A umidade da monocamada é aquela que proporciona maior estabilidade e perdas mínimas de qualidade do alimento, minimizando as taxas de reações de deterioração (Goula et al., 2008). De acordo com a Tabela 4, os valores de X_m foram de 4,244% (amostra 6), 4,755% (amostra 9), 4,068% (amostra 10) e 3,668% (amostra 12) para os materiais encapsulados, sendo, então, superiores às umidades dessas amostras (Tabela 2), indicando segurança e estabilidade para os produtos.

Na Figura 3, encontram-se as isotermas referentes às amostras 6, 9, 10 e 12 à temperatura de 25°C. Observa-se que as curvas são muito próximas, apesar de que a curva da formulação 6 (1/3 AM: 2/3 GA) apresentou maior higroscopicidade. Esse fato acontece devido à alta proporção de goma arábica na mistura, pois, como visto na Tabela 2, esse material influencia em maiores umidades de equilíbrio.

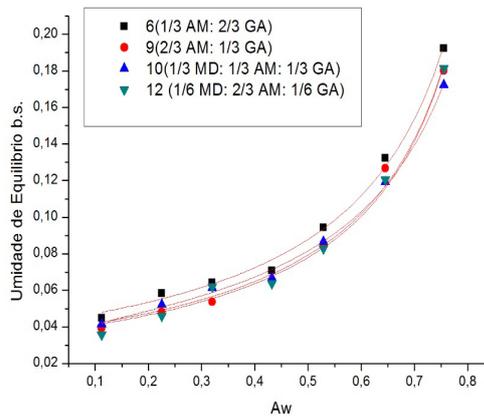


Figura 3: Isothermas de sorção ajustada pelo modelo de GAB para as amostras 6, 9 10 e 12 do planejamento experimental a 25°C.

Tonon et al. (2009) avaliaram o comportamento de sorção de suco de açaí atomizado com maltodextrina, amido de mandioca nativo e goma arábica. Seus resultados também indicaram que a goma arábica influenciou em maior poder higroscópico das amostras, seguidos da maltodextrina e do amido.

4 | CONCLUSÃO

As amostras selecionadas para a avaliação de isothermas de sorção de água apresentaram umidades de equilíbrio muito próximas para cada atividade de água do ambiente, com exceção da amostra 1/3AM: 2/3GA que, devido à maior higroscopicidade da goma arábica e por estar em maior concentração, apresentou valores de umidade levemente maiores.

5 | NOMENCLATURA

MD: maltodextrina 10DE.

Am: amido de milho modificado

GA: goma arábica

EE: eficiência de encapsulação (%)

BT: teor de bixina total das cápsulas de extrato de urucum (%)

BS: teor de bixina na superfície das cápsulas (%)

Xe: umidade de equilíbrio (g água/g sólidos)

Xm: umidade da monocamada (g água/g sólidos)

C_{GAB} e K_{GAB} são as constantes do modelo de GAB

Aw: atividade de água.

C_{BET} : constante do modelo de BET

Aw: atividade de água.

a e b: constantes de ajuste do modelo Oswin

REFERÊNCIAS

AOAC. (1995). **Official and Tentative Methods of the AOAC International**. Maryland.

BE MILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. (1996). **Carbohydrates**. In: FENNEMA, O. R. (Ed.). Food Chemistry. New York: Marcel Dekker, cap. 4, p. 157-224.

GOULA, A.M.; KARAPANTSIOS, T.D.; ACHILIAS, D.S.; ADAMOPOULOS, K.G. (2008). **Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp**. Journal of Food Engineering. v. 85 p.73-83.

KAUSHIK, V.; ROOS, Y.H. (2007). **Limonene encapsulation in freeze-frying of gum Arabic-sucrose-gelatin systems**. Food Science and Technology, v. 40, p.1381-1391.

KING, W.; TRUBIANO P., PERRY, P. (1976). **Modified starch encapsulating agents offer superior emulsification, film forming and low surface oil**. Food Product Development, p.54-57.

MCNAMEE, B. F., O'RIORDAN, E.D., O'SULLIVAN, M. (2001). **Effect of partial replacement of gum Arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49(7): 3385–3388.

OLIVEIRA, J. S. (2005). **Caracterização, extração e purificação por cromatografia de compostos de urucum (*Bixa orellana* L.)**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 192f.

SELIM, K.A. KHALIL, K.A. ABDEL-BARY, M.S. ABDEL-AZEIN, N.A. (2008). **Extraction, Encapsulation and Utilization of Red Pigments from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as Natural Food Colourants**. Journal of Food Science Technology. Special Volume Conference p.7-20.

SPIESS, W.E.L.; WOLF, W. (1983). **The results of the COST 90 project on water activity**. In: **Physical properties of foods**, Elsevier Science Publishing Company, London, England. p. 65-87.

TOCCHINI, L.; MERCADANTE, A. Z. (2001). **Extração e determinação, por CLAE, de bixina e norbixina em coloríficos**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 21, n. 3, p. 310-313.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. (2008). **Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying**. Journal of Food Engineering, v. 88, p. 411-418.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-084-1

