

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-
GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO
STRICTO SENSU EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

HIGROSCOPICIDADE DO EPICARPO, MESOCARPO E
FARINHA DA AMÊNDOA DE BARU (*Dipteryx alata* Vogel)

Autor: Fábio Rodrigues de Oliveira
Orientador: Daniel Emanuel Cabral de Oliveira

Rio Verde – GO
Agosto - 2018

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-
GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
STRICTO SENSU EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

HIGROSCOPICIDADE DO EPICARPO, MESOCARPO E
FARINHA DA AMÊNDOA DE BARU (*Dipteryx alata* Vogel)

Autor: Fábio Rodrigues de Oliveira
Orientador: Daniel Emanuel Cabral de Oliveira

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração em Tecnologia e Processamento de Alimentos.

Rio Verde – GO
Agosto - 2018

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

O49h Oliveira, Fábio Rodrigues de Oliveira
Higroscopicidade do epicarpo, mesocarpo e farinha
da amêndoa de baru (*Dipteryx alata* Vogel) / Fábio
Rodrigues de Oliveira Oliveira; orientadora Daniel
Emanuel Cabral de Oliveira Emanuel Cabral de
Oliveira; co-orientadora Osvaldo Rezende Rezende. --
Rio Verde, 2018.
57 p.

Dissertação (Mestrado em pós graduação) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2018.

1. Teor de água de equilíbrio . 2. Isotermas. 3.
Calor isostérico . 4. Frutos do cerrado. 5. Farinha
da amêndoa. I. Emanuel Cabral de Oliveira, Daniel
Emanuel Cabral de Oliveira, orient. II. Rezende,
Osvaldo Rezende, co-orient. III. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**HIGROSCOPICIDADE DO EPICARPO, MESOCARPO E
DA FARINHA DA AMÊNDOA DE BARU**

Autor: Fábio Rodrigues de Oliveira
Orientador: Daniel Emanuel Cabral de Oliveira

TITULAÇÃO: Mestre em Tecnologia de Alimentos – Área de Concentração
em Tecnologia e Processamento de Alimentos.

APROVADA em 14 de agosto de 2018.



Dr. Osvaldo Resende
Avaliador interno
IF Goiano/Rio Verde



Dr. Jacson Zuchi
Avaliador externo
Polo de Inovação/ IF Goiano - Rio Verde



Dr.ª Geovana Rocha Plácido
Avaliadora interna
IF Goiano/Rio Verde



Dr. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira
Presidente da banca
IF Goiano/Iporá

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente que me concedeu esta oportunidade, a minha família que me apoiou e incentivou em todos os momentos com paciência nos momentos que mais precisei. A minha mãe Suely Rodrigues de Moura, que me ensinou que o único valor que ninguém tira de você e seu aprendizado, aos amigos e companheiros que sempre me apoiavam de uma forma especial. Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, ao Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais. Aos Professores Daniel Emanuel e Professor Doutor Osvaldo Resende pelo auxílio e incentivo e nas orientações e direcionamento dos trabalhos, aos colegas de laboratório e Programa de Mestrado em Tecnologia de Alimentos, sempre dispostos a me auxiliar. Obrigado!

BIOGRAFIA DO AUTOR

FÁBIO RODRIGUES DE OLIVEIRA, filho de Suely Rodrigues de Moura e Edson Pereira de Oliveira, nasceu em Jataí, Estado de Goiás em 27 de dezembro de 1980.

Iniciou sua alfabetização na Escola Municipal Instituto São Jose nos anos??, continuando seus estudos no Colégio estadual Prof. Samuel Graham até 1996. Coursou entre 2005 a 2007 o curso técnico em eletrotécnica no Instituto Federal Goiás, que nesse período se chamava CEFET (Centro Federal de Educação Tecnológica de Jataí).

Iniciou em 2007 a graduação em tecnologia de alimentos pela UEG (Universidade estadual de Goiás- Campus Jataí) concluindo em 2011.

Em 2016, ingressou no então Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, na área de Pós-Colheita de Produtos Vegetais em busca da titulação de Mestre.

Em agosto de 2018, defendeu sua dissertação para obtenção de seu tão esperado diploma de Mestre.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICES DE TABELA.....	vi
ÍNDICES DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS,SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	x
RESUMO GERAL.....	X
ABSTRACT.....	xii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1. Baru.....	1
2. Higroscopicidade.....	3
3. Calor Isostérico.....	4
4. Referências Bibliográficas.....	4
OBJETIVOS.....	7
1. Geral.....	7
2. Específicos.....	7
CAPÍTULO I - HIGROSCOPICIDADE DO EPICARPO E MESOCARPO DE BARU (<i>Dipteryx alata</i> Vogel).....	8
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1.1 INTRODUÇÃO.....	10
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14

1.4 CONCLUSÕES.....	24
1.5 AGRADECIMENTOS.....	24
1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
CAPÍTULO II - ISOTERMAS DE DESSORÇÃO E CALOR ISOSTÉRICO INTEGRAL DA FARINHA DA AMÊNDOA DE BARU.....	29
RESUMO.....	29
ABSTRACT.....	30
1.1 INTRODUÇÃO.....	31
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
1.4 CONCLUSÕES.....	40
1.5 AGRADECIMENTOS.....	40
1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
CONCLUSÃO GERAL.....	43

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I - HIGROSCOPICIDADE DO EPICARPO E MESOCARPO DE BARU (*Dipteryx alata* Vogel)

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de higroscopicidade de produtos vegetais.....	12
Tabela 2. Valores médios do teor de água de equilíbrio (% b.s.) do epicarpo do baru (<i>Dipteryx alata</i> Vogel), obtidos pelo processo de dessorção, em função da temperatura (°C) e da atividade de água (decimal).....	15
Tabela 3. Valores médios do teor de água de equilíbrio (% bs) do mesocarpo do baru (<i>Dipteryx alata</i> Vogel), obtidos pelo processo de dessorção, em função da temperatura (°C) e da atividade de água (decimal).....	16
Tabela 4. Parâmetros dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para o epicarpo do baru (<i>Dipteryx alata</i> Vogel) com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médios estimados (SE, decimal) e relativo (P, %) e <i>Qui</i> -quadrado (χ^2 , decimal).....	17
Tabela 5. Parâmetros dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para o mesocarpo do baru (<i>Dipteryx alata</i> Vogel) com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médios estimados (SE, decimal) e relativo (P, %) e <i>Qui</i> -quadrado (χ^2 , decimal).....	19

CAPÍTULO II - ISOTERMAS DE DESSORÇÃO E CALOR ISOSTÉRICO

INTEGRAL DA FARINHA DA AMÊNDOA DE BARU

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de higroscopicidade de produtos vegetais.....	33
Tabela 2. Valores médios do teor de água de equilíbrio (% bs) da farinha da amêndoa do baru (<i>Dipteryx alata</i> Vogel), obtidos pelo processo de dessorção, em função da temperatura (°C) e da atividade de água (decimal).....	36
Tabela 3. Parâmetros dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para a amêndoa do baru (<i>Dipteryx alata</i> Vogel) com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médios estimados (SE, decimal) e relativo (P, %) e <i>Qui-quadrado</i> (χ^2 , decimal).....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I - HIGROSCOPICIDADE DO EPICARPO DE BARU (*Dipteryx alata* Vogel)

Figura 1. Valores experimentais do teor de água de equilíbrio e isothermas de dessorção estimadas pelo modelo de Sigma Copace para o epicarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel), em diferentes condições de temperatura e atividades de água.....20

Figura 2. Valores experimentais e estimados do calor isostérico integral de dessorção em função do teor de água de equilíbrio para o epicarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel).....21

CAPÍTULO II - HIGROSCOPICIDADE DO MESOCARPO DE BARU (*Dipteryx alata* Vogel)

Figura 3. Valores experimentais e estimados do calor isostérico integral de dessorção em função do teor de água de equilíbrio para o epicarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel).... 22

Figura 4. Valores experimentais e estimados do calor isostérico integral de dessorção em função do teor de água de equilíbrio para o mesocarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel)...23

CAPÍTULO III - ISOTHERMAS DE DESSORÇÃO E CALOR ISOSTÉRICO INTEGRAL DA FARINHA DA AMÊNDOA DE BARU

Figura 1. Valores experimentais do teor de água de equilíbrio e isothermas de dessorção estimadas pelo modelo de Chung-Pfost para a amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vogel), em diferentes condições de temperatura e atividades de água.....39

Figura 2. Valores experimentais e estimados do calor isostérico integral de dessorção em função do teor de água de equilíbrio para a amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vogel)....40

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Aw	Atividade de água
et al.	e colaboradores
%	Porcentagem
% (bs)	Porcentagem em base seca
°C	Grau Celsius
GO	Goiás
mg/L	Miligramas por litro
±	Mais ou menos
g	Gramas
BOD	Biochemical oxygen demand
R ²	Coefficiente de determinação
P	Erro médio relativo
SE	Erro médio estimado
χ^2	<i>Qui-quadrado</i>

RESUMO GERAL

OLIVEIRA, FÁBIO RODRIGUES. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. Agosto de 2018. **Higroscopicidade do Epicarpo, Mesocarpo e Farinha da Amêndoa de Baru** (*Dipteryx alata* Vogel). 2018. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira “Orientador”; Osvaldo Resende “Coorientador”.

O presente estudo vem abordar o tema da polpa e amêndoa dos frutos de baru (*Dipteryx alata* Vogel), um pseudofruto que faz parte da família das leguminosas e, que está inserida no bioma cerrado. É utilizada pela população local, como alimento e também para fins lucrativos tanto como madeira, como na parte medicinal, industrial e paisagismo. Com este estudo, objetivou-se determinar a higroscopicidade da polpa e amêndoa dos frutos de baru para diferentes condições do ar e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, bem como, obter os valores do calor isostérico de dessecamento em função do teor de água de equilíbrio do produto. Os frutos foram selecionados, sanitizados e deixados de molho em água a 30°C durante 18 horas, etapa necessária pela dureza do epicarpo e mesocarpo (polpa), que após o período de amolecimento, foram raspados com uma faca. As amêndoas foram extraídas do interior do endocarpo lenhoso utilizando um equipamento denominado máquina de quebrar coco baru, produzido pela empresa Metal Mix. Para condução do experimento, os teores de água foram obtidos pela secagem, seguido do método gravimétrico até que se alcançasse o teor de água desejado 0,3737 a 0,8903 (decimal). As isotermas de sorção do epicarpo, polpa e amêndoa dos frutos de baru foram determinadas utilizando o método estático indireto, sendo a atividade de água (aw)

determinada por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1. Para cada teor de água, foram utilizadas três amostras de aproximadamente 20 g, as quais foram colocadas individualmente no recipiente do equipamento e acondicionados em B.O.D. regulada a 10, 20, 30 e 40 °C. Os dados experimentados foram ajustados por meio de cinco modelos matemáticos com a finalidade de se obter os parâmetros desses modelos e escolher aquele que melhor representasse as isotermas e para o cálculo do calor isostérico. A escolha do melhor ajuste deu-se em função do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio médio relativo (P). De acordo como os resultados obtidos pode-se concluir que: O modelo Sigma Copace é o que melhor representa a higroscopicidade do epicarpo e mesocarpo do baru. O modelo de Sigma Copace com valores de erros médios estimado SE (1,396), e um Qui-quadrado χ^2 (1,949), coeficiente de determinação de R^2 (98,10), respectivamente P% (5,350) para o epicarpo do baru. O modelo de Sigma Copace com valores de erros médios estimado SE (1,396), e um Qui-quadrado χ^2 (1,949), coeficiente de determinação de R^2 (98,10), respectivamente P% (5,350) foi o que melhor representou o fenômeno para o mesocarpo do baru. O modelo de Chung-Pfost foi o que melhor representou a higroscopicidade da farinha da amêndoa do baru por apresentar o maior coeficiente de determinação, e os menores valores de erros médios relativos e estimados e do teste de Qui-quadrado.

Palavras-chave: Teor de água de equilíbrio. Isotermas. Calor isostérico. Frutos do cerrado. Farinha da amêndoa.

ABSTRACT

OLIVEIRA, FÁBIO RODRIGUES. Goiano Federal Institute - Rio Verde Campus - GO. June 2018. **Baru** (*Dipteryx alata* Vogel) **Epicarpo and Mesocarpo Hygroscopicity** . 2017. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira "Advisor"; Osvaldo Resende "Co-Advisor".

The present study deals with the pulp and almond of Baru (*Dipteryx alata* Vog.) fruits, which is part of the legume family, and it is inserted in the Cerrado biome. It is used by the local population as food and also for profit purposes such as wood, medicinal, industrial and landscape. The objective of this study was to determine the pulp and almond hygroscopicity of baru fruits in different air conditions and to adjust different mathematical models to the experimental data, as well as to obtain isosteric desorption heat values in function of the equilibrium water content of the product. The fruits were harvested and separated according to integrity, discarding those that present degraded parts, soon after they were sanitized and then they went through a process of rinsing. After the sanitization step the fruits were soaked in water at 30 °C for 18 hours, this step is necessary because of the mesocarp (pulp) hardness which was scraped with a knife after this softening period. The almonds were extracted from the interior of the woody endocarp using an equipment called coconut baru breaking machine produced exclusively by the company Metal Mix. For conducting the experiment, the water contents were obtained by drying the epicarpus, mesocarp and almonds in a forced ventilation oven, maintained at a temperature of 45 ° C. The reduction of the water content during the drying was accompanied by the gravimetric

method, with weighing sequences until the desired water content was reached from 0.3737 to 0.8903 (decimal). The sorption isotherms of the epicarp, pulp and almond of the baru fruits were determined using the indirect static method while the water activity (a_w) was determined by means of the Hygropalm Model Aw1 equipment. For each water content, three samples of approximately 20 g were used, which were placed individually in the equipment container and packaged in B.O.D. regulated at 10, 20, 30 and 40°C. According to the results it was concluded that: The water content of hygroscopic equilibrium of the baru epicarp is proportional to the water activity and reduces with the temperature increase for a same value of equilibrium water content. The Sigma Copace model is the one that best represents the baru epicarp hygroscopicity. The isosteric seed heat of the baru epicarp increases with the decrease of the equilibrium water content, requiring a greater amount of energy to remove the water. Among the models analyzed to the experimental data, it was verified that the model that best represented the experiment was the Sigma Copace model with mean error values estimated SE (1.396), and a chi-square χ^2 (1.949), coefficient of determination of R^2 (98.10), respectively P% (5.350). The model Copace was another model that presented results close to the Sigma Copace model, with mean error values estimated SE (1.450), and a chi-square χ^2 (2.102), determination coefficient of R^2 (97.95), respectively P% (5.505), but these small differences may prove to be biased and lead to error. Therefore, all the models tested presented a satisfactory performance in relation to the hygroscopic equilibrium water contents for the baru mesocarp samples, although the Sabbah model did not fit properly. The reduction in water content provides an increase in the energy required to remove the water from the baru mesocarp. The water content of the hygroscopic balance of the baru almond flour was directly proportional to the water activity and decreased with the temperature increase, for a same value of water activity. The Chung-Pfost model was the one that best represented the baru almond flour hygroscopicity by have the highest determination coefficient and the lowest values of mean relative and estimated errors and the Chi-square test.

Key words: Balance water content. Isotherms. Isosteric heat. Fruits of the cerrado.

INTRODUÇÃO GERAL

1. Baru

O baru (*Dipteryx alata* Vog.) é da família das leguminosas tendo como subfamília as papilionoidea e é conhecido como baru, barujo, bugueiro, cambaru, castanha-de-bugre, coco-feijão, cumari, cumaru, cumarurana sendo que esta denominação depende da região em que se encontra o fruto. Apresenta características específicas, como um epicarpo fino e marrom, o mesocarpo é duro com polpa adocicada, o endocarpo é lenhoso o qual abriga a amêndoa, semente comestível, sendo muito apreciado também, pelo gado e animais silvestres da região (Cruz et al., 2011).

A árvore que produz o baru é de grande porte, tem ótimos indicadores de produtividade como vida útil de 60 anos, capacidade de produção em torno 150 kg por ciclo sazonal. Os primeiros frutos surgem por volta de seis anos, isto por ter uma expectativa de início de colheita muito rápido, tornando a produção do baru uma atividade atrativa para os produtores locais, pois, o retorno do investimento é rápido (Carraza & Ávila, 2010).

O período de formação dos frutos ocorre de janeiro a outubro, sendo que a coleta dos frutos maduros e conseqüentemente as sementes (amêndoa) estão disponíveis nos

meses de julho a outubro, dependendo da localidade e dos regimes climáticos (Pimentel, 2008).

O uso de frutos nativos no processamento de alimentos e bebidas é importante para popularizar as espécies, agregando-lhes valor e gerando empregos, embora isto seja insuficiente para conter o desmatamento. No entanto, casos de sucessos em conservação e produção, espécies amazônicas, como o açaí, o cupuaçu e a castanha-do-Brasil, demonstram que é possível produzir, processar e preservar o meio ambiente (Aquino et al., 2007).

O baru é constituído por um epicarpo fino, de coloração marrom, polpa com sabor adocicado e adstringente, que abriga uma semente comestível. A amêndoa do baru representa 5% do rendimento em relação ao fruto inteiro, sendo que é preciso encontrar a melhor forma de extrair a amêndoa do endocarpo lenhoso, do contrário pode dificultar o melhor aproveitamento (Ribeiro, 2000).

A amêndoa de baru possui grande riqueza energética, além de vitaminas, sais minerais e gordura vegetal. Pode ser consumida *in natura*, porém, levando em conta a adstringência do sabor, o consumo popular é da amêndoa torrada, que lembra o sabor de outras espécies de amêndoas. Muito consumida como aperitivo e na formulação de doces típicos das regiões as quais pertencem (Botezzeli et al., 2000).

A amêndoa do baru é classificada como uma semente comestível, oriunda do fruto da família das leguminosas e apresenta características semelhantes aos frutos secos como: avelã, castanha do Brasil, castanha de caju, macadâmia e pecã, apesar da classificação botânica diferente (Freitas & Naves, 2010). A amêndoa de baru contém alto teor de proteínas, fibra insolúvel e minerais importantes para dieta. Com características sensoriais agradáveis (Santos et al., 2012). A semente contém óleo rico em ácidos graxos insaturados, que viabiliza a produção de medicamentos e alimentos funcionais (Sano et al., 2004).

A amêndoa é muito valorizada pela população local por suas características sensoriais, com sabor que lembra muito o amendoim (Fernandes et al., 2010). Aspectos estes que elevam a possibilidade de elaboração de novos produtos, de composição nutricional, dentre outros aspectos citado por diversos autores. Cada possibilidade de aplicação deve ser muito bem explorada e com bastante critério, no intuito de verificar a melhor forma de processamento e aproveitamento na produção de alimento.

2. Higroscopicidade

Segundo Telis et al. (2000), a higroscopicidade é de grande relevância para vários processos, desidratação e armazenamento. De posse destes dados é possível determinar a isoterma sorção e a relação entre as substâncias que integram o alimento e a água, além de determinar a capacidade final de umidade e avaliar a energia necessária para o processo de secagem.

Por serem altamente higroscópicas, as sementes têm comportamento diferenciado nas isotermas de sorção. Sementes ricas em óleo apresentam teores de água de equilíbrio mais baixos em relação às sementes amiláceas, quando armazenadas em condições ambientais semelhantes, pois absorvem menos água, por serem hidrófobas (Brooker et al., 1992).

Assim, a redução do conteúdo de água a um nível muito baixo, elimina a possibilidade de deterioração microbiana além de reduzir sensivelmente a velocidade de outros mecanismos de deterioração, por conta da redução da A_w . Além do efeito conservante, a desidratação reduz o peso e o volume do alimento, aumentando a eficiência do transporte e do armazenamento. A secagem facilita o uso e diversifica a oferta dos produtos. Em algumas situações, a desidratação permite obter produtos de mais fácil utilização e com características sensoriais distintas (Ordonez, 2005).

É possível estabelecer uma relação estreita entre o teor de água livre no alimento e sua conservação. O teor de água livre é expresso pela atividade de água (a_w) que é dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento e a pressão de vapor de água pura na mesma temperatura (Mohsenin, 1986).

O estudo das curvas de sorção (adsorção e dessorção), que relacionam a atividade de água com a umidade relativa de equilíbrio, fornece informações relevantes para adequação dos parâmetros de secagem. A afinidade existente entre a água e os outros componentes de um produto, define sua higroscopicidade que é muito marcante nos produtos e torna-se uma característica fundamental para influenciar os processos de manuseio, estocagem e consumo de materiais biológicos (Teixeira Neto & Quast, 1993).

A higroscopicidade tem servido de parâmetro importante para determinar o comportamento de alimentos e produtos pós-colheita frente aos métodos de conservação, obedecendo a especificidade de cada produto, visto que cada um deles tende a absorver ou perder água para o ambiente perante as temperaturas e umidades diferentes (Teixeira Neto & Quast, 1993).

A diferença entre as curvas de adsorção e dessorção estão diretamente ligadas a parâmetros físico-químicos do alimento e sua temperatura de armazenamento, os quais serão indicadores das reações químicas, como também proliferação de microrganismos (Frankowicz & Chrenowski, 2006).

3. Calor Isostérico

O calor isostérico fornece os dados necessários para estimar as alterações físicas e químicas que acontecem na superfície dos alimentos e em sua composição estrutural, mensurando a energia necessária para remover a quantidade de água dos alimentos (Costa et al., 2013).

É de grande importância o conhecimento do calor isostérico de sorção em função do teor de água de equilíbrio para que se compreenda a interação das moléculas de água com as demais substâncias químicas que compõe o produto, sendo possível determinar a energia gasta para secar o produto, sendo que o custo de secagem é fator determinante no processo de conservação de produtos agrícolas (Resende, 2006).

A energia necessária durante o processo de dessorção se eleva em alimentos com alto teor de água com valores próximos ao calor latente de água de vaporização, mas quando o teor de água é reduzido pelo processo de secagem, cresce na mesma proporção (Oliveira et al, 2017).

4. Referências bibliográficas

AQUINO, F. G.; WALTER, B. M. T.; RIBEIRO, J. F. Espécies vegetais de uso múltiplo em reservas legais de Cerrado. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 5, supl., p. 147 -149, 2007.

BOTEZELLI, L.; DAVIDE, A. C.; MALAVASI, M. M. Características dos frutos e sementes de quatro procedências de *Dipteryx alata* Vogel. *Cerne*, v.6, n.1, p.9-18, 2000.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. Grain equilibrium moisture content. In: BROOKER, D. B.; BAKKERARKEMA, F. W.; HALL, C. W. *Drying and storage of grains and oilseeds*, New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1992, p.67- 86.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de. Isotermas de dessecção e calor isostérico dos frutos de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.412-418, 2013.

CRUZ, K. S.; SILVA, M. A.; FREITAS, O.; NEVES, V. A. Partial Characterization of Proteins from Baru (*Dipteryx alata* Vog) seeds. *Journal of the Science of food and Agriculture*, v.91, n. 11, p. 2006-12, Aug. 2011.

CARRAZZA, L. R.; D'ÁVILA, J. C. C. Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Baru (*Dipteryx alata*). 2ª edição, Brasília – DF, 2010.

DITCHFIELD, C. Estudo dos métodos para medida da atividade de água. Mestrado em Engenharia Química. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenharia Química, 2000. 195p. (Dissertação de Mestrado).

FERNANDES, D. C.; FREITAS, J. B.; CZEDER, L. P.; NAVES, M. M. V. Nutritional composition and protein value of the baru (*Dipteryx alata* Vog.) almond from the Brazilian Savanna. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 90, n. 10, p. 1650–1655, 2010.

FRANKOWICZ, M.; CHRENOWSKI, M. Application of Preisach model to adsorption – desorption hysteresis. *Physica B: Condensed Matter*, v.372, p. 219-221, 2006.

FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. *Revista de Nutrição*, v.23, n.2, p.269-279, 2010.

MOHSENIN, N. N. *Physical properties of plants and animals materials*. 2.ed. Amsterdam: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p

OLIVEIRA, D. E. C. DE; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; FERREIRA JÚNIOR, W. N.; SILVA, I. O. F. Hygroscopicity of baru (*Dipteryx alata* Vogel) fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, p.279-284, 2017.

ORDÓÑEZ, J. A. *Tecnologia de Alimentos - Componentes dos Alimentos e Processos*. Vol. 1. Tradução: Fátima Murad. Artmed Editora, Porto Alegre, p.25-31; 201-203. 2005.

PIMENTEL, N. M. Processo Produtivo para o Aproveitamento dos Produtos Florestais Não-Madeireiros do Baru (*Dipteryx alata* Vog.). 107 f. Dissertação (Mestre em Ciências

Florestais). Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

RESENDE, O. Variação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e armazenamento. 2006. 180f. Universidade Federal de Viçosa- Viçosa. - MG.

RIBEIRO, J. F.; SANO, S.; BRITO, M. A. de; FONSECA, C. E. L. da Baru (*Dipteryx alata* Vog.). Jaboticabal: Funep, 2000. 41 p. (Serie Frutas Nativas, 10).

SANTOS, G. G.; SILVA, R. M.; CACERDA, S. C. B. D.; MARTINS, O. M. D; ALMEIDA. A. R.; Aceitabilidade e qualidade físico-química de paçocas elaboradas com amêndoa de baru. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 42, n. 2, p. 159-165, 2012.

SANO, S. M.; RIBEIRO, J. P.; BRITO, M. A. Baru: biologia e uso. Planaltina: Embrapa Cerrados, (Documentos, 116), 2004.

TEXEIRA NETO, R. O.; QUAST, D. G. Isotermas de adsorção de umidade em alimentos. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos, v. 8, p. 141-197, 1993.

TELIS, V. R. N.; GABAS, A. L.; MENEGALLI, F. C.; TELISROMERO, J. L. Water sorption thermodynamic properties applied to persimmon skin and pulp. Thermochemica Acta, v. 343, n. 1-2, p. 49-56, 2000.

OBJETIVOS

1. Geral

Determinar a higroscopicidade do epicarpo, mesocarpo e farinha da amêndoa do baru e posteriormente foi determinar o calor isostérico integral de dessorção.

2. Específicos

- Obter as atividades de água para as diferentes temperaturas e teores de água;
- Obter as isotermas de dessorção e estudar o equilíbrio higroscópico para o epicarpo, mesocarpo e amêndoa de baru;
- Determinar o calor isostérico integral do epicarpo, mesocarpo e farinha da amêndoa de baru.

CAPÍTULO I

HIGROSCOPICIDADE DO EPICARPO E MESOCARPO DE BARU (*Dipteryx alata* Vogel)

BARU EPICARPO AND MESOCARPO HYPROSCOPICITY (*Dipteryx alata* Vogel)

RESUMO – O baru é fruto do cerrado brasileiro que possui algumas características que o difere dos demais frutos, principalmente pelo mesocarpo lenhoso, tornando a retirada da amêndoa, extremamente difícil. O epicarpo é fino com coloração marrom. O conhecimento do equilíbrio higroscópico do mesocarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel) traz consigo possibilidades de manipular adequadamente, obtendo o controle do seu teor de água em níveis adequados para o armazenamento seguro. A produção deste fruto é sazonal, mudando o período de colheita de acordo com a região. Neste sentido, objetivou-se com este trabalho determinar as isotermas de dessecção do epicarpo e mesocarpo do baru e mensurar os valores do calor isostérico de dessecção em função do teor de água de equilíbrio. Os frutos foram sanitizados com hipoclorito de sódio e imersos em água a 30°C por 18 horas para o amolecimento do pericarpo. Para obter os teores de água de equilíbrio higroscópico, utilizou-se a secagem em estufa com ventilação de ar forçado, mantida na temperatura de 45°C, e para o método estático indireto, utilizou-se do equipamento

Hygropalm Model Aw1. O epicarpo e o mesocarpo do baru possuem uma atividade de água proporcional ao teor de água de equilíbrio, ao se reduzir atividade água o teor de água de equilíbrio reduz também. Sendo o modelo matemático Sigma Copace o que melhor representa a higroscopicidade do epicarpo de baru. O calor isostérico do epicarpo e mesocarpo do baru aumenta com a redução do teor de água de equilíbrio, sendo necessária maior quantidade de energia para retirar a água.

Palavras-chaves: Teor de água de equilíbrio, Isotermas, Sigma Copace.

ABSTRACT - Baru is a fruit of the Brazilian cerrado that has some characteristics that differs from the other fruits, mainly by the woody mesocarp, which turns the almond removal extremely difficult. The epicarp is thin with brown coloring. The knowledge of the hygroscopic balance of the baru mesocarp (*Dipteryx alata* Vogel) possibilities to handle its water content in levels suitable for safe storage. This fruit production of this fruit is seasonal, changing the harvest period according to the region. In this sense, the objective of this work was to determine the sorption isotherms of the barium epicarp and to measure the desorption isosteric heat values as a function of the equilibrium water content. The fruits were sanitized with sodium hypochlorite and immersed in water at 30 °C for 18 hours for the softening of the pericarp. In order to obtain the hygroscopic equilibrium water contents an oven with forced air ventilation, maintained at a temperature of 45 °C, was used. The indirect static method was used through the Hygropalm Model Aw1 equipment. The baru epicarp is proportional to the equilibrium water content and reduces with increasing temperature to the same equilibrium water content value, being the mathematical model Sigma Copace which best represents the baru epicarp hygroscopicity. The isosteric heat of the barium epicarp increases with the reduction of the equilibrium moisture content reduction, requiring a higher amount of energy to withdraw the water.

Key words: Equilibrium moisture content, isotherms, Sigma Copace.

1.1 Introdução

O baru (*Dipteryx alata* Vogel) é da família das leguminosas tendo como subfamília as papilionoidea sendo o fruto originado é conhecido como baru, barujo, bugueiro, cambaru, castanha-de-bugre, coco-feijão, cumari, cumaru, cumarurana dependendo da região em que se encontra o fruto uma árvore natural do cerrado que atinge alta produtividade na fase adulta (Sano et al., 2006). Este fruto apresenta características específicas, como um epicarpo fino e marrom, um mesocarpo duro e polpa adocicada, um endocarpo lenhoso, que abriga uma amêndoa comestível.

Quando este fruto atinge a maturação se desprende do barueiro caindo ao chão, tornando um alimento muito apreciado pelo gado e animais silvestres presentes nestas regiões (Cruz et al., 2011) não sendo diferente no gosto popular, já que a amêndoa é bem valorizada, principalmente pela população local pelas suas características sensoriais, com ênfase no sabor pela semelhança como amendoim (Fernandez et al., 2010).

A determinação das curvas de equilíbrio higroscópico é relevante para estabelecer limites de desidratação do produto, para avaliar mudanças de umidade sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ambiente, para estabelecer os teores de água favoráveis e para a ativação de reações que levam o produto a deterioração do produto (Oliveira et al. 2013). Estes parâmetros serão indicadores de reações químicas como também proliferação de microrganismos (Frankowicz & Chrenowski, 2006).

Segundo Corrêa et al. (2014), as isotermas de sorção são utilizadas para diversos propósitos, tais como: estabelecer o tempo de secagem, determinar parâmetros técnicos para misturar e embalar os produtos, bem como, as mudanças de umidade que acontecem no período de armazenagem e, definir sua estabilidade. O calor isostérico é determinado a partir das isotermas de sorção, através de modelos matemáticos simples (Chen, 2006).

De acordo com Aviara & Ajibola (2002), o calor isostérico é uma propriedade termodinâmica de sorção de água crucial na análise do fenômeno de transferência de calor e de massa. Diante de sua relevância, objetivou-se com este trabalho, determinar a higroscopicidade do epicarpo do baru e posteriormente, o calor isostérico integral de

dessorção e analisar as condições ideais de armazenamento do baru e assim, dimensionar o melhor processo a ser utilizado no armazenamento, tendo em vista as especificidades da matéria-prima do fruto do baru.

1.2 Material e métodos

A presente pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, localizado no município de Rio Verde, GO. Os frutos de baru (*Dipteryx alata* Vogel) foram coletados manualmente na cidade de Porteirão, Goiás.

Os frutos foram separados conforme a sua integridade, descartando os que apresentaram partes degradadas. Em seguida foram sanitizados em solução de hipoclorito de sódio na medida de 500 mg/L durante 15 minutos, seguido de enxague. Por conta da dureza do pericarpo, as amostras ficaram de molho em água a 30°C por 18 horas para aplicação do processo de raspagem, utilizando uma faca.

Para condução do experimento, os teores de água foram determinados por meio da secagem do epicarpo e mesocarpo em estufa com ventilação de ar forçado, mantida na temperatura de 45°C. A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico, com sequências de pesagens até que se alcançasse o teor de água desejado. Logo em seguida, determinou-se o teor de água do epicarpo e mesocarpo em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, até massa constante, em três repetições.

As isotermas de dessorção do epicarpo e mesocarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel) foram determinadas utilizando-se o método estático indireto por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1. Para cada teor de água, foram utilizadas três amostras de aproximadamente 20 g, as quais foram colocadas individualmente no recipiente do equipamento e acondicionados em B.O.D. regulada a 10, 20, 30 e 40 °C.

Aos dados experimentais foram ajustados em modelos matemáticos para representação da higroscopicidade de produtos agrícolas, cujas equações estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de higroscopicidade de produtos vegetais.

Designação do modelo	Modelo	
$X_e = a - b \cdot \ln[-(T + c) \cdot \ln(a_w)]$	Chung-Pfost	(1)
$X_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot a_w)]$	Copace	(2)
$X_e = [\exp(a - b \cdot T) / -\ln(a_w)]^{\frac{1}{c}}$	Halsey Modificado	(3)
$X_e = a \cdot (a_w^{b/T^c})$	Sabbah	(4)
$X_e = \exp\{a - (b \cdot T) + [c \cdot \exp(a_w)]\}$	Sigma Copace	(5)
$X_e = (a + b \cdot T) / [a_w / (1 - a_w)]^{1/c}$	Oswin Modificado	(6)
$X_e = (a \cdot b \cdot a_w) \cdot \frac{\left(\frac{c}{T}\right)}{\left(1 - b \cdot a_w + \left(\frac{c}{T}\right) \cdot b \cdot a_w\right) \cdot (1 - b \cdot a_w)}$	GAB Modificado	(7)
$X_e = [\ln(1 - a_w) / (-a \cdot (T + 273,16))]^{\frac{1}{b}}$	Henderson	(8)

Para o ajuste dos modelos matemáticos foi realizada análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo considerou-se a significância do coeficiente de regressão pelo teste t adotando-se o nível de 1% de significância, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), os valores do erro médio relativo (P), do erro médio estimado (SE), *Qui*-quadrado (χ^2) e o comportamento da distribuição dos resíduos.

O erro médio relativo, erro médio estimado e o teste de *Qui*-quadrado foram calculados para cada modelo matemático utilizando as seguintes expressões, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (9)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (10)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{|Y - \hat{Y}|^2}{GLR} \quad (11)$$

em que:

Y - valor experimental;

\hat{Y} - valor estimado pelo modelo;

n - número de observações experimentais;

GLR - graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

Para selecionar um único modelo para melhor descrever a higroscopicidade do epicarpo e mesocarpo do baru, os modelos que obtiveram melhor ajuste segundo os critérios acima, foram submetidos ao Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC). Os critérios de informação foram obtidos pelas seguintes equações:

$$AIC = -2 \loglike + 2p \quad (12)$$

$$BIC = -2 \loglike + p \ln(N - r) \quad (13)$$

Em que,

p: número de parâmetros do modelo;

N: número total de observações;

R: classificação da matrix X (incidência matriz do efeito fixo);

loglike: valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

Os valores do calor isostérico líquido de sorção (ou entalpia diferencial), para cada teor de água de equilíbrio, foram obtidos por meio da equação Clausius-Clayperon (Iglesias; Chirife, 1976) como mostrada a seguir:

$$\frac{\partial \ln(a_w)}{\partial T} = \frac{\Delta h_{st}}{RT_a^2} \quad (14)$$

em que:

T_a : temperatura absoluta, K;

Δh_{st} : calor isostérico líquido de sorção, kJ kg^{-1} ;

R: constante universal dos gases, $8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, sendo para o vapor d'água $0,4619 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Integrando a Eq. 14 e assumindo que o calor isostérico líquido de sorção é independente da temperatura, obtém-se o calor isostérico líquido de sorção, para cada teor de água de equilíbrio, conforme a Equação 15 (Wang; Brennan, 1991):

$$\ln(a_w) = -\left(\frac{\Delta h_{st}}{R}\right) \cdot \frac{1}{T_a} + C \quad (15)$$

em que:

C: coeficiente do modelo.

Os valores de atividade de água, temperatura e teor de água de equilíbrio foram obtidos a partir das isotermas de dessorção do pericarpo do baru, utilizando o modelo de melhor ajuste aos dados experimentais. O calor isostérico integral de sorção foi obtido adicionando-se aos valores de calor isostérico líquido de sorção, o valor do calor latente de vaporização da água livre de acordo com a Equação 16:

$$Q_{st} = \Delta h_{st} + L = a \cdot \exp(-b \cdot X_e^*) + L \quad (16)$$

em que:

Q_{st} : calor isostérico integral de sorção, kJ kg^{-1} ;

a, b e c: coeficientes do modelo;

L: calor latente de vaporização da água livre, kJ kg^{-1} .

O calor latente de vaporização da água livre (L), em kJ kg^{-1} , necessário ao cálculo de Q_{st} , foi obtido utilizando a temperatura média (T) na faixa em estudo, em °C, por meio da seguinte equação:

$$L = 2502,2 - 2,39 \cdot T \quad (17)$$

1.3 Resultados e discussão

Os valores representados na Tabela 2 para epicarpo e mesocarpo, demonstram que para a mesma temperatura, o aumento do teor de água de equilíbrio foi proporcional ao aumento das atividades de água e com a elevação da temperatura. Estes resultados foram parecidos com os alcançados por Cavalcante et al. (2018), ao analisarem as isotermas de sorção e calor isostérico da polpa do cajá seco em leito de espuma.

Tabela 2. Valores médios do teor de água de equilíbrio (% b.s.) do epicarpo e mesocarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel), obtidos pelo processo de dessecamento, em função da temperatura (°C) e da atividade de água (decimal).

Atividade de água (decimal)	Epicarpo				Atividade de água (decimal)	Mesocarpo			
	Temperatura (°C)					Temperatura (°C)			
	10	20	30	40		10	20	30	40
0,3297	10,31				0,3737	11,52			
0,3410		10,12			0,3813		10,94		
0,3617			10,50		0,3860			10,22	
0,3657				10,50	0,3887				11,56
0,5060	15,22				0,6883	21,68			
0,5137		15,22			0,6900	24,72			
0,5183			13,16		0,7037		21,45		
0,5287				14,19	0,7110		25,31		
0,6420	19,15				0,7150			21,84	
0,6593		19,15			0,7160				21,12
0,6673			19,15		0,7257			25,43	
0,6710				19,57	0,7283				25,02
0,8530	50,10				0,8530	37,04			
0,8727		50,13			0,8677		37,08		
0,8903			46,20		0,8903			36,17	

0,9400

47,32

0,8930

36,15

Os parâmetros das equações usadas para o ajuste dos dados de teores de água de equilíbrio higroscópico do epicarpo de baru estão representados na Tabela 3, com os respectivos coeficientes de (R^2 , %), erros médios estimados (SE, decimal) e relativo (P, %) e *Qui*-quadrado (χ^2 , decimal), das temperaturas estudadas

Tabela 3. Parâmetros dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para o epicarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel) com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médios estimados (SE, decimal) e relativo (P, %) e *Qui*-quadrado (χ^2 , decimal).

Modelos	Parâmetros	SE	χ^2	R^2	P	AIC	BIC
Chung-pfost	a= 83,8954 ^{**}						
	b= 16,9521 ^{**}	4,56	20,80	92,47	17,34	98,63923	101,7296
	c= 60,9320 ^{ns}						
Copace	a= 1,3000 ^{**}						
	b= 0,0099 [*]	2,63	6,93	97,49	11,98	81,05637	84,14673
	c= 3,3511 ^{**}						
Halsey Modificado	a= 4,2302 ^{**}						
	b= 0,0273 ^{**}	3,61	13,03	95,29	13,54	91,15431	94,24467
	c= 1,4898 ^{**}						
Sabbah	a= 103,0156 ^{**}						
	b= 2,2824 ^{**}	4,01	16,10	94,17	19,93	98,28798	101,3783
	c= 0,1672 [*]						
Sigma Copace	a= 0,1435 ^{ns}						
	b= 0,0113 ^{**}	2,20	4,85	98,24	8,89	75,34345	78,4338
	c= 1,6468 ^{**}						
Oswin modificado	a= 19,8518 ^{**}						
	b= -0,2398 ^{**}	3,10	9,60	96,53	11,69	86,27015	89,3605
	c= 1,7043 ^{**}						
GAB Modificado	a= 15,0230 ^{**}						
	b= 0,8303 ^{**}	3,78	14,29	94,83	15,74	79,51136	82,60171
	c= 36,0864 ^{**}						
Henderson	a= 0,00017 ^{**}						
	b= 0,9939 ^{**}	4,08	16,62	93,52	11,83	94,23946	96,55723

^{**}Significativo a 1%; ^{*}Significativo a 5%; ^{ns}: Não significativo pelo teste de t.

Os modelos de Copace e Sigma Copace apresentaram os melhores coeficientes de determinação (R^2) e os menores erros relativo (P) em comparação com os demais. Sendo que o coeficiente de determinação dos demais modelos atingiu valor acima de 94%, exceto pelo modelo de Henderson que apresentou o valor de coeficiente de determinação abaixo dos demais, valores acima de 95% representam de forma mais adequada os resultados do fenômeno. Na representação do *Qui*-quadrado (χ^2 , decimal), apenas o modelo Sigma Copace se encontra no intervalo de confiança de 95%, sendo que o valor de *Qui*-quadrado calculado foi inferior ao *Qui*-quadrado tabelado (5,892).

Nota-se que para o modelo de Sigma Copace, o valor do erro médio relativo (P) foi menor que 10%, e os demais modelos apresentaram valores acima de 10% e de acordo com Mohapatra e Rao (2005), são inapropriados para representação do fenômeno.

Avaliando os valores encontrados para SE, χ^2 , R^2 e P, apontam que o modelo Sigma Copace, mostrou-se adequado, podendo ser utilizado para representar de forma satisfatória as isotermas de dessecção no epicarpo do baru.

O modelo de Sigma Copace foi que apresentou o menor valor para (AIC) e (BIC), modelos que apresentam os menores valores tanto para AIC e BIC, são os que melhor representam o fenômeno da higroscopicidade do epicarpo do baru. Ferreira Junior et al. (2018) trabalhando com higroscopicidade também utilizou os critérios de AIC e BIC para selecionar o melhor modelo.

Na Tabela 4, avaliaram os parâmetros dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para o mesocarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel) com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médios estimado (SE, decimal) e relativo (P, %) e *Qui*-quadrado (χ^2 , decimal).

Tabela 4. Parâmetros dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para o mesocarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel) com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médios estimados (SE, decimal) e relativo (P, %) e *Qui*-quadrado (χ^2 , decimal).

Modelos	Parâmetros	SE	χ^2	R^2	P	AIC	BIC
Chung-Pfost	a=	74,1938**					
	b=	12,7646**	1,643	2,701	97,37	5,603	65,98142
	c=	126,6144 ^{ns}					69,07198

Copace	a=	1,4606 ^{**}	1,450	2,102	97,95	5,505	61,97091	65,06126
	b=	0,0037 [*]						
	c=	2,5375 ^{**}						
Halsey Modificado	a=	4,9926 ^{**}	2,082	4,337	95,78	8,404	73,55765	76,648
	b=	0,0096 [*]						
	c=	1,8761 ^{**}						
Sabbah	a=	53,9281 ^{**}	5,582	31,155	94,99	15,613	77,21754	80,3079
	b=	1,6477 ^{**}						
	c=	0,068 ^{ns}						
Sigma Copace	a=	0,6887 ^{**}	1,396	1,949	98,10	5,350	60,76182	63,28942
	b=	0,0041 ^{**}						
	c=	1,2564 ^{**}						
Oswin Modificado	a=	16,9241 ^{**}	1,742	3,034	97,05	6,766	74,36183	76,67959
	b=	-0,0725 ^{**}						
	c=	2,1919 ^{**}						
GAB Modificado	a=	10,7692 ^{**}	1,699	2,886	97,19	7,198	60,85669	63,95704
	b=	0,8259 ^{**}						
	c=	138,9636 ^{**}						
Henderson	a=	0,000092 ^{**}	1,442	2,078	97,82	5,515	60,97165	63,85217
	b=	1,2060 ^{**}						

Segundo Mohapatra & Rao (2005), os modelos com erro médio relativo (P) superiores a 10% não apresentam ajuste satisfatório aos dados experimentais, foi o que ocorreu no modelo de Sabbah em que o valor do erro médio relativo chegou a (P = 15,613) não representando adequadamente o fenômeno analisado, sendo que todos os outros modelos analisados apontaram valores inferiores a 10%. Lomauro et al. (1985), ressaltaram que R^2 para efeito de modelagem devem apresentar resultado acima de 95%.

Analisando os resultados de equilíbrio higroscópico para o mesocarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel), expostos na Tabela 4, verificou-se que o modelo que melhor representou o experimento foi o modelo de Sigma Copace com valores de erros médios estimado SE (1,396), e um Qui-quadrado χ^2 (1,949), coeficiente de determinação de R^2 (98,10), respectivamente P% (5,350).

O modelo de Sigma Copace foi que apresentou o menor valor para (AIC) e (BIC), modelos que apresentam os menores valores tanto para AIC e BIC, são os que melhor representam o fenômeno da higroscopicidade do mesocarpo do baru. Ferreira Junior et al. (2018) trabalhando com higroscopicidade também utilizou os critérios de AIC e BIC para selecionar o melhor modelo.

O modelo Copace foi outro modelo que apresentou resultados próximos do modelo Sigma Copace, com valores de erros médios estimado SE (1,450), e um Qui-quadrado χ^2 (2,102), coeficiente de determinação de R^2 (97,95), respectivamente P% (5,505), porém, estas pequenas diferenças podem demonstrar-se tendenciosas e levar ao erro.

A seguir na figura 1, podem avaliar os valores experimentais do teor de água de equilíbrio e isothermas de dessorção estimadas pelo modelo de Sigma Copace para o epicarpo (A) e mesocarpo (B) do baru (*Dipteryx alata* Vogel), em diferentes condições de temperatura e atividades de água.

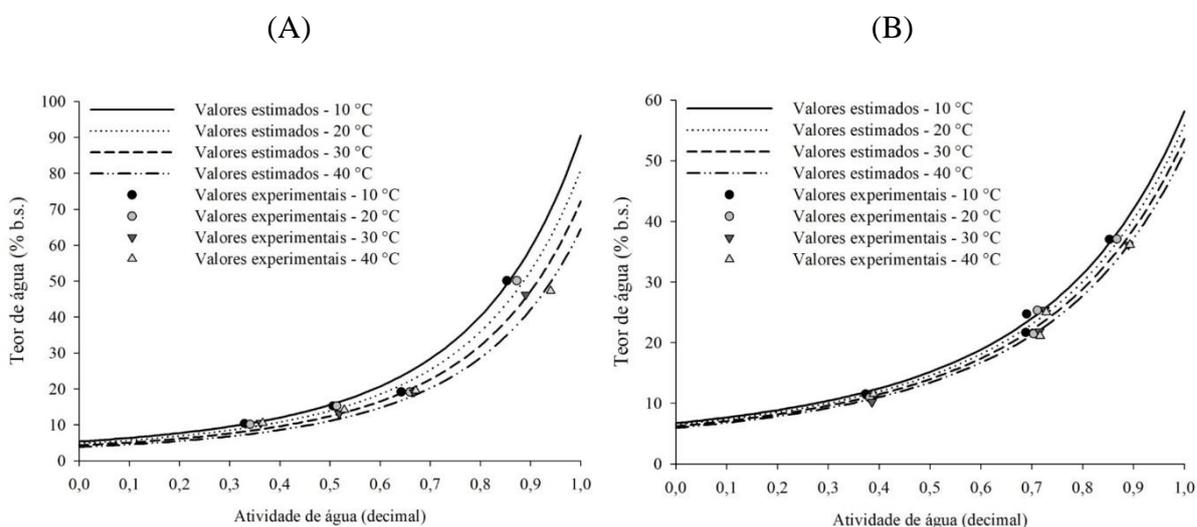


Figura 1. Valores experimentais do teor de água de equilíbrio e isothermas de dessorção estimadas pelo modelo de Sigma Copace para o epicarpo (A) e mesocarpo (B) do baru (*Dipteryx alata* Vogel), em diferentes condições de temperatura e atividades de água.

Nota-se na figura 1 que, o epicarpo e mesocarpo do baru demonstraram para o comportamento similar durante o experimento alcançando valores experimentais bem

aproximados dos valores estimados para o teor de água de equilíbrio e isothermas de dessorção representado pelo modelo de Sigma Copace, em diferentes condições de temperatura e atividades de água. Comportamento similar foi analisado por Cavalcante et al. (2018), ao analisarem a Isothermas e calor isostérico da polpa do cajá seca em leite de espuma.

Observa-se que com o aumento do teor de água e temperatura aplicados no experimento proporcionalmente ocorre o aumento da atividade de água sugerindo alguns dados que servirão para dimensionar os métodos de conservação para o epicarpo e mesocarpo do baru. Para melhor verificação da representatividade do modelo ao fenômeno da higroscopicidade, a Figura 2 apresenta os valores experimentais do teor de água de equilíbrio e os valores calculados das isothermas de sorção do modelo que melhor se ajustou às curvas experimentais.

Na Figura 2, valores experimentais e estimados do calor isostérico integral de dessorção em função do teor de água de equilíbrio para o epicarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel).

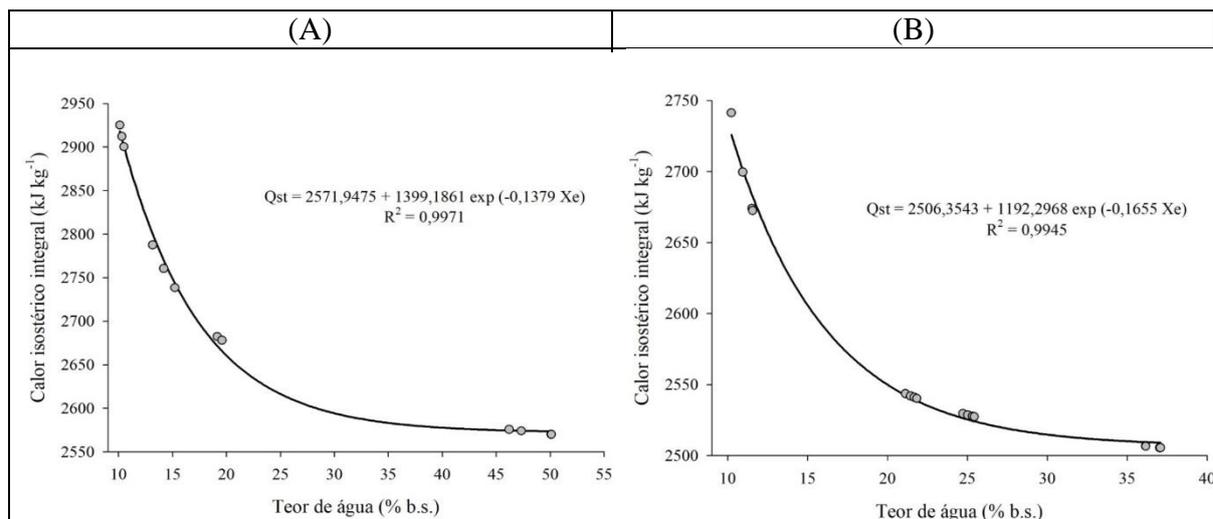


Figura 2. Valores experimentais e estimados do calor isostérico integral de dessorção em função do teor de água de equilíbrio para o epicarpo do baru (*Dipteryx alata* Vogel)

Observa-se no gráfico da figura 1, que com a redução do teor de água, houve aumento da energia necessária para remover a água do epicarpo e do mesocarpo do baru, este comportamento se deve a água adsorvida no produto, água que está fortemente ligada nos interstícios formando coloides macromoleculares com amidos, lipídios e proteínas por meio de Força de Van der Waals Tolaba et al. (2004) e Jayendra Kumar et al. (2005).

O aumento do calor isostérico de dessorção se deve a afinidade da água com a composição química do epicarpo e mesocarpo do baru que apresentam similaridade de comportamento no momento que ocorre a redução do teor de água (Oliveira et al., 2017).

1.4 Conclusões

- 1- O teor de água de equilíbrio higroscópico do epicarpo do baru é proporcional à atividade de água e reduz com o aumento da temperatura para um mesmo valor de teor de água de equilíbrio.
- 2- O modelo Sigma Copace é o que melhor representa a higroscopicidade do epicarpo de baru.
- 3- O calor isostérico do epicarpo do baru aumenta com a diminuição do teor de água de equilíbrio, sendo necessária maior quantidade de energia para retirar a água.
- 4- Dentre os modelos analisados aos dados experimentais, o modelo que melhor representou o experimento foi o modelo de Sigma Copace.

5- O calor isostérico aumenta com a redução do teor de água de equilíbrio, sendo necessária maior quantidade de energia para retirar a água.

1.5 Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. Ao Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais.

1.6 Referências bibliográficas

AVIARA, N. A.; AJIBOLA, O. O. Thermodynamics of moisture sorption in melon seed and cassava. *Journal of Food Engineering*, v. 55, n. 2, p. 107-113, 2002.

CAETANO, G. S.; SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; SALES, J. F.; COSTA, L. M. Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 4, p. 437-445, 2012

CAVALCANTE, M. D.; PLÁCIDO, G. R.; OLIVEIRA, D. E. C.; FREITAS, B. S. M.; CAGNIN, C.; OLIVEIRA, D. S. Isotherms and isostatic heat of foam-mat dried yellow mobim pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 6, p. 436-441, 2018.

CHEN, C. Obtaining the isosteric sorption heat directly by sorption isotherm equations. *Journal of Food Engineering*, v. 74, n. 2 p. 178-185, 2006.

CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M. BOTELHO, S. C. C.; GONELI, A. L. D. Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canéfora*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 10, p. 1047-1052, 2014.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOUSA, K. A. Isotermas e calor isostérico de sementes de *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichler. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 3, p. 516523, 2015

CRUZ, K. S.; SILVA, M. A.; FREITAS, O.; NEVES, V. A. Partial characterization of proteins from baru (*Dipteryx alata* Vog) seeds, *Journal of the Science of food and Agriculture*, v.91, n. 11, p. 2006-12, Aug. 2011.

FERNANDES, D. C.; FREITAS, J. B.; CZEDER, L. P.; NAVES, M. M. V. Nutritional composition and protein value of the baru (*Dipteryx alata* Vog.) almond from the Brazilian Savanna. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 90, n. 10, p. 1650–1655, 2010.

FRANKOWICZ, M.; CHRENOWSKI, M. Application of Preisach model to adsorption – desorption hysteresis. *Physica B: Condensed Matter*, v.372, p. 219-221, 2006.

HOFISKY, A. V.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.

IGLESIAS, H.; CHIRIFE, J. Isosteric heats of water vapour sorption on dehydrated foods. Part II: hysteresis and heat of sorption comparison with BET theory. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, v.9, n.1, p.123-127, 1976.

MOHAMATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. S.; SOUSA, K. A.; CAMPOS, R. C. Propriedades termodinâmicas de grãos de milho para diferentes teores de água de equilíbrio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 43, n. 1, p. 50-56, 2013.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINAZZO, A. P.; RIBEIRO, R. M. Isotermas e calor isostérico de dessecção do arroz em casca. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v.31, n.1, p.86-94, 2006.

SANO, S. M.; BRITO, M. A. DE; RIBEIRO, J. F. BARU. IN: VIEIRA, R. F.; COSTA, T. DA S. A.; SILVA, D. B. DA; FERREIRA, F. R.; SANO, S. M. (ED.). *Frutas nativas da região Centro-Oeste do Brasil*. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006.

SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S. Isotermas de dessecção das sementes de pimenta malagueta. *Global Science and Technology*, v.5, p.32-39, 2012.

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; COSTA, L. M. Isotermas de dessecção das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 2, p. 216–222, 2013.

WANG, N.; BRENNAN, J. G. Moisture sorption isotherm characteristics of potato at four temperatures. *Journal of Food Engineering*, v. 14, p. 269-287, 1991.

AVIRA, N. A.; AJIBOLA, O. O.; ONI, S. A. Sorption equilibrium and thermodynamic characteristics of soya bean. *Biosystems Engineering, London*, v. 87, n. 2, p. 179-190, 2004.

BORGES, S.; BORGES, E. E. L.; CORREA, P. C.; BRUNE, A. Equilíbrio higroscópico e viabilidade de sementes de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) em diferentes condições ambientais de armazenamento. *Scientia Florestalis*, v. 37, n. 84, p. 475-481, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Frutas nativas do Cerrado brasileiro: aproveitamento alimentar*. Brasília, DF: Embrapa, 2002.

CARAMORI, S. S.; LIMA, C. S.; FERNANDES, K. F. Biochemical characterization of selected plant species from Brazilian Savannas. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 47, n. 2, p. 253-259, 2004.

CASSINI, A. S.; MARCZAK, L. D. F.; NOREÑA, C. P. Z. Determinação das isotermas de adsorção da proteína texturizada vegetal. *Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering -- ABCM*, Rio de Janeiro, Brazil, Nov. 29 - Dec. 03, 2004.

CORRÊA, G. C. NAVES, R. V.; ROCHA, M. R.; ZICA, L. F. Caracterização física de frutos de baru (*Dipteryx alata* Vog.) em três populações nos cerrados do Estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 30, n. 2, p. 5-11, 2000.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. DE; RESENDE, O.; Mauad, M. Moisture sorption isotherms of castor beans. Part 1: Mathematical modeling and hysteresis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, p.751-756, 2016.

FURMANIAK, S.; TERZYK, A. P.; GAUDEN, P. A. The general mechanism of water sorption on foodstuffs - Importance of the multitemperature fitting of data and the hierarchy of models. *Journal of Food Engineering*, v. 82, n. 4, p. 528-535, 2007.

HOFKY, A. V.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.

IGUAZ, A.; VÍRSEDA, P. Moisture desorption isotherms of round rice at high temperatures. *Journal of Food Engineering*, v. 79, n. 3, p. 794-802, 2007.

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984). London: Pure & Applied Chemistry, v.57, p.603-619, 1985.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, Vegetable and meat products. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, v.18, n.2, p.111-117, 1985

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled whe at. *Journal of Food Engineering*, v. 66, n. 4, p.513-518, 2005.

NEPOMUCENO, D. L. M. G. O extrativismo de baru (*Dipteryx alata* Vog.) em Pirenópolis (GO) e sua sustentabilidade. 2006. 117p.

OLIVEIRA, P. D.; ISQUIERDO, E. P.; RIBEIRO, F. C.; FIGUEIREDO, L. P.; BARBOSA, J. N.; BORÉM, F. M. Caracterização das isotermas de dessecção do exocarpo e endocarpo de café arábica. In: EMBRAPA-CAFÉ. (Org.). VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Vitória, 2009.

OLIVEIRA, D. E. C. DE; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; FERREIRA JÚNIOR, W. N.; SILVA, I. O. F. Hygroscopicity of baru (*Dipteryx alata* Vogel) fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, p.279-284, 2017.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para pêra Bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.

PENA, R. S.; MENDONÇA, N. B.; ALMEIDA, M. D. C. Comportamento higroscópico do açai em pó. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 12, n. 2, p. 153-161, 2010.

PEREIRA, R. C. Baru bom de briga. *Saúde. Bem Estar*. Ed. Abril, mai. 2006. Disponível em: Acesso em: 4 fevereiro 2018.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, n. 3, p. 626-631, jul./set. 2006.

RESENDE, J. T. V. DE.; MALUF, W. R.; CARDOSO, M. G.; GONÇALVES, L. D.; FARIA, M. V.; NASCIMENTO, I. R. DO. Resistance of tomato genotypes to the silverleaf whitefly mediated by acylsugars. *Horticultura Brasileira*, v.27, p.345-348, 2009.

SANO, S. M.; RIBEIRO, J. P.; BRITO, M. A. Baru: biologia e uso. Planaltina: Embrapa Cerrados, (Documentos, 116), 2004.

SILVA, A. P. P.; MELO, B.; FERNANDES, N. Fruteiras do cerrado. Uberlândia: UFU – Núcleo de Estudos em Fruticultura no Cerrado, 2003, s/p.

SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; TORRES, M. C. L.; VERA, R.; TEIXEIRA, J. de.S.; ALVES, L. C. Qualidade de Biscoitos formulados com diferentes teores de farinha de amêndoa de baru (*Dipteryx alata* Vog.). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 37, n. 1, p. 51-56, 2007.

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; COSTA, L. M. Isotermas de dessorção das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 2, p. 216–222, 2013.

RUCKLOD, S.; ISENGARD, H. D.; HANSS, J.; GROBECKER, K. H. The energy of interaction between water and surfaces of biological reference materials. *Food Chemistry*, v. 82, n. 1, p. 51-59, 2003.

VERA, R.; SOUZA, E. R. B. de. Baru. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2009, vol.31, n.1, pp. 0-0. ISSN 0100-2945.

CAPÍTULO II

ISOTERMAS DE DESSORÇÃO E CALOR ISOSTÉRICO INTEGRAL DA FARINHA DA AMÊNDOA DE BARU

DESORPTION ISOTHERMAS AND INTEGRAL ISOSTERIC HEAT OF BARU ALMOND FLOUR

RESUMO - A amêndoa de baru (*Dipteryx alata* Vogel) é muito consumida pela comunidade local pelos seus atributos sensoriais, de um aroma marcante e suave. A amêndoa é rica em ácidos graxos insaturados e muito apreciada por suas características medicinais. Surge então a necessidade de avaliar a melhor forma de armazenamento e conservação da farinha da amêndoa do baru. Desta forma, objetivou-se determinar as isotermas de dessorção da farinha da amêndoa do baru e mensurar os valores do calor isostérico em função do teor de água de equilíbrio. Os frutos foram sanitizados com hipoclorito de sódio e imersos em água a 30°C por 18 horas para o amolecimento do pericarpo. As amêndoas foram extraídas do interior do endocarpo lenhoso utilizando um equipamento denominado máquina de quebrar coco baru pit bull, produzido exclusivamente pela empresa Metalmix. Para obter os teores de água de equilíbrio

higroscópico foi utilizado a secagem em estufa com ventilação de ar forçado, mantida na temperatura de 45°C. Para determinar as isotermas de dessorção utilizou-se o método estático indireto por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1. A atividade de água da farinha da amêndoa do baru é proporcional ao teor de água de equilíbrio e reduz com o aumento da temperatura para um mesmo valor de teor de água de equilíbrio, sendo o modelo matemático Chung-Pfost o que melhor representa a higroscopicidade da amêndoa de baru. O calor isostérico aumenta com a redução do teor de água de equilíbrio, sendo necessária maior quantidade de energia para retirar a água.

Palavras-chave: *Dipteryx alata* Vogel, Teor de água de equilíbrio, Chung-Pfost.

ABSTRACT – The baru (*Dipteryx alata* Vogel) almond is much consumed by the local community due to its sensorial attributes, of a marked and soft aroma. The almond is rich in unsaturated fatty acids and much appreciated for its medicinal characteristics. The need to evaluate the best way of storage and preservation of baru's almond flour arises. In this way, the aim was to determine the desorption isotherms of the baru almond flour and to measure the values of the isosteric heat as a function of the equilibrium water content. The fruits were sanitized with sodium hypochlorite and immersed in water at 30 °C for 18 hours for the softening of the pericarp. The almonds were extracted from the inside of the woody endocarp using an equipment called coconut baru breaking machine, produced exclusively by the company Metal Mix. In order to obtain the hygroscopic equilibrium water contents, an oven drying with forced air ventilation, maintained at a temperature of 45 °C, was used. To determine the desorption isotherms the indirect static method was used by the Hygropalm Model Aw1 equipment. The water activity of the baru almond flour is proportional to the equilibrium water content and reduces with increasing temperature to the same equilibrium water content, with the Chung-Pfost mathematical model representing the hygroscopicity of baru almond. The isosteric heat increases with the reduction of the equilibrium water content, requiring a greater amount of energy to withdraw the water.

Key words: *Dipteryx alata* Vogel, Balance water content, Chung-Pfost.

3.1 Introdução

A grande variedade de espécies frutíferas na flora brasileira, principalmente as de ocorrência na região Centro-oeste, já eram usadas pelos desbravadores e colonizadores da região, como fonte de alimentação, este uso que veio dos povos nativos, que já mantinham o costume de se alimentarem destas espécies, por fornecerem vitaminas e minerais essenciais à saúde (Vieira et al., 2006). Dentro as espécies nativas do cerrado, o baru (*Dipteryx alata* Vogel) se destaca como um fruto com grandes atributos comerciais, pela polpa adocicada e amêndoas comestíveis (Cruz et al., 2011).

A amêndoa do baru é uma semente comestível, oriunda do fruto da família das leguminosas e tem características semelhantes aos frutos secos como: avelã, castanha do Brasil, castanha de caju, macadâmia e pecã, apesar da classificação botânica ser diferente (Freitas & Naves, 2010). Sua amêndoa é muito consumida pela comunidade local pelos seus atributos sensoriais, como aroma marcante e suave, que não há distância de outras espécies de amêndoas consumidas no Brasil. (Fernandes et al., 2010).

O equilíbrio higroscópico é fator determinante para se garantir a estabilidade do produto durante o armazenamento. O controle de variáveis como temperatura e umidade evita a deterioração do produto por oxidação, e por proliferação de microrganismos. As sementes e frutos são muito sensíveis a essas alterações ambientais devido a sua composição físico-química (Borges et al. 2009).

As curvas de equilíbrio higroscópico definem o limite de hidratação e reidratação destes frutos. Para tanto, torna-se de extrema importância conhecer o teor de água, a relação de adsorção e dessorção do produto, a interação da umidade do ambiente com a composição química do produto, obtendo-se parâmetro para estabelecer tecnologias de processamento e embalagem (Araújo et al., 2005).

As isotermas de sorção de água e do calor isostérico líquido de sorção servem como modelo para predizer a energia necessária para a secagem eficaz do produto e verificar o comportamento da amêndoa durante o processo de dessorção. Estes dados são determinantes para definir a vida de prateleira e os fatores ambientais que devem ser

controlados durante a armazenagem destes produtos alimentícios (Siripatrawan & Jantawat 2006; Catelam et al., 2011; Comunian et al., 2011).

Segundo Aviara & Ajibola (2002) o calor isostérico é uma grandeza da termodinâmica de sorção de água, crucial na análise do fenômeno de transferência de calor e de massa. Determina o ponto final de secagem e a quantidade mínima de energia requerida para a secagem do alimento.

Diante desta importância, objetivou-se com este trabalho verificar o comportamento da atividade de água da farinha da amêndoa de baru nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, testar modelos matemáticos de ajuste aos dados experimentais e determinar o calor isostérico.

3.2 Material e métodos

A presente pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde localizado no município de Rio Verde, GO. Os frutos de baru (*Dipteryx alata* Vogel) foram coletados manualmente no Porteirão, Goiás.

Os frutos foram separados conforme a integridade, descartando os que apresentavam partes degradadas. Em seguida foram sanitizados em solução de hipoclorito de sódio na medida de 500 mg/L durante 15 minutos, logo após passaram por processo de enxague. Após a etapa de sanitização as amêndoas foram extraídas do interior do endocarpo lenhoso utilizando um equipamento denominado máquina de quebrar coco de baru, produzido exclusivamente pela empresa Metalmix.

Para condução do experimento, os teores de água foram obtidos pela secagem da amêndoa em estufa com ventilação forçada, mantida na temperatura de 45°C. A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico, com sequências de pesagens até que se alcançasse o teor de água desejado. Determinou-se o teor de água da farinha da amêndoa pelo método gravimétrico em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, até massa constante, em três repetições.

As isotermas de sorção da amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vogel) foram determinadas utilizando o método estático indireto, sendo a atividade de água (a_w) determinada por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1. Para cada teor de água, foram utilizadas três amostras de aproximadamente 20 g, as quais foram colocadas individualmente no recipiente do equipamento e acondicionados em B.O.D. regulada a 10, 20, 30 e 40°C.

Aos dados experimentais foram ajustados os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da higroscopicidade de produtos agrícolas, cujas equações estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de higroscopicidade de produtos vegetais.

Designação do modelo	Modelo	
$X_e = a - b \cdot \ln[-(T + c) \cdot \ln(a_w)]$	Chung-Pfost	(1)
$X_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot a_w)]$	Copace	(2)
$X_e = [\exp(a - b \cdot T) / -\ln(a_w)]^{\frac{1}{c}}$	Halsey Modificado	(3)
$X_e = \exp\{a - (b \cdot T) + [c \cdot \exp(a_w)]\}$	Sigma Copace	(4)
$X_e = (a + b \cdot T) / [a_w / (1 - a_w)]^{1/c}$	Oswin Modificado	(5)
$X_e = (a \cdot b \cdot a_w) \cdot \frac{\left(\frac{c}{T}\right)}{\left(1 - b \cdot a_w + \left(\frac{c}{T}\right) \cdot b \cdot a_w\right) \cdot (1 - b \cdot a_w)}$	GAB Modificado	(6)
$X_e = [\ln(1 - a_w) / (-a \cdot (T + 273,16))]^{\frac{1}{b}}$	Henderson	(7)

Para o ajuste dos modelos matemáticos foi realizada análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo considerou-se a significância do coeficiente de regressão pelo teste t adotando-se o nível de 1% de significância, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), os valores do erro médio relativo (P), do erro médio estimado (SE), *Qui*-quadrado (χ^2) e o comportamento da distribuição dos resíduos. O erro médio relativo, erro médio estimado e o teste de *Qui*-

quadrado foram calculados para cada modelo matemático utilizando as seguintes expressões, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (8)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (9)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (10)$$

em que:

Y - valor experimental;

\hat{Y} - valor estimado pelo modelo;

n - número de observações experimentais;

GLR - graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

Para selecionar um único modelo para melhor descrever a higroscopicidade da amêndoa do baru, os modelos que obtiveram melhor ajuste segundo os critérios acima, foram submetidos ao Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC). Os critérios de informação foram obtidos pelas seguintes equações:

$$AIC = -2 \loglike + 2p \quad (11)$$

$$BIC = -2 \loglike + p \ln(N - r) \quad (12)$$

Em que,

p: número de parâmetros do modelo;

N: número total de observações;

R: classificação da matrix X (incidência matriz do efeito fixo)

loglike: valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

Os valores do calor isostérico líquido de sorção (ou entalpia diferencial), para cada teor de água de equilíbrio, foram obtidos por meio da equação Clausius-Clayperon (Iglesias; Chirife, 1976) como mostrada a seguir:

$$\frac{\partial \ln(a_w)}{\partial T} = \frac{\Delta h_{st}}{RT_a^2} \quad (13)$$

em que:

T_a : temperatura absoluta, K;

Δh_{st} : calor isostérico líquido de sorção, kJ kg^{-1} ;

R: constante universal dos gases, $8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, sendo para o vapor d'água $0,4619 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Integrando a Eq. 13 e assumindo que o calor isostérico líquido de sorção é independente da temperatura, obtém-se o calor isostérico líquido de sorção, para cada teor de água de equilíbrio, conforme a Equação 14 (Wang; Brennan, 1991):

$$\ln(a_w) = -\left(\frac{\Delta h_{st}}{R}\right) \cdot \frac{1}{T_a} + C \quad (14)$$

em que:

C: coeficiente do modelo.

Os valores de atividade de água, temperatura e teor de água de equilíbrio foram obtidos a partir das isotermas de dessorção da farinha da amêndoa do baru, utilizando o modelo de melhor ajuste aos dados experimentais. O calor isostérico integral de sorção foi obtido adicionando-se aos valores de calor isostérico líquido de sorção, o valor do calor latente de vaporização da água livre de acordo com a Equação 15:

$$Q_{st} = \Delta h_{st} + L = a \cdot \exp(-b \cdot X e^*) + L \quad (15)$$

em que:

Q_{st} : calor isostérico integral de sorção, kJ kg^{-1} ;

a, b e c: coeficientes do modelo;

L: calor latente de vaporização da água livre, kJ kg^{-1} .

O calor latente de vaporização da água livre (L), em kJ kg^{-1} , necessário ao cálculo de Q_{st} , foi obtido utilizando a temperatura média (T) na faixa em estudo, em $^{\circ}\text{C}$, por meio da seguinte equação:

$$L = 2502,2 - 2,39 \cdot T \quad (16)$$

3.3 Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta os valores médios do teor de água de equilíbrio da farinha da amêndoa do baru em função da temperatura e atividade de água. Observa-se que o teor de água reduz à medida que ocorre o aumento da temperatura, isso se deve a dessorção de água para o ambiente, pela predominância da composição da farinha da amêndoa em ácidos graxos insaturados, alimentos ricos em lipídeo necessitam de menor quantidade de energia para ocorrer a vaporização da água, este mesmo comportamento pode ser observado no estudo dos frutos de crambe (Costa et al., 2013).

Tabela 2. Valores médios do teor de água de equilíbrio (% bs) da farinha da amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vogel), obtidos pelo processo de dessorção, em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e da atividade de água (decimal).

Atividade de água (decimal)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)			
	10	20	30	40
0,2917	3,33			
0,3100	3,85			
0,3130		3,33		
0,3160			3,24	
0,3205				3,28
0,3260		3,85		
0,3450			3,76	
0,3485				3,76
0,4340	4,83			
0,4350		4,83		

0,4383		4,79	
0,4427			4,71
0,5213	5,43		
0,5260		5,43	
0,5340		5,43	
0,5370			5,43

Na Tabela 3, estão os valores de coeficientes de determinação (R^2), erros médios estimados (SE) e relativo (P), *Qui*-quadrado (χ^2), AIC e BIC para os modelos ajustados aos dados experimentais. É importante ressaltar a vantagem da utilização de modelos matemáticos na construção das isotermas de dessorção reside no fato de que com poucos pontos experimentais pode-se construir uma isoterma, que converte de forma teórica o comportamento de produtos agrícolas (Pena et al., 2000).

Tabela 3. Parâmetros dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para a amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vogel) com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médios estimados (SE, decimal) e relativo (P, %) e *Qui*-quadrado (χ^2 , decimal).

Modelos	Parâmetros	SE	χ^2	R^2	P	AIC	BIC
Chung-pfost	a= 23,5871**	0,169	0,029	96,65	3,406	-6,78868	-3,69832
	b= 3,3484**						
	c= 322,1728**						
Copace	a= 0,6673**	0,204	0,042	95,13	4,093	-0,8187	2,271652
	b= 0,0019 ^{ns}						
	c= 2,0589**						
Halsey Modificado	a= 1,9307**	0,211	0,044	94,79	4,222	0,25279	3,343145
	b= 0,0026 ^{ns}						
	c= 1,3552**						
Sigma Copace	a= -0,5136**	0,223	0,050	94,19	4,471	2,012837	5,103192
	b= 0,0019 ^{ns}						
	c= 1,3383**						

Oswin Modificado	a=	5,4628 ^{**}	0,192	0,037	95,66	3,815	-0,43461	1,883161
	b=	-0,0101 ^{ns}						
	c=	2,0196 ^{**}						
GAB Modificado	a=	2,6775 ^{**}	0,222	0,049	94,22	4,431	-1,82129	1,269064
	b=	1,0098 ^{**}						
	c=	537,2552 [*]						
Henderson	a=	0,00018 ^{**}	0,173	0,030	96,21	3,538	-6,84617	-4,52841
	b=	1,5521 ^{**}						

Os modelos apresentaram elevados valores do coeficiente de determinação, superior a 94%. Os modelos que obtiveram os melhores índices foram Chung-Pfost e Henderson, sendo que ambos alcançaram um coeficiente de determinação em torno de 96%. Conforme o recomendado por Madamba et al. (1996), a utilização do coeficiente de determinação como o único critério de avaliação para a seleção dos modelos não lineares não constitui um bom parâmetro para representação do fenômeno.

O valor do erro médio relativo (P) foi inferior a 10% para todos os modelos testados, sendo que os modelos de Chung-Pfost e Henderson apresentaram os melhores resultados, 3,406 e 3,538%, respectivamente. Quanto aos valores obtidos referentes ao erro médio estimado (SE), nota-se que o modelo de Chung-pfost apresentou um erro médio estimado de 0,169 (decimal), seguido do modelo de Henderson que apresentou um valor de 0,173 (decimal), sendo estes os dois modelos que obtiveram os melhores resultados.

Em relação ao teste de Qui-quadrado (χ^2), os modelos analisados se encontram no intervalo de confiança de 95%. Mas, comparando os valores o modelo Chung-Pfost obteve o menor valor (0,0029). Sendo assim, todos os modelos testados se ajustaram de maneira satisfatória aos teores de água de equilíbrio higroscópico para a farinha da amêndoa de baru. Sendo que, o modelo Chung-pfost selecionado para representar o fenômeno da higroscopicidade da farinha da amêndoa de baru por apresentar o maior coeficiente de determinação e os menores valores de erros médios relativos e estimados e, do teste de Qui-quadrado. Observam-se na Figura 1 os valores experimentais do teor de água de equilíbrio e isothermas de dessorção estimados pelo modelo de Chung-Pfost, para a amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vogel), em diferentes condições de temperatura e atividades de água.

Os modelos apresentaram valores baixos para (AIC) e (BIC), sendo que os modelos de Chung-Pfost ($X_e = a - b \cdot \ln[-(T + c) \cdot \ln(a_w)]$) e Henderson $X_e = [\ln(1 - a_w) / (-a \cdot (T + 273,16))]^b$ apresentaram os menores valores tanto para AIC e BIC, sendo este o modelo escolhido para representar a higroscopicidade da amêndoa do baru. Ferreira Junior et al. (2018) trabalhando com higroscopicidade também utilizou os critérios de AIC e BIC para selecionar o melhor modelo. Desta forma, o modelo selecionado para representar a higroscopicidade da farinha da amêndoa de baru foi o de Chung-Pfost.

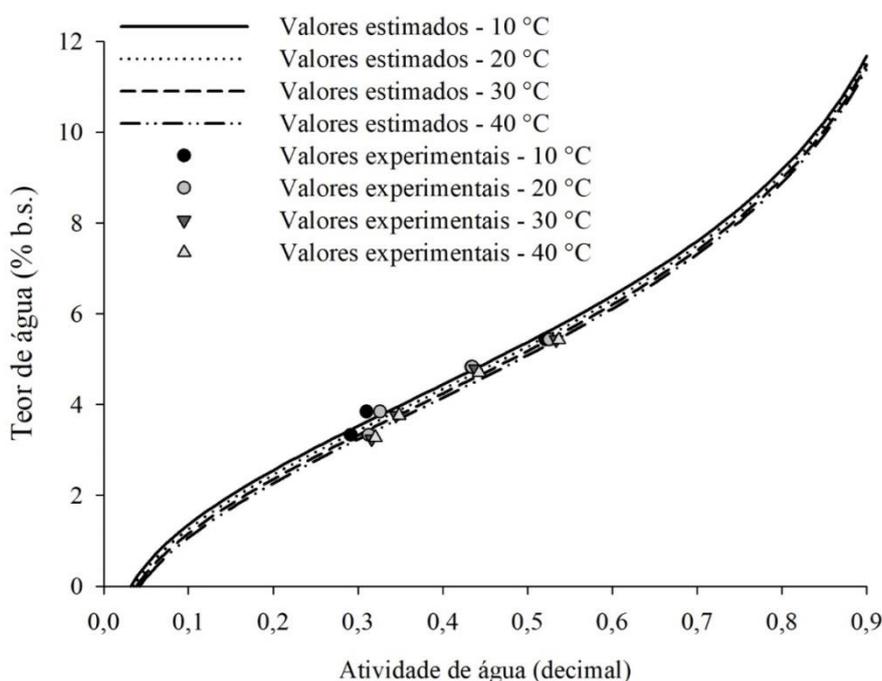


Figura 1. Valores experimentais do teor de água de equilíbrio e isotermas de dessorção estimadas pelo modelo de Chung-Pfost para a amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vogel), em diferentes condições de temperatura e atividades de água.

Kechaou & Maalej (1999) ao avaliarem as características de dessorção do algodão herbáceo e de banana em temperaturas de 20 a 80°C, verificaram pequena diminuição do teor de água de equilíbrio com o aumento da temperatura. Este fato pode ser explicado pela composição química do produto avaliado e da dissolução dos açúcares, o que aumenta significativamente quando a temperatura também aumenta. Com baixos teores de água, existem sítios polares de sorção altamente ativos e de elevada energia de interação na superfície adsorvente, que são cobertos com moléculas de água formando uma camada

monomolecular. (Al-Muhtaseb et al., 2004). Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Cavalcante et al. (2018) ao analisarem a Isotermas e calor isostérico da polpa do cajá seca em leito de espuma. A Figura 2 apresenta os valores experimentais e estimados do calor isostérico integral de dessorção em função do teor de água de equilíbrio para a amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vogel).

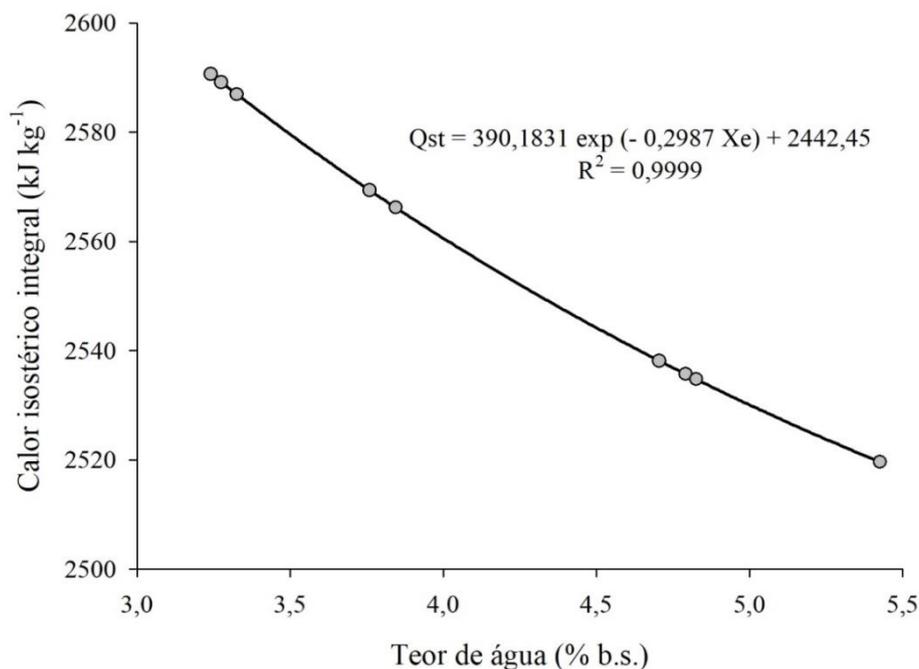


Figura 2. Valores experimentais e estimados do calor isostérico integral de dessorção em função do teor de água de equilíbrio para a amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vogel).

Nota-se que os valores do calor isotérico integral de dessorção apresentados, são de proporção mediana em virtude das características apresentadas pela farinha da amêndoa de baru. Devido a sua composição química predominante em lipídeos, a sua interação com a água ocorre de maneira diferenciada quando comparado aos outros produtos alimentícios ricos em carboidrato. Substâncias ricas em amido tendem a serem mais higroscópicas, retendo assim grande quantitativo de água, já as ricas em lipídeos são hidrofóbicas não adsorvendo grande quantidade de água, como as que predominam o amido. Mas a energia gasta para retirar a água absorvida foi menor do que a energia exigida para retirar a água adsorvida, ou seja, quanto menor o teor de água, maior será o quantitativo de energia para retirada da água.

3.4 Conclusões

O teor de água de equilíbrio higroscópico da farinha da amêndoa do baru foi diretamente proporcional a atividade de água e decresceu com o aumento da temperatura, para um mesmo valor de atividade de água.

O modelo de Chung-Pfost foi o que melhor representou a higroscopicidade da farinha da amêndoa do baru, por apresentar o maior coeficiente de determinação e, os menores valores de erros médios relativos e estimados e do teste de Qui-quadrado.

O calor isostérico aumenta com a redução do teor de água de equilíbrio, sendo necessária maior quantidade de energia para retirar a água.

3.5 Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. Ao Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais.

3.6 Referências bibliográficas

AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGGE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders. Part 2: Thermodynamic characteristics. *Journal of Food Engineering*, v. 62, n. 2, p. 135-142, 2004.

ARAÚJO, L. F. OLIVEIRA, L. S. C.; PERAZZO NETO, A. ALZINA, O. L. S.; SILVA, L. S. H. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: relação com a umidade ótima para fermentação sólida. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 3, p. 379-384, 2005.

AVIARA, N. A.; AJIBOLA, O. O.; DAIRO, U. O. Thermodynamics of moisture sorption in sesame seed. *Biosystems Engineering*, v. 83, n. 4, p. 423–431, 2002.

BORGES, S.; BORGES, E. E. L.; CORREA, P. C.; BRUNE, A. Equilíbrio higroscópico e viabilidade de sementes de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) em diferentes condições ambientais de armazenamento. *Scientia Florestalis*, v. 37, n. 84, p. 475-481, 2009.

CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrated passion fruit pulp with additives and skimmed milk. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011.

CAVALCANTE, M. D.; PLÁCIDO, G. R.; OLIVEIRA, D. E. C.; FREITAS, B. S. M.; CAGNIN, C.; OLIVEIRA, D. S. Isotherms and isostatic heat of foam-mat dried yellow mobim pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 6, p. 436-441, 2018.

COMUNIAN, T. A. ET AL. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum Arabic, maltodextrin and soy protein isolate based carrier systems. *International Journal of Food Science and Technology*, Oxford, v. 46, n. 6, p. 1259-1265, 2011.

CRUZ, K. S.; SILVA, M. A.; FREITAS, O.; NEVES, V. A. Partial characterization of proteins from baru (*Dipteryx alata* Vog) seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.91, n.11, p. 2006–2012, 2011.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de. Isotermas de desorção e calor isostérico dos frutos de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.4, p.412–418, 2013.

FERNANDES, D. C.; FREITAS, J. B.; CZEDER, L. P.; NAVES, M. M. V. Nutritional composition and protein value of the baru (*Dipteryx alata* Vog.) almond from the Brazilian Savanna. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 90, n. 10, p. 1650- 1655, 2010.

FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. *Revista de Nutrição*, v. 23, n. 2, p. 269-279, 2010.

FERREIRA JUNIOR, W. N.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; COSTA, L. M. Isotherms and isosteric heat desorption of *Hymenaea stigonocarpa* Mart. seeds. *Journal of Agricultural Science*, v. 10, n. 10, p. 504-512, 2018.

KECHAOU, N.; MAALEJ, M. Desorption isotherms of imported banana. *Drying Technology*, v.17, n.6, p.1201-1213, 1999.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.

PENA, R. S.; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G. Aplicação de modelos matemáticos bi e tri-paramétricos na predição de isotermas de adsorção de umidade do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 20, p. 08-11, 2000.

ROMAM, A. D.; HERMAN-Y-LARA, E.; SALGADO-CERVANTES, M. A. GARCIALVARADO, M. A. Food Sorption Isotherms prediction using the Ross equation. *Drying Technology*, v. 22, p. 1829-1843, 2004.

SIRIPATRAWAN, U.; JANTAWAT, P. Determination of moisture sorption isotherms of jasmine rice crackers using BET and GAB models. *Food Science and Technology International*, Madrid, v. 6, n. 12, p. 459-465, 2006.

VIEIRA, R. F; COSTA, T. S. A.; SILVA, D. B.; FERREIRA, F. R.; SANO, S. M. Frutas nativas da região Centro-Oeste. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. 320 p

CONCLUSÃO GERAL

Nas condições em que foi realizado o trabalho foi possível concluir que:

1. O teor de água de equilíbrio higroscópico do epicarpo do baru, mesocarpo e amêndoa são proporcionais à atividade de água e reduz com o aumento da temperatura para um mesmo valor de teor de água de equilíbrio;
2. O modelo Sigma Copace é o que melhor representa a higroscopicidade do epicarpo do baru;
3. O modelo Copace é o que melhor representa a higroscopicidade do mesocarpo do baru;
4. O modelo de Chung-Pfost foi o que melhor representou a higroscopicidade da farinha da amêndoa do baru;

5. O calor isostérico do epicarpo, mesocarpo e amêndoa do baru aumenta com a diminuição do teor de água de equilíbrio, sendo necessária maior quantidade de energia para retirar a água.