

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

FELIPE ROCHA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E TERMOFÍSICA DA
AMÊNDOA DO BARU (*Dipteryx alata* Vog.)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2016

FELIPE ROCHA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E TERMOFÍSICA DA
AMÊNDOA DO BARU (*Dipteryx alata* Vog.)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Engenharia de Alimentos, do Departamento Acadêmico de Alimentos – DALIM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Bogdan Demczuk
Junior

CAMPO MOURÃO

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão

Departamento Acadêmico de Alimentos
Engenharia de Alimentos



TERMO DE APROVAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E TERMOFÍSICA DA
AMÊNDOA DO BARU (*Dipteryx alata* Vog.)

por

FELIPE ROCHA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado no dia 17 de novembro de 2016 como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Bogdan Demczuk Junior

Prof^a. Dr^a. Ângela Maria Gozzo

Prof. Msc. Alexandre Santa Bárbara
Azevedo

Nota: O documento original e assinado pela banca examinadora encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos da UTFPR campus Campo Mourão.

AGRADECIMENTOS

A Deus e ao meu anjo da guarda, por todas as bênçãos e proteções concedidas durante toda a caminhada até aqui. Aos meus pais, Maria de Fátima da Rocha e Marcos Pereira da Rocha, e minha tia Cleonice Rocha pelo apoio.

Aos meus amigos queridos e amados que fiz em Campo Mourão e se tornaram irmãos durante a graduação, Ana Paula da Cruz Sousa, Amarilis dos Santos Carvalho, Giovana Stangherlin e Marcos Roberto Müller muito obrigado por tudo, não poderia ter seguido sem vocês.

Ao meu orientador Professor Dr. Bogdan Demczuk Junior, pela paciência, dedicação, profissionalismo e confiança que tornou a elaboração deste estudo possível, meus sinceros agradecimentos. Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná *Campus* Campo Mourão, agradeço pela contribuição para minha formação acadêmica.

Agradeço a todos que de uma maneira ou de outra contribuíram para que minha caminhada fosse possível. Muito obrigado.

RESUMO

ROCHA, Felipe. Caracterização química, física e termofísica da amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vog.). 2016. 40 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

Desenvolvimentos de inovações tecnológicas podem favorecer empresas com potencial de explorar de forma sustentável, atendendo nichos de mercado como de alimentos funcionais ou de orgânicos, favorecendo a valorização e preservação da biodiversidade nativa brasileira. A amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vog.) possui elevado valor nutricional. Estudos demonstram um aproveitamento quase total dos frutos de baru, mostrando-se uma atividade de beneficiamento compensadora para a agroindústria. O objetivo do presente trabalho foi determinar as características físicas (densidade aparente, densidade real, cor, esfericidade, porosidade), a composição centesimal (umidade, cinzas, lipídios, proteínas e carboidratos) e o valor energético da amêndoa do baru. O valor das densidades real e aparente das amêndoas do baru foram de 1,018 g.cm⁻³ e 0,807 g.cm⁻³, respectivamente. Os parâmetros de cor foram L* = 38,29, a* = 11,37 e b* = 38,20. A esfericidade e a porosidade da amêndoa do baru foram de 0,544 e 0,207, respectivamente. Com relação à composição centesimal, as amostras apresentaram um teor de umidade de 2,83%, 3,11% de cinzas, 38,95% de lipídios, 21,07% de proteínas e 34,04% de carboidratos. O calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica determinadas para a amêndoa do baru foram 1,915 J.g⁻¹.°C⁻¹, 1,395x10⁻⁷ m².s⁻¹ e 0,232 W.m⁻¹.°C⁻¹, respectivamente. As propriedades determinadas podem servir como informações no processamento e utilização da amêndoa do baru na indústria de alimentos.

Palavras-chave: *Dipteryx alata* Vog., composição centesimal, propriedades físicas, propriedades termofísicas.

ABSTRACT

ROCHA, Felipe. Chemical, physical and thermophysical characterization of baru almond (*Dipteryx alata* Vog.). 2016. 40 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

Development of technological innovations can favor companies with potential sustainable to explore, attempting niche markets of functional and organic foods, favoring the appreciation and preservation of Brazilian native biodiversity. Baru (*Dipteryx alata* Vog.) almond has a high nutritional value. Studies show an almost complete use of baru, being a rewarding processing activity for agribusiness. Baru physical characteristics (density, bulk density, color, sphericity, porosity), chemical composition (moisture, ash, lipids, proteins and carbohydrates), the energetic value and thermophysical characteristics were obtained. Values of bulk and apparent densities of baru almonds were 1,018 g.cm⁻³ and 0,807 g.cm⁻³, respectively. Color parameters were L * = 38,29, a * = 11,37 and b* = 38,20. The sphericity and porosity almond of baru almond were 0,544 and 0,207 respectively. About the chemical composition, the almonds presented 2.83% of moisture, 3.11% ashes, 38.95% lipids, 21.07% protein and 34.04% carbohydrates. The specific heat, thermal diffusivity and thermal conductivity were 1.915 J.g⁻¹.°C⁻¹, 1.395x10⁻⁷ m².s⁻¹ e 0.271 W.m⁻¹.°C⁻¹, respectively. The properties may serve as information for processing and use of baru almond in the food industry.

Keywords: *Dipteryx alata* Vog., chemical composition, physical properties, thermophysical properties.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. Estrutura do fruto do baru (<i>Dipteryx alata</i> Vog.)..... | 11 |
| FIGURA 2. Equação da reta obtido para a taxa de aumento da temperatura do banho..... | 26 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Comparação entre o calor específico reportado em literatura e no trabalho de ROSA (2015)..... | 23 |
| Tabela 2 – Composição centesimal da amêndoa do baru..... | 25 |
| Tabela 3 – Características físicas da amêndoa do baru..... | 26 |
| Tabela 4 – Parâmetros de cor da amêndoa do baru..... | 26 |

Sumário

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. | OBJETIVOS | 11 |
| | 2.1. <i>Objetivo geral.....</i> | 11 |
| | 2.2. <i>Objetivos Específicos.....</i> | 11 |
| 3. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| | 3.1. <i>Baru</i> | 13 |
| | 3.2. <i>Amêndoa do baru.....</i> | 14 |
| | 3.3. <i>Composição centesimal e valor energético da amêndoa do baru... </i> | 14 |
| | 3.4. <i>Propriedades físicas.....</i> | 13 |
| | 3.4.1 <i>Densidade aparente.....</i> | 14 |
| | 3.4.2 <i>Densidade real.....</i> | 14 |
| | 3.4.3 <i>Esfericidade.....</i> | 15 |
| | 3.4.4 <i>Porosidade.....</i> | 15 |
| | 3.4.5 <i>Cor.....</i> | 16 |
| | 3.5 <i>Propriedades termofísicas.....</i> | 16 |
| | 3.5.1 <i>Calor específico.....</i> | 16 |
| | 3.5.2 <i>Difusividade térmica.....</i> | 17 |
| | 3.5.3 <i>Condutividade térmica.....</i> | 17 |
| 4 | MÉTODOS E PROCEDIMENTOS..... | 20 |
| | 4.1 <i>Matéria-Prima.....</i> | 20 |
| | 4.2 <i>Preparo das amostras.....</i> | 20 |
| | 4.3 <i>Composição centesimal e valor energético.....</i> | 20 |
| | 4.4 <i>Propriedades físicas.....</i> | 19 |
| | 4.4.1 <i>Densidade aparente.....</i> | 19 |
| | 4.4.2 <i>Densidade real.....</i> | 20 |
| | 4.4.3 <i>Esfericidade.....</i> | 20 |
| | 4.4.4 <i>Porosidade.....</i> | 20 |
| | 4.4.5 <i>Cor.....</i> | 21 |
| | 4.5 <i>Propriedades termofísicas.....</i> | 21 |
| | 4.5.1 <i>Calor específico.....</i> | 21 |
| | 4.5.2 <i>Difusividade térmica.....</i> | 253 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.5.3 | <i>Condutividade Térmica</i> | 263 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 27 |
| 5.1 | <i>Composição centesimal da amêndoa do baru</i> | 24 |
| 5.2 | <i>Características físicas da amêndoa do baru</i> | 25 |
| 5.3 | <i>Características termofísicas da amêndoa do baru</i> | 27 |
| 5.3.1 | <i>Calor específico</i> | 27 |
| 5.3.2 | <i>Difusividade térmica</i> | 28 |
| 5.3.3 | <i>Condutividade térmica</i> | 28 |
| 6 | CONCLUSÃO | 28 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 32 |

1. INTRODUÇÃO

O baru (*Dipteryx alata* Vog.) é conhecido popularmente como cumbaru, cumaru, coco-feijão, barujó e castanha-de-ferro. Sua frutificação ocorre nos meses de setembro e outubro nas regiões conhecidas como Mata Seca, Cerrado e Cerradão, entre os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e Distrito Federal. Pode também ser encontrado em menor frequência no Maranhão, Tocantins, Pará, Rondônia, Bahia, Piauí e norte do estado de São Paulo (CARRAZZA; ÁVILA, 2010).

A árvore do baru (*Dipteryx alata* Vog.), da família *Leguminosae*, disseminada principalmente no bioma Cerrado, faz parte do grupo das espécies nativas usadas pela população regional, como fonte de renda familiar (SANO et al. 2004). Em média, são produzidos de 2.000 a 6.000 frutos por planta (SOARES JÚNIOR et al. 2007). É uma das espécies mais promissoras para cultivo, devido a seus usos múltiplos, dentre eles alimentar, madeireiro, medicinal, industrial, paisagístico e na recuperação de áreas degradadas. Constitui uma das poucas espécies que apresentam frutos com polpa carnosa durante a estação seca, sendo importante para a alimentação da fauna, nesta época (SANO et al. 2004).

Devido às suas características químicas, há interesse tecnológico no fruto do baru. Estudos recentes mostram elevados teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante das amêndoas do baru, sendo o ácido gálico o principal composto fenólico (LEMOS et al., 2012; SIQUEIRA et al., 2012). Embora a alta densidade de taninos seja considerada como fator antinutricional, os compostos fenólicos no geral são considerados bioativos, antioxidantes naturais, e com capacidade de prevenção de diversas doenças crônico-degenerativas (IGNAT; VOLF; POPA, 2011). Além desses compostos, o alto teor em lípidios sugere a utilização do fruto para extração de óleo da amêndoa do baru (TAKEMOTO et al., 2001).

A amêndoa do baru pode ser consumida torrada e em forma de doces, pé-de-moleque, rapadura e paçoca. É fonte de minerais, com destaque para o cálcio (82,0 mg/100g), ferro (5,35 mg/100g) e zinco (1,04mg/100g) (VALLILO; TAVARES; 1990; TOGASHI; SGARBIERI, 1994; TAKEMOTO et al., 2001).

Estudos demonstram um aproveitamento, quase total, dos frutos de baru colhidos, com perdas mínimas, mostrando-se uma atividade de beneficiamento compensadora para a agroindústria, além de importante fonte de renda de

produtores rurais (BOTEZELLI et al., 2000; ARAKAKI, 2004; BOLLIGER, 2006). Portanto, informações sobre as propriedades químicas, físicas e termofísicas da amêndoa do baru podem ser úteis para a indústria de alimentos, desde o dimensionamento de processos até o desenvolvimento de novos produtos.

2. OBJETIVOS

2.1. *Objetivo Geral*

O presente trabalho tem por objetivo determinar as características químicas, físicas e termofísicas da amêndoa do baru (*Dypterix alata* Vog.).

2.2. *Objetivos Específicos*

- Determinar a composição centesimal (umidade, carboidratos, proteínas, lipídios, fibras, cinzas e minerais) e valor energético da amêndoa do baru;
- Determinar as propriedades físicas (densidades real e aparente, esfericidade e porosidade) da amêndoa do baru;
- Determinar as propriedades termofísicas (calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica) da amêndoa do baru.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Baru

A árvore do baru é uma leguminosa da família *Fabaceae*. Árvore de grande porte, chega a medir 25 metros de altura, podendo atingir 70 cm de diâmetro, e com vida útil em torno de 60 anos. Com copa densa e arredondada, apresenta crescimento rápido, sendo importante para fixação de carbono da atmosfera. Tem sua primeira frutificação com cerca de 6 anos, sendo este período bastante variado em função das condições de solo e água. Possui safra intermitente com variações bruscas de intensidade de produção de frutos de um ano para o outro. Para efeitos práticos, em relação à utilização comercial, apresenta uma safra produtiva a cada 2 anos. Uma árvore adulta produz cerca de 150 kg de fruto por safra produtiva. Possui apenas uma semente por fruto, do qual pode se aproveitar a polpa, o endocarpo e a semente (amêndoa) (CARRAZZA, 2010).

O barueiro apresenta frutos do tipo drupa, ovóides, levemente achatados e de coloração marrom, com uma única semente comestível, a amêndoa de baru. A amêndoa é comercializada nos grandes centros, sendo bastante apreciada pela população local (VERA et al., 2009). Além disso, os frutos apresentam polpa e endocarpo que possuem diversas finalidades (SANO et al., 2004; FERNANDES et al., 2010; CRUZ et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2011). Entre os usos do barueiro e seu fruto estão: alimentar (doces, licores, farinhas, óleos e outros), forrageiro (recobrimento de pastagens), madeireiro (uso na construção civil), medicinal (propriedades antirreumáticas e reguladoras hormonais), farmacêutico (óleos e cosmética) e paisagístico (recuperação de áreas degradadas) (SANO et al., 2004).



Figura 1. Estrutura do fruto do baru
FONTE: CARRAZA, 2010

3.2. Amêndoa do baru

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 do baru apresenta comprimento de 1 a 2,6 cm, a largura de 0,9 a 1,3 cm, espessura de 0,7 a 1,0 cm e massa de 0,9 a 1,6 g. Os dados de literatura mostram um teor elevado de ácido fítico e taninos ($1073,6 \pm 114,9$ e $472,2 \pm 12,5$ mg a cada 100 g, respectivamente) (MARIN et al., 2009). Outros estudos mostram um elevado teor de compostos fenólicos das amêndoas de baru e elevada atividade antioxidante (LEMOS et al., 2012; SIQUEIRA et al., 2012).

3.3. Composição centesimal e valor energético da amêndoa do baru

A amêndoa de baru caracteriza-se por ser rica em lipídeos (41 mg/ 100 g), proteínas (26 mg/ 100 g), alto teor de fibra total (11 mg/ 100 g) e minerais (3 mg/ 100 g). Em decorrência disso é considerada uma boa fonte energética, sendo alternativa para uma dieta saudável com vantagens nutricionais (TAKEMOTO et al., 2001; FERNANDES et al., 2010; CRUZ et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2011). Takemoto et

al. (2001) relataram teores elevados de gorduras insaturadas, de 31,02% na amêndoa do baru.

Em relação à alta densidade em minerais destacam-se, principalmente, cálcio, ferro, magnésio, fósforo, potássio, manganês, cobre, zinco e selênio (TAKEMOTO et al., 2001; MARIN; ARRUDA; SIQUEIRA, 2009; OLIVEIRA et al., 2011). O zinco e selênio são compostos bioativos relacionados a atividade antioxidante. As sementes de baru cruas também possuem fatores antinutricionais, que são os inibidores de tripsina, por esse motivo, as sementes devem passar por um processo de torrefação antes do consumo (KALUME et al., 1995).

3.4 Propriedades físicas

O conhecimento das propriedades físicas de grãos e sementes são informações que auxiliam no dimensionamento de máquinas de pré-processamento, processamento, transporte, classificação e armazenamento dos mesmos (COSTA et al., 2013). Razavi et al. (2008) enfatizam que o dimensionamento destes equipamentos sem conhecimento prévio das propriedades físicas dos produtos a serem processados pode resultar em um processamento insatisfatório.

3.4.1 Densidade aparente

A densidade aparente representa a massa da amostra por unidade de volume aparente, incluindo o volume interno de poros (MOHSENIN, 1980). Desta maneira, a massa específica proporciona uma medida do grau de concentração de massa em volume, onde o valor determinado é expresso em quilogramas por metro cúbico (kg.m^{-3}) (MORAN; SHAPIRO, 2002). É um parâmetro essencial no projeto, modelagem e otimização de processos da indústria alimentícia, pois representa efeito direto nas propriedades físicas do alimento.

A densidade aparente é uma propriedade intensiva e a importância da sua determinação reside no fato de que o fluxo de energia na forma de calor se difunde por meio do atrito entre as partículas que compõem o fluido ou através da transferência de energia entre os átomos e moléculas (MORAN; SHAPIRO, 2002).

3.4.2 *Densidade real*

A densidade real representa a quantidade de amostra que pode ser ocupada em um determinado volume, desprezando o volume interno de poros (WESSEL-BEAVER et al., 1984).

As informações fornecidas por esta propriedade física são capazes de auxiliar no dimensionamento de silos, cálculo de transportadores, separadores e classificadores de grãos e sementes. Diversos são os fatores que afetam a massa específica dos materiais vegetais, dentre os principais se encontram o teor de água, a forma e a superfície dos produtos. Sirisomboon et al. (2007) apresentaram as propriedades físicas, área superficial, área projetada, volume, circularidade e esfericidade dos frutos, nozes e sementes, como indispensáveis no dimensionamento de máquinas e equipamentos capazes de realizar o processo de descascamento. Estas informações também podem ser utilizadas para determinar o limite inferior do tamanho dos transportadores, como esteira, elevador de caneca e transportador helicoidal.

3.4.3 *Esfericidade*

Os grãos e frutos, de modo geral, não apresentam um formato geométrico perfeitamente definido, tornando necessário para a solução de problemas relacionados à sua geometria, assumir para o produto uma forma conhecida, o que acarreta em aproximações e possíveis erros. Agrawal et al. (1972) observaram que, para maioria dos produtos agrícolas, muitas dessas soluções são obtidas assumindo-se, as formas geométricas de um esferoide ou elipsoide composto por três dimensões características, que são os eixos maior, médio e menor. Entretanto, Mohsenin (1986), com o intuito de analisar esses desvios, propôs alguns métodos para determinar a esfericidade, ou seja, o grau de aproximação da forma do produto com a esfera.

3.4.4 Porosidade

A porosidade intergranular pode ser entendida como a porcentagem do volume total ocupada pelo ar em uma massa de produto. Este percentual de espaços "vazios" depende do tamanho e da forma do material tal como das características de sua superfície. Uma massa de produto com superfície rugosa tende a apresentar mais espaços vazios do que uma massa de grãos com superfície lisa. Mata & Duarte (2002), admitem que o conhecimento da porosidade de uma massa de grãos é uma ferramenta sumamente importante no dimensionamento de silos, contêineres, caixas, embalagens e unidades transportadoras, além de estar contida dentro dos estudos da transferência de calor e massa, nos processos hidrodinâmicos, aerodinâmicos e termoelétricos.

3.4.5 Cor

No sistema CIELab, que é o mais utilizado para avaliação de cor em alimentos, são determinados os seguintes parâmetros: L^* mede a claridade das amostras que pode variar de 0 a 100, onde mais próximo de 100 mais branca é amostra e quanto mais próximo de 0 mais escuro; $-a^*$ representa a tendência da cor para tonalidade vermelha e $+a^*$ como a tonalidade verde, além do $+b^*$, sendo tendência a tonalidade amarela e $-b^*$ a tonalidade azul (CIE, 1996).

A cor brilhante da amêndoa do baru varia de marrom amarelada ou avermelhada a quase preto, algumas apresentam fissuras transversais mostrando a cor branca a creme dos cotilédones (SANO et al., 1999; SANO; et al., 2006).

3.5 Propriedades termofísicas

A necessidade de conhecer as propriedades termofísicas dos alimentos é importante para os tratamentos térmicos, tais como secagem, pasteurização, e também para a previsão e controle das várias mudanças que ocorrem nos alimentos durante processos que utilizam variações de temperatura (MURAMATSU et al., 2009).

Para as determinações termofísicas, a principal forma de transferência de energia na forma de calor considerada é a condução, que é caracterizada pela transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para as

partículas adjacentes que são menos energéticas, devido a interações entre as moléculas (LESSA, 2011).

3.5.1 *Calor específico*

O calor específico é a quantidade de energia na forma de calor necessária para alterar a temperatura em 1 grau por unidade de massa, sem mudança de estado (MONTROYA et al.,1990). O valor do calor específico, onde o valor determinado é expresso em $J.g^{-1}.^{\circ}C^{-1}$, é principalmente afetado pela quantidade e estado físico da água presente no material, sendo um importante parâmetro termodinâmico para determinação da quantidade de energia que deve ser adicionada ou removida nos processos de aquecimento e resfriamento de alimentos (LEWIS, 1993). Além disso, é também significativamente influenciado pela composição e estrutura do material (SINGH; HELDMAN, 1993).

Segundo Mohsenin (1980), Hwang e Hayakawa (1979) e Kazarian e Hall (1965), o método mais comum para determinação do calor específico em produtos biológicos é o método das misturas que envolvem um calorímetro. Em geral, o dispositivo baseia-se no equilíbrio térmico estabelecido entre um material que se pretende determinar o calor específico e um segundo material de calor específico conhecido.

3.5.2 *Difusividade térmica*

O significado físico da difusividade térmica durante as mudanças da temperatura com o tempo está associado à difusão de calor dentro do produto analisado. Altos valores da difusividade térmica significam uma acelerada transferência do calor dentro do produto e pouco tempo para que o calor saia do corpo, onde o valor determinado é expresso em $(m^2.s^{-1})$ (DINCER, 1995).

A propriedade é também definida como a relação entre a condutividade térmica e o calor específico do produto multiplicado por sua massa específica. Esta relação fornece a informação sobre como a temperatura pode variar quando um material é submetido a um processo de aquecimento ou resfriamento. A difusividade térmica acaba sendo a mais utilizada das propriedades termofísicas para modelagem dos processos térmicos. Isto se deve à descrição da razão entre a capacidade em transferir energia na forma de calor e a capacidade de armazenar

energia térmica, em condições onde a transferência de energia na forma de calor ocorre em regime transiente ou estacionário (LEWIS, 1993).

3.5.3 *Condutividade térmica*

Segundo Incropera et al. (1996), a condutividade térmica representa a propriedade que relaciona a taxa com que o fluxo de calor escoar através do material, em função da existência de um gradiente de temperatura, onde o valor determinado é expresso em $W.m^{-1}C^{-1}$. A equação proposta por Fourier, no caso de condução unidimensional de calor, é conhecida como a equação fundamental de transferência de calor (WELTY et al., 1984).

A propriedade depende da composição do produto, principalmente da umidade, além da presença de espaços vazios, do grau de homogeneidade estrutural, porosidade, forma, tamanho, arranjo dos poros, orientação das fibras, no caso de carnes congeladas e como de qualquer fator que afeta o fluxo de calor através do material (INCROPERA et al., 1996). Esta propriedade termofísica é importante para avaliação de coeficientes convectivos internos aos equipamentos e para posteriores cálculos dos coeficientes globais de troca térmica, os quais são demandados em qualquer operação de transferência de calor, seja para fins de dimensionamento ou simulação de modelos matemáticos (KERN, 1980).

4 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

4.1 *Matéria-Prima*

A amêndoa do baru foi adquirida na forma torrada e embalada no comércio local da cidade de Uberlândia (MG), no mês de Julho de 2016.

A amêndoa foi armazenada em temperatura de congelamento em um freezer horizontal (Metalfrio, 410 litros).

4.2 *Preparo Das Amostras*

A amêndoa do baru foi triturada em em processador doméstico (Mini Processador Black & Decker HC32) no momento das análises. Para a determinação das propriedades termofísicas, o teor de umidade da amêndoa foi determinado conforme metodologia do IAL (2005), em triplicata.

4.3 *Composição centesimal e valor energético*

Os lipídios (%) foram determinados conforme método de Soxhlet, segundo método IUPAC 1.122, utilizando n-hexano como solvente. Para quantificar o teor de cinzas, foi utilizado o método da AOAC (1998). Para a determinação de proteínas, foi utilizado o método da AOAC (1995). Os testes foram realizados em triplicata.

O teor de carboidratos foi obtido por diferença, isto é, a quantidade de água, proteínas, lipídios e cinzas subtraída de cem (WATT; MERRILL, 1973). O valor energético (kcal) foi estimado utilizando fatores de conversão de Atwater, de 4 kcal (proteínas e carboidratos) e 9 kcal (lipídios) (BRASIL, 2003).

4.4 *Propriedades físicas*

4.4.1 *Densidade aparente*

A densidade aparente das amêndoas do baru foi determinada por adaptação da metodologia de Caparino et al. (2012). A massa de uma proveta de 100 mL vazia

foi registrada. Em seguida, a proveta foi preenchida com a amostra até o volume de 50 mL. A massa da proveta cheia foi medida e a densidade aparente foi calculada como a diferença entre a massa total da proveta com a amostra e a massa da proveta vazia, dividida pelo volume ocupado pela amostra (Equação 01). A análise foi realizada em triplicata e os resultados expressos em g.cm^{-3} .

$$\rho_{ap} = \frac{m}{v} \quad (\text{Equação 01})$$

Onde:

ρ_{ap} = densidade da amêndoa (g.cm^{-3});

m = massa da amêndoa (g);

v = volume ocupado pela amêndoa (cm^3).

4.4.2 Densidade real

Uma proveta de 250 mL foi preenchida com água até o volume de 100 mL e a amostra, de massa conhecida, foi colocada na proveta. O deslocamento da água após colocar as amêndoas do baru foi registrado em volume (mL), conforme adaptação do método proposto por Wessel-Beaver, Beck e Lambert (1984). A análise foi feita em triplicata e os resultados expressos em g.cm^{-3} , sendo a densidade real calculada pela Equação 02:

$$\rho_r = \frac{m}{v} \quad (\text{Equação 02})$$

Onde:

ρ_r = densidade real (g.cm^{-3});

m = massa da amêndoa (g);

v = volume de água deslocado (cm^3).

4.4.3 Esfericidade

Na determinação das dimensões principais e esfericidade do produto, foi utilizada uma amostra aleatória de 50 amêndoas. As dimensões foram medidas com um paquímetro digital (6" ZAAS precision) e a esfericidade média calculada através da Equação 03, conforme Magalhães et al. (2000):

$$\phi = \frac{(a.b.c)^{1/3}}{a} \quad (\text{Equação 03})$$

Onde:

Φ = esfericidade (adimensional);

a, b e c = dimensões dos frutos (comprimento, altura e largura), respectivamente, em milímetros.

4.4.4 Porosidade

A porosidade das amêndoas do baru foi determinada de forma indireta, através dos valores de densidade real e densidade aparente, conforme a Equação 04 (NOGUEIRA et al. 2014):

$$\epsilon = 1 - \left(\frac{\rho_{ap}}{\rho_r}\right) \quad (\text{Equação 04})$$

Onde:

ϵ = porosidade (adimensional);

ρ_{ap} = densidade aparente (g.cm^{-3});

ρ_r = densidade real (g.cm^{-3}).

4.4.5 Cor

Os parâmetros de cor foram mensurados com espectrofotômetro de reflectância difusa MiniScan EZ (HunterLab, MSEZ-4000S, USA), estimando os valores de L^* , a^* e b^* , em sextuplicata.

4.5 Propriedades termofísicas

4.5.1 Calor específico

Para determinar o calor específico da amêndoa do baru, foi utilizado o método de mistura calorimétrica, que consistiu no emprego de um recipiente isolado (calorímetro) de capacidade calorífica conhecida contendo água a uma temperatura e massa conhecidas (ZANOELO et al., 2010).

Foi usado um calorímetro construído utilizando-se uma garrafa térmica envolvida por uma camada (4 cm) de isolante térmico (poliestireno expandido) e por uma camada externa composta por um tubo de PVC. Para medição da temperatura interna foi empregado um termômetro digital. Foi necessário determinar a capacidade calorífica do calorímetro, de acordo com a metodologia sugerida por Mata e Duarte (2003), antes da determinação do calor específico da amêndoa do baru. Uma massa conhecida (200 g) de água destilada à temperatura ambiente foi colocada no equipamento. Em seguida, o calorímetro foi fechado com uma rolha de borracha acoplada ao termômetro e foi determinada a temperatura T_1 no interior do calorímetro. Posteriormente, foi colocado no equipamento mais uma quantidade conhecida (200 g) de água aquecida (50 °C) e chamada de temperatura T_2 . A mistura foi agitada e, posteriormente, esperado o tempo até atingir o equilíbrio térmico T_3 . A capacidade calorífica foi calculada com base na Equação 05.

$$C_{cal} = \frac{m_1 c_1 (T_3 - T_2) + m_2 c_1 (T_3 - T_1)}{(T_1 - T_3)} \quad (\text{Equação 05})$$

Onde:

$c_1 = c_2 =$ calor específico da água, $4,186 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$;

$m_1 =$ massa de água em temperatura ambiente, 200 g;

$m_2 =$ massa de água quente, 200 g;

$T_1 =$ Temperatura da água ambiente (°C);

$T_2 =$ Temperatura da água quente (°C);

$T_3 =$ Temperatura de equilíbrio da mistura (°C);

$C_{cal} =$ capacidade calorífica do calorímetro, $\text{J} \cdot \text{°C}^{-1}$.

Após determinada a capacidade calorífica do calorímetro (C_{cal}) e a temperatura de equilíbrio (T_3), foi colocada uma amostra da amêndoa do baru a uma temperatura T_4 no calorímetro. A mistura foi agitada até que se atingiu um novo equilíbrio térmico (T_5). O calor específico da amostra foi determinado pelo seguinte balanço de energia (Equação 06) (MATA; DUARTE, 2003; OLIVEIRA, 2009).

$$C_s = \frac{m_3 c_1 (T_5 - T_3) + C_{cal} (T_5 - T_4)}{MBS (T_5 - T_4)} \quad (\text{Equação 06})$$

$$MBS = \frac{m_s \cdot 100}{100 - \text{UMIDADE}} \quad (\text{Equação 07})$$

Onde:

c_1 = calor específico da água, $4,186 \text{ J.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$;

m_s = massa de amostra (g);

c_s = calor específico da amostra ($\text{J.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$);

T_4 = temperatura da amostra ($^{\circ}\text{C}$);

T_5 = temperatura de equilíbrio da mistura ($^{\circ}\text{C}$);

$m_3 = m_1 + m_2$;

MBS = massa da amostra (g) em base seca.

A técnica utilizada foi validada em um trabalho prévio (ROSA, 2015), baseada na utilização de três alimentos (arroz, banana e farinha de trigo) com valores de calor específico disponíveis em literatura (Tabela 1).

Tabela 1 - Comparação entre o calor específico reportado em literatura e no trabalho de ROSA (2015).

| | Calor específico ($\text{J.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$) | | |
|---------------------------|---|-------------------|-------------------|
| | Arroz | Farinha de Trigo | Banana |
| ROSA (2015) | $1,216 \pm 0,004$ | $1,528 \pm 0,186$ | $3,328 \pm 0,861$ |
| Stanley e Charm (1971) | 1,757 | - | 3,040 |
| Oliveira e Zanoelo (2011) | 1,745 | - | 3,347 |
| Mohsenin (1980) | - | 1,371 | - |

4.5.2 Difusividade térmica

O método usado na determinação da difusividade térmica foi baseado no trabalho de Moura et al. (2003), através do uso de um aparato de medição composto por um tubo de latão, com raio de $2,35 \times 10^{-4}$ m e 0,15 m de altura, fechado em uma das extremidades. Foram instalados dois termopares acoplados, sendo um na superfície, para tomadas de medidas de temperatura nesta posição, outro, tipo agulha, disposto no plano central da amostra. O aparato de medição contendo a amostra compactada foi então totalmente mergulhado em banho térmico de água a 10 °C. Após o equilíbrio térmico entre o tubo e o banho, iniciou-se o aquecimento, que foi interrompido quando a temperatura interna da amostra atingiu aproximadamente 70 °C. As medidas de temperatura foram registradas em intervalos de 1 minuto. Além de possibilitarem a monitoração da taxa de elevação de temperatura do banho térmico, os dados obtidos serviram de base para o tratamento gráfico dos perfis de evolução das temperaturas externa e interna. A difusividade térmica foi calculada pela Equação 08 (MOURA et al., 2003).

$$\alpha = \frac{AR^2}{4(T_{\text{ext}} - T_{\text{int}})} \quad (\text{Equação 08})$$

Onde:

α = difusividade térmica ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$);

A = taxa de aumento de temperatura do banho ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$);

R = raio do tubo (m);

$(T_{\text{ext}} - T_{\text{int}})$ = diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna do tubo ($^{\circ}\text{C}$).

O valor de A utilizado no cálculo é o valor obtido a partir da fase constante de aumento da temperatura do banho (coeficiente angular da reta), conforme mostrado no gráfico da Figura 2.

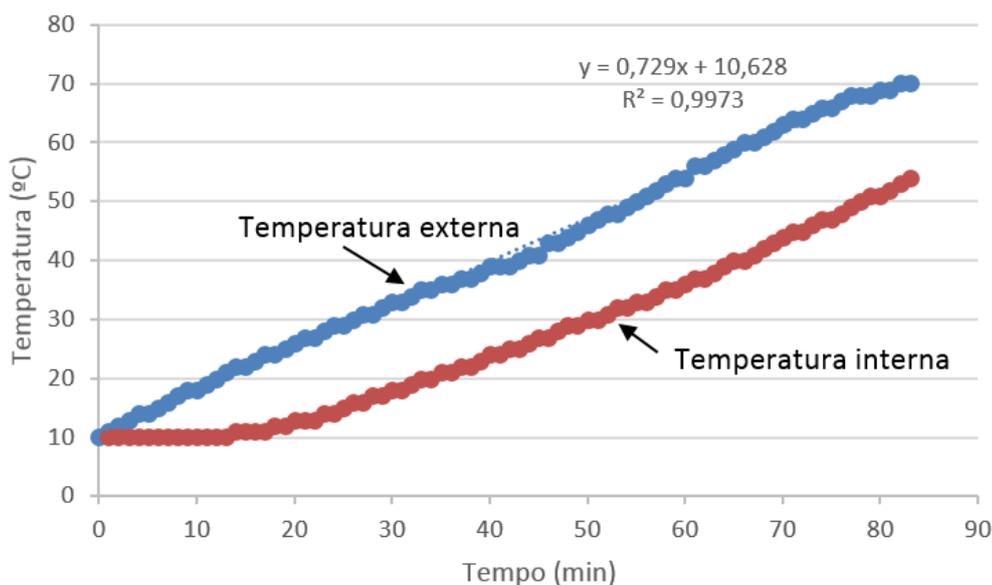


Figura 2. Equação da reta obtida para a taxa de aumento da temperatura do banho.

O valor da diferença de temperatura externa e interna diminui à medida que a temperatura do banho aumenta, devido ao aumento da convecção. Como foram realizadas medidas a cada 1 minuto, o valor calculado para a difusividade foi obtido a partir da média dos valores na faixa estudada.

4.5.3 Condutividade Térmica

A condutividade térmica do produto foi determinada indiretamente através da Equação 09, utilizando-se os valores experimentais da densidade aparente, do calor específico e da difusividade térmica (MOURA et al., 2003).

$$k = \alpha \cdot \rho \cdot C_p \quad (\text{Equação 09})$$

Onde:

α = difusividade térmica ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$);

k = condutividade térmica ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$);

ρ = densidade aparente ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

C_p = calor específico da amostra ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Composição centesimal e valor energético

Os valores médios e o desvio padrão da composição centesimal da amêndoa do baru torrada estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição centesimal da amêndoa do baru

| Características químicas avaliadas* | (g.100g ⁻¹) |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Umidade | 2,83 ± 0,32 |
| Cinzas | 3,11 ± 0,03 |
| Carboidratos** | 34,04 |
| Lipídios | 38,95 ± 2,60 |
| Proteínas | 21,07 ± 2,10 |

*Valores médios obtidos em triplicata. **Valor calculado por diferença. Não há dados do teor de fibras, portanto o valor corresponde aos carboidratos totais.

O teor de umidade encontrado foi de 2,83 g.100 g⁻¹. Segundo análise feita por Vera et al. (2009), o teor de umidade da amêndoa do baru *in natura* variou de 2,93 a 5,07 g.100 g⁻¹. Vallilo et al. (1990) relataram teor médio de umidade nas amêndoas de baru cultivadas no estado de São Paulo de 5,80 g.100 g⁻¹; Melhem (1972) observou teor médio de umidade para amêndoas da região do Estado de Minas Gerais de 10,7 g.100 g⁻¹, superiores aos obtidos neste trabalho.

O teor de cinzas observado foi de 3,11 g.100 g⁻¹, valor próximo aos obtidos para a amêndoa do baru por Fernandes et al. (2010) e Fraguas et al. (2014), de 3,34 g.100 g⁻¹ e 2,65 g.100 g⁻¹, respectivamente.

O teor de lipídios encontrado foi de 38,95 g.100 g⁻¹, valor superior ao encontrado por Vera et al. (2009) (33,28 g.100 g⁻¹) e próximo aos relatados por Takemoto et al. (2001) (38,40 g.100 g⁻¹) e Freitas e Naves (2010) (41,04 g.100 g⁻¹).

Segundo a *Food and Agriculture Organization*, o fator de conversão para o cálculo de proteína para a maioria das nozes e sementes comestíveis é de 5,30. O valor obtido para o teor de proteína foi de 21,07 g.100 g⁻¹. Em outros estudos, os valores obtidos para proteínas variaram de 23,90 a 29,60 g.100 g⁻¹ (TOGASHI, SGARBIERI, 1994; TAKEMOTO et al., 2001; VERA et al., 2009). O baru apresenta teores médios de proteína da amêndoa semelhantes aos do amendoim, inferiores

aos da castanha de caju, das amêndoas de pequi e da amêndoa-doce, e superiores aos da avelã (MENDEZ et al., 1995; FERNANDEZ, ROSOLEM, 1998; MELO et al., 1998; RODRIGUES et al., 2004; SILVA et al., 2005). Uma porção de 20 g de amêndoas de baru pode suprir de 26,48 a 29,12% das necessidades diárias em proteínas de uma criança de 4 a 6 anos (BRASIL, 1998).

O valor energético calculado da amêndoa do baru, utilizando a conversão de Atwater, foi de 570,9 kcal para cada 100 g de amêndoa, valor próximo ao encontrado por Junqueira e Favaro (2004), de 574,8 kcal.100 g⁻¹ e superior ao obtido por Takemoto et al. (2001), de 502 kcal.100g⁻¹.

As diferenças entre os valores encontrados da composição centesimal podem ser devidas a diversos fatores, tais como: variações genéticas e ambientais ou ao processo de torra ao qual foi submetida a amêndoa do baru analisada, além das técnicas de armazenamento, embalagens e das metodologias analíticas utilizadas nas determinações.

5.2 Características físicas

Os valores obtidos para as densidades real e aparente, esfericidade e porosidade estão dispostos na Tabela 3 e os parâmetros de cor estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 3 – Características físicas da amêndoa do baru

| Características físicas avaliadas* | |
|--|---------------|
| Densidade aparente (g.cm ⁻³) | 0,807 ± 0,022 |
| Densidade real (g.cm ⁻³) | 1,018 ± 0,079 |
| Porosidade** | 0,207 |
| Esfericidade** | 0,544 |

*Valores médios obtidos em triplicata. **Valores adimensionais.

Tabela 4 – Parâmetros de cor da amêndoa do baru

| Parâmetros de cor avaliados* | |
|------------------------------|--------------|
| L* | 38,29 ± 1,36 |
| a* | 11,37 ± 0,34 |
| b* | 38,20 ± 0,72 |

*Valores adimensionais

A densidade real medida foi de 1,018 g.cm⁻³. O valor relatado por Costa et al. (2013), foi de 1,140 g.cm⁻³ para a amêndoa do baru. O valor obtido no presente trabalho é próximo aos valores obtidos de densidade real para outras amêndoas. Nogueira et al. (2014) relataram 0,947 g.cm⁻³ para a amêndoa da castanha-do-Brasil e Gharibzahedi et.al. (2010) encontraram valores de 1,071 g.cm⁻³ para o pinhão. Para a castanha do caju, Balasubramanian (2001) mencionou valores de 1,240 g.cm⁻³.

Costa et al. (2013) relataram valor para a densidade aparente de 0,734 g.cm⁻³ para a amêndoa do baru, próximo ao valor encontrado no presente trabalho, de 0,807 g.cm⁻³. Comparando com as densidades aparentes de diferentes amêndoas, foi encontrado valor superior para a amêndoa do baru. Gharibzahedi et.al. (2010) obtiveram valores de densidade aparente do pinhão variando de 0,593 a 0,612 g.cm⁻³, Razavi et al. (2008) observaram densidade aparente de 0,596 g.cm⁻³ para o pistache.

A porosidade, de 20,7%, é inferior ao valor relatado por Costa et al. (2013), de 35,7% para a amêndoa do baru. Nogueira et al. (2014) relataram, para a castanha da amêndoa-do-Brasil, uma porosidade de 37,6%. Razavi et al. (2008) acharam valores de 40,02% para o pistache. Balasubramanian (2001) relatou valores de 52,33% para a castanha de caju. As diferenças nos valores encontrados podem estar relacionadas principalmente à metodologia utilizada ou aspectos ambientais e genéticos do fruto do baru.

A esfericidade encontrada foi de 54,40%, próximo ao valor obtido por Costa et al. (2013) para a amêndoa do baru, de 54,24% e superior aos 47,72% obtido por Nogueira et al. (2014) para a amêndoa da castanha-do-Brasil.

5.3 Características termofísicas

5.3.1 Calor específico

A comparação entre os valores obtidos experimentalmente por Rosa (2015) e os valores reportados em literatura confirmam a validade do procedimento adotado para determinação do calor específico da amêndoa do baru.

O calor específico medido para a amêndoa do baru foi de $1,915 \pm 0,18 \text{ J.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$. Wright e Poterfield (1970) relataram um calor específico para a manteiga de amendoim de $1,686 \text{ J. g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$. Araújo (2008) determinou o calor específico de $1,807 \text{ J. g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ para o óleo da castanha-do-Brasil. De acordo com ASHRAE Handbook (2006), o calor específico para o amendoim é $2,23 \text{ J.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, enquanto que Young e Whitaker (1973) relataram calor específico de $2,36 \text{ J.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ para o amendoim.

5.3.2 Difusividade térmica

O valor obtido para a difusividade térmica da amêndoa do baru foi de $1,395 \times 10^{-7} \pm 0,345 \times 10^{-7} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. Bitra et al. (2010) encontraram uma difusividade térmica de $1,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ a $1,1 \times 10^{-7} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ para a semente do amendoim, sendo estes valores determinados de acordo com o teor de umidade da amostra.

5.3.3 Condutividade térmica

A condutividade térmica calculada para a amêndoa do baru foi de $0,271 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$. Bitra et al. (2010) relataram uma condutividade térmica para a semente amendoim de $0,15$ a $0,19 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, calculados de acordo com o teor de umidade da amostra. Araújo (2008) determinou uma condutividade térmica de $0,17 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ para o óleo da castanha-do-brasil.

6. CONCLUSÃO

A amêndoa do baru possui elevado teor de proteínas e gorduras, sendo uma boa fonte energética e apresenta grande potencial produtivo, com características químicas, físicas e termofísicas semelhantes às de diferentes amêndoas comumente comercializadas e consumidas, indicando, assim, o potencial de utilização na indústria de alimentos.

A proposta permitiu a construção e utilização de um calorímetro e de um sistema para calcular a difusividade térmica com baixo custo, de montagem simples e com materiais facilmente encontrados. Tais dispositivos podem servir como suporte didático e de pesquisa, substituindo materiais de custo elevado ou com necessidades de manutenção. Apesar de não existirem dados de literatura para as propriedades termofísicas da amêndoa do baru, através dos dados obtidos no presente trabalho, verificaram-se resultados similares aos encontrados em literatura para diversos produtos alimentícios.

7. REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, K. K.; CLARY, B. L.; SCHROEDER, E. W. Mathematical models of peanut pod geometry. ASAE, St. Joseph, 1972, 30p. Paper nº 72-315
- ARAÚJO, L. A. Estudo das propriedades físicas, químicas e termofísicas de óleos regionais e suas misturas. **Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia.** Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2008
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Norma nº 985.19.** Washington, 1970.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 16 ed., v. 1. Arlington: AOAC, 1995.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 16 ed. Washington: AOAC. 1018 p. 1998.
- ARAUJO, J. L.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Propriedades Termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos. **Ciências Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 126-134, jan./fev., 2004.
- ARAKAKI, A. H. Potencialidades do cumbaru (*Dipteryx alata* Vog.) para o desenvolvimento rural em fragmentos do cerrado no assentamento Andalúcia/MS. 75f. **Dissertação (Mestre em Desenvolvimento Local)** - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2004.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook - Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2006.
- BALASUBRAMANIAN, D. Physical Properties of Raw Cashew Nut. *Journal of Agricultural Engineering Research*. n. 78, vol. 3, 2001.
- BITRA, V.S.P; BANU, S.; RAMAKRISHNA, P.; NARENDER, G.; WOMAC, A.R. Moisture dependent thermal properties of peanuts pods, kerns and shells. **Biosystems Engineering**. n. 4, v. 106, p. 503-512, 2010.
- BOLLIGER, F. P. Agroindústria, emprego e renda na perspectiva da demanda efetiva. **Tese (Doutor em Ciências Econômicas)** – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- BON, J.; VÁQUIRO, H.; BENEDITO, J.; TELIS-ROMERO, J. Thermophysical properties of mango pulp (*Mangifera indica* L. cv. Tommy Atkins). **Journal of Food Engineering**, n. 6, p. 563-568, dec. 2009.
- BOTEZELLI, L.; DAVIDE, A. C.; MALAVASI, M. M. Características dos frutos e sementes de quatro procedências de *Dipteryx alata* Vogel (Baru). **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 9-18, 2000.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria n. 33, de 13 de janeiro de 1998. Adota valores como níveis de IDR para as vitaminas, minerais e proteínas. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16, janeiro, 1998.

BRASIL. Ministério Da Saúde. Resolução RDC nº 360 de 23 de dezembro de 2003. Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 26 de dezembro de 2003.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. **Journal of Food Engineering**, n. 14, p. 135-148, fev. 2012.

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J. C. C. Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto do baru. 2 ed. Brasília: **Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN)**. Brasil, 2010.

CIE. CIE Publications. 15.2. CIE, Viena, Áustria, 1986.

COSTA, E.; OLIVEIRA, L. C. de.; OLIVEIRA, L. C. de.; OLIVEIRA, A. D. de.; JORGE, M. H. A. Propriedades físicas de sementes de baru em função da secagem. **II Congresso Brasileira de Engenharia de Agrícola**. 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, p. 2006-2012, 2011.

OLIVEIRA, A. G. S.; FERNANDES, D. C.; ALVES, A. M.; FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Nutritional quality and protein value of exotic almonds and nut from the Brazilian Savanna compared to peanut. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2319- 2325, 2011.

DINCER, I. Thermal diffusivities of geometrical objects subject to cooling. **Applied Energy**, London, v.51, p.111-8, 1995.

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.

FERNANDEZ, E. M.; ROSOLEM, C. A. Ácidos graxos e proteína em grãos de amendoim em função da calagem e do método de secagem. **Bragantia**, v. 57, n. 1, p. 35-39, 1998.

FILGUEIRAS, T. S.; SILVA, E. Estudo preliminar do baru (Leg. Faboideae). **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 33-39, 1975.

FERREIRA, M. F. P.; PENA, R. S. Estudo da secagem da casca do maracujá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 1, p.15-28, fev. 2010.

FRAGUAS, R. M.; SIMÃO, A. S.; LEAL, R. S.; SANTOS, C. M.; ROCHA, D. A.; TAVARES, T. S.; MARQUES, T. R.; DUARTE, M. H.; MARCUSSI, S.; ABREU, C. M. P. Chemical composition of processed baru (*Dipteryx alata* Vog.) almonds: Lyophilization and roasting. **African Journal of Agricultural Research**, vol. 9, p. 1061-1069, 2014.

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**, vol. 23, n. 2, 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Amino-acid content of foods and biological data on proteins. Rome: **FAO Nutricional Studies**, n. 24, 1970.

GHARIBZAHEDI, S.M.T.; ETEMAD, V.; MIRARAB-RAZI, J.; FOS'HAT, M. Study on some engineering attributes of pine nut (*Pinuspinea*) to the design of processing equipment. **Research in Agricultural Engineering**, vol. 56, n. 3, 2010.

HWANG, M. P.; HAYAKAWA, K. A specific heat calorimeter of foods. **Journal of Food Science**, v. 44, p. 435-438, 1979.

IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4 ed. Brasília: **Ministério da Saúde**. 1018 p. 2005.

IGNAT, I.; VOLFF, T.; POPA, V. I. A critical review of methods for characterization of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. **Food Chemistry**, v.126, n.4, p.1821–1835, 2011.

INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 886p.

IUPAC. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC); **Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives**, 6th ed., Pergamon Press: Oxford, 1979.

JUNQUEIRA, D. R.; FAVARO, S. P. Caracterização físico-química e processamento de castanhas de baru (*Dipteryx alata* Vog.). In: Encontro de Iniciação Científica da Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande: UCDB, p. 27, 2004.

KALETUNÇ, G. Prediction of specific heat of cereal flours: A quantitative empirical correlation. **Journal of Food Engineering**. v. 82, n. 4, p. 589-594, 2007

KALUME, D.R.; SOUSA, M.V.; MORHY, L. Purification, Characterization, Sequence Determination and Mass Spectrometric Analysis of a Trypsin Inhibitor from Seeds of the Brazilian Tree *Dipteryx alata* (Leguminosae). **Journal of Protein Chemistry**, v. 14, n.8, p.685-693, 1995.

KAZARIAN, E. A.; HALL, C. W. **Thermal properties of grain**. Transactions of the ASAE, v. 8, n. 1, 1965.

KERN, D. Q. **Processos de transmissão de calor**. Guanabara, Dois S. A. Rio de Janeiro, 1980.

LEMOS, M. R. B.; SIQUEIRA, E. M. A.; ARRUDA, S. F.; ZAMBIAZI, R. C. The effect of roasting on the phenolic compounds and antioxidant potential of baru nuts (*Dipteryx alata* Vog.). **Food Research International**, v.48, n.2, p.592-597, 2012.

LESSA, A. O. Determinação do Teor de Compostos Fitoquímicos e Estudo do Potencial para Processamento da Polpa de Frutos de Maracujá das Espécies Silvestres (*Passiflora setacea* DC, *Passiflora cincinnata* MAST). 2011. 83 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos**, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga - Bahia, 2011.

LEWIS, M. J. **Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Zaragoza: Acribia, 1993. 494 p.

MAGALHÃES, A. C.; COUTO, S. M.; QUEIROZ, D. M.; ANDRADE, E. T. Dimensões principais, massa e volume unitários, esfericidade e ângulo de repouso de frutos de café. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 39-56, 2000.

MARIN, A. M. F.; SIQUEIRA, E. M. A.; ARRUDA, S. F. Minerals, phytic acid and tannin contents of 18 fruits from the Brazilian savanna. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, n.7, p. 180-190, 2009.

MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, p.79-93, 2002.

MATA, M. E.; DUARTE, M. E. M. Calor específico da polpa de cajá a temperaturas criogênicas e diferentes concentrações de sólidos solúveis: métodos das misturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, n.1, p. 1-7, 2003.

MELHEM, T.S. **Fisiologia do desenvolvimento de *Dipteryx alata* Vog.**: 215 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1972.

MELO, M. L. P.; MAIA, G. A.; SILVA, A. P. V.; OLIVEIRA, G. S. F.; FIGUEIREDO, R. W. caracterização físico-química da amêndoa da castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.) crua e tostada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 2, p. 184-187, 1998.

MENDEZ, M. H. M.; DERIVI, S. C. N.; RODRIGUEZ, M. C. R.; FERNANDES, M. L. **Tabela de composição de alimentos**. Rio de Janeiro: EDUFF, p.41, 1995.

MOHSEIN, N. N. Thermal properties of food and agricultural materials. New York, **Science Publishers**, 742 p., 1980.

MOHSEIN, N.N. Physical properties of plant and animal materials. New York: **Gordon and Breach Publishers**, 841 p., 1986.

MONTOYA, E. C.; OLIVEIROS, T. C. E.; ROA, M. G. Optimización operacional del secador intermitente de flujos concurrentes para café pergamino. **Cenicafé**, n. 41, v.1, p.13-19, 1990.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**, editora LTC – Livros Técnicos e Científicos, 4ª edição, Rio de Janeiro, 2002.

MOURA, S. C. R.; FRANÇA, V. C. L.; LEAL, A. M. C. B. Propriedades Termofísicas de Soluções Modelo Similares a Sucos – Parte I. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 23, v.1, p.62-68, jan–abr. 2003.

MUNIZ, M. B.; QUEIROZ, J. M.; F, R. M.F.; DUARTE, M. E. M. Caracterização Termofísica de Polpas de Bacuri. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 9, v. 2, p.360-368, abr.-jun. 2006.

MURAMATSU, Y.; SAKAGUCHI, E.; ORIKASA, T.; TAGAWA, A. Simultaneous estimation of the thermophysical properties of three kinds of fruit juices based on the measured result by a transient heat flow probe method. **Journal of Food Engineering**, v. 5, n. 8, p. 607-613, set. 2009.

NOGUEIRA, R. M.; ÁLVARES, V. S.; RUFFATO, S.; LOPES, R. P.; SILVA, J. S. E. Propriedades físicas da amêndoa da castanha-do-Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, set.-out. 2014.

OLIVEIRA, F. S. Equilíbrio Higroscópico de Microcápsulas do Extrato Antioxidante da Semente do Maracujá. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Alimentos)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2014.

OLIVEIRA, G. A. Propriedades termofísicas de mistura proteica resultante da hidrólise de subprodutos da indústria frigorífica. **Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)** – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

OLIVEIRA, A.G.S.; FERNANDES, D.C.; ALVES, A.M.; FREITAS, J.B.; NAVES, M.M.V. Nutritional quality and protein value of exotic almonds and nut from the Brazilian Savanna compared to peanut. **Food Research International**, Barking, v. 44, n.7, p. 2319 2325, 2011.

RAZAVI, S. M. A.; MAZAHERINASAB, M.; NICKFAR, F.; SANAEEFARD, H. Physical properties and image analysis of wild pistachio nut (Raneh). **Iranian Food Science & Technology Research Journal**. vol 2, n 3, 2008.

RODRIGUES, L. J.; VILAS BOAS, E. V. B.; PAULA, N. R. F. de; GOMES, J. V. F.; PINTO, D. M. Caracterização físico-química da amêndoa e polpa do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) produzidos nas regiões norte e sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., 2004. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBF, 2004.

ROSA, P. C. Propriedades Termofísicas da Casca do Maracujá. 2015. 33f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia de Alimentos)**, Departamento Acadêmico de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

ROTILI, M. C. C.; COUTRO, S.; CELANT, V. M.; VORPAGEL, J. A.; BARP, F. K.; SALIBE, A. B.; BRAGA, G. C. Composição, atividade antioxidante e qualidade do maracujá-amarelo durante armazenamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 227-240, jan./fev. 2013.

SANO, S. M.; BRITO, M. A.; RIBEIRO, J. F. Baru. In: Frutas Nativas da Região CentroOeste do Brasil, Brasília: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, p. 75-100, 2006.

SANO, S. M.; RIBEIRO, J. P.; BRITO, M. A. Baru: biologia e uso. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2004.

SANO, S. M.; VIVALDI, L. J.; SPEHAR, C. R. Diversidade morfológica de frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p.513-518, p.51, 1999.

SARRIA, S. D.; HONÓRIO, S. L. Condutividade e difusividade térmica do figo (*Ficus carica* L.) "Roxo de Valinhos". **Eng. Agríc.**, v.24, n.1, p.185-194, jan./abr. 2004

SILVA, C.; SILVA, A. P. C. M.; SANTOS, F. A.; SANTOS, A. S. A.; SOUZA, V. S. E. **A Aveleira**. Lisboa: Tipografia Guerra-Viseu, 180 p., 2005

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introduction to food engineering**. 2nd Ed. New York. Academic press. 1993.

SIQUEIRA, E. M. A.; MARIN, A. M. F.; ARRUDA, S. F.; CUNHA, M. S. B.; FUSTINONI, A. M.; DOURADO, L. P. Consumption of baru seeds [*Dipteryx alata* Vog.], a Brazilian savanna nut, prevents iron-induced oxidative stress in rats. **Food Research International**, v. 45, n.1, p. 427- 433, 2012

SIRISOMBOON, P.; KITCHAIYA, P.; PHOLPHO, T.; MAHUTTANYAVANITCH, W. Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels. **Biosystems Engineering**, v.97, p.201-207, 2007.

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

SPOLADORE, S. F.; BISSARO, C. A.; VIEIRA, T. F.; SILVA, M. V.; HAMINIUK, C. W. I.; DEMCZUK JR., B. Modelagem matemática da secagem de casca de maracujá e influência da temperatura na cor, compostos fenólicos e atividade antioxidante. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 5, n. 2, p. 17-25, 2014.

STANLEY, E.; CHARM, S. D. **The fundamentals of food engineering**. 2nd ed. The Avi Publishing Company, Inc., 1971, p. 601.

SWEAT, V. E. Experimental values of thermal conductivities of selected fruits and vegetables. **Journal of Food Science**, Chicago, n. 39, p. 1081-3, 1974.

TAKEMOTO, E.; OKADA, I. A.; GARBELOTTI, M. L.; TAVARES, M. A.; PIMENTEL, S. Composição química da semente e do óleo de baru (*Dipteryx alata* Vog.) nativo do município de Pirenópolis, Estado de Goiás. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 60, n. 2, p. 113–117, 2001.

TOGASHI, M.; SGARBIERI, V. C. Caracterização química parcial do fruto do baru (*Dipteryx alata*, Vog.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.14, n.1, p.85-95,1994.

VALLILO, M. I. M.; TAVARES, S. A. Composição química da polpa e da semente do fruto do cumbaru (*Dipteryx alata* Vog.). **Revista do Instituto Florestal**, 2: 115-125, 1990.

VALLILO, M. I. M.; TAVARES, S. A. Composição química da polpa e da semente do fruto do cumbaru (*Dipteryx alata* Vog.). **Revista do Instituto Florestal**, 2: 115-125, 1990.

VERA, R.; SOARES, M. S. J.; NAVES, R. V.; SOUZA, E. R. B.; FERNANDES, E. P.; CALIARI, M.; LEANDRO, W. M. Características químicas de amêndoas de barueiros (*Dipteryx alata* Vog.) de ocorrência natural no Cerrado do estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 1, p. 112-118, Março 2009.

VIEIRA, C. F. S.; MARTINS, G. A. S.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. D. S.; REGES, I. S. Utilização de Farinha de Casca de Maracujá Amarelo em Bolo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 6, n. 11, p.1-10, 2010.

YOUNG, J. H.; WHITAKER, T. B. Specific heat of peanuts by differential scanning calorimetry. **American Society of Agricultural Engineers**. St. Joseph, Michigan, v.6, n. 3, p. 522-524, 1973.

ZANOELO, E. F.; BENINCÁ, C.; RIBEIRO, E. Thermophysical properties of mate leaves: experimental determination and theoretical effect of moisture content. **Journal of Food Process Engineering**, 2010.

WATT, B. K.; MERRILL, A. L. *Energy value of foods: basis and derivation*. Agriculture Handbook No. 74. **United States Department of Agriculture**. Washington, DC, 1973.

WELTY, J. R.; WICKS, J. E.; WILSON, R. E. **Fundamentals of Momentum, Heat and mass Transfer**, 3rd ed., John Wiley and Sons, 1984.

WESSEL-BEAVER, L.; BECK, R. H.; LAMBERT, R. J. Rapid method for measuring kernel density. **Agronomy Journal**, v. 76, p. 307-309, 1984.

WRIGHT, M. E.; POTERFIELD, J. G. Specific heat of spanish peanuts. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 13, n. 4, p. 508-510, 1970.