



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

**VALNEIDE RODRIGUES DA SILVA**

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DO PSEUDOFRUTO  
DO CAJU**

**CAMPINA GRANDE - PB  
2018**

**VALNEIDE RODRIGUES DA SILVA**

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DO PSEUDOFRUTO  
DO CAJU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Bacharelado de Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.  
Área de Concentração: Tecnologia de Alimentos

Orientador: Profa. Dra. Edna Gomes da Silva.

**CAMPINA GRANDE - PB**  
**Junho de 2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

---

S586d Silva, Valneide Rodrigues da.  
Determinação das propriedades termofísicas do pseudofruto do caju [manuscrito] / Valneide Rodrigues da Silva. - 2018.  
39 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação : Profa. Dra. Edna Gomes da Silva, Departamento de Física - CCT."

1. Caju. 2. Pseudofrutos do caju. 3. Propriedades termofísicas. 4. Resfriamento.

21. ed. CDD 664.028 52



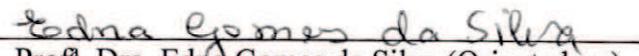
**VALNEIDE RODRIGUES DA SILVA**

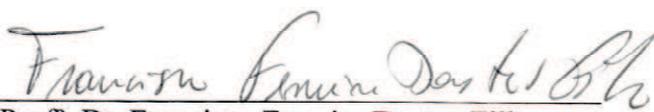
**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DO PSEUDOFRUTO  
DO CAJU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada  
ao Curso de Graduação em Química Industrial  
da Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito à obtenção do título de Bacharel em  
Química Industrial  
Área de concentração: Tecnologia de  
Alimentos

Aprovada em: 25/06/2018.

**Banca Examinadora**

  
Prof.<sup>a</sup>. Dra. Edna Gomes da Silva (Orientadora)  
UEPB/CCT/DF

  
Prof.<sup>o</sup>. Dr. Francisco Ferreira Dantas Filho  
UEPB/CCT/DQ

  
Prof.<sup>a</sup>. Msc. Maria de Fátima Nascimento de Sousa  
UEPB/CCT/DQ

**A minha mãe, pela dedicação, companheirismo  
e amizade, DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

**Aos professores Hélvia Waleska Casullo de Araújo e José de Arimatéia Nobrega, coordenadores do curso de Graduação em Química Industrial, por seu empenho.**

**A minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Edna Gomes da Silva pela amizade, orientação e pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação e pela dedicação na pesquisa.**

**Ao Prof. Pedro Luiz pelo acompanhamento da pesquisa no laboratório, pela amizade e dedicação.**

**À professora Edna pela amizade e ajuda em todos os momentos.**

**À Diego pela amizade, mesmo com a vida corrida, tirou do seu tempo para me ajudar, obrigada de coração**

**À professora Maria de Fátima Nascimento de Sousa pelo incentivo e dedicação para conclusão do estágio, pela leitura do trabalho.**

**A minha mãe Maria Emília por estar sempre ao meu lado, dando-me força, para atingir a meta que eu desejava.**

**Aos professores do Curso de Bacharelado em Química Industrial, da UEPB, em especial, José de Arimatéia Nobrega, Fátima Nascimento, Hélvia Walewska Casullo de Araújo e todos, que contribuíram para conclusão desta pesquisa.**

**Aos funcionários da UEPB, pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.**

**Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio.**

**Acredite na força dos seus sonhos, Deus é justo e não colocaria em seu coração um desejo impossível de ser realizado.**

*(Autor desconhecido)*

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	15
2.1	<b>Produção da fruticultura no Brasil.....</b>	15
2.2	<b>Pseudofruto do caju (<i>Anacardium occidentale</i>)</b>	15
2.3	<b>Armazenamento de frutos com ar frio</b>	16
2.4	<b>Resfriamento de frutos</b>	17
2.4.1	<b><i>Pré-resfriamento com ar forçado</i></b>	17
2.4.2	<b><i>Taxa de Resfriamento</i></b>	18
2.5	<b>Propriedades Físicas</b>	19
2.5.1	<b><i>Forma e Dimensão</i></b>	19
2.5.2	<b><i>Circularidade</i></b>	20
2.5.3	<b><i>Esfericidade</i></b>	20
2.5.4	<b><i>Massa Específica</i></b>	20
2.6	<b>Propriedades Termofísicas das Frutas</b>	20
2.6.1	<b><i>Calor Específico</i></b>	20
2.6.2	<b><i>Condutividade Térmica</i></b>	22
2.6.3	<b><i>Difusividade Térmica</i></b>	24
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	27
3.1	<b>Determinação das propriedades físicas</b>	28
3.1.1	<b><i>Dimensão</i></b>	28
3.1.2	<b><i>Volume</i></b>	29
3.1.3	<b><i>Circularidade</i></b>	29
3.1.4	<b><i>Esfericidade</i></b>	29
3.1.5	<b><i>Massa Específica</i></b>	29
3.1.6	<b><i>Calor Específico</i></b>	30
3.2	<b>Condutividade Térmica</b>	31
3.3	<b>Difusividade Térmica</b>	31
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	32
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	35
	<b>REFERÊNCIAS</b>	36

## RESUMO

Os processos térmicos estão entre as mais importantes técnicas da preservação de alimentos. No processamento, propriedades como massa específica, condutividade térmica, calor específico e difusividade térmica apresentam mudanças substanciais dependendo a composição, da temperatura e da estrutura física. O presente trabalho tem como objetivo determinar as propriedades termofísicas do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale*). Os pseudofrutos do caju foram obtidos numa propriedade rural, próximo a Campina Grande-PB. As propriedades analisadas foram: massa específica, definida como a razão entre massa e volume; calor específico obtido através do método das misturas; difusividade térmica, obtida por meio da utilização de um tubo de alumínio, sensores e ganho termostático. Enquanto, a condutividade térmica foi obtida indiretamente através da combinação dos parâmetros determinados experimentalmente. O valor médio da massa específica foi de  $0,86 \text{ g/cm}^3$ , para o calor específico médio encontramos  $0,20 \text{ cal/h/m}^\circ\text{C}$ , para a condutividade térmica com e sem convecção de ar foram  $393,10$  e  $212,90 \text{ cal/h/m}^\circ\text{C}$  respectivamente, a média encontrada para difusividade térmica com e sem convecção de ar foi de  $0,01066$  e  $0,0062 \text{ m}^2/\text{h}$ , para o coeficiente de filme com e sem convecção de ar o valor médio foi de  $52126,98$  e  $11560,15 \text{ m}^2/\text{h}$ . Com estes resultados pôde-se concluir que o resfriamento com convecção de ar demonstrou maior eficiência na diminuição da temperatura para os pseudofrutos do caju estudados.

**Palavras-Chaves:** Propriedades Termofísicas, Pseudofrutos do caju, Resfriamento

## ABSTRACT

Thermal processes are among the most important techniques of food preservation. In the processing, properties such as specific mass, thermal conductivity, specific heat and thermal diffusivity present substantial changes depending on the composition, temperature and physical structure. The present work had the objective to determine the thermophysical properties of cashew (*Anacardium occidentale*), cashew fruits were obtained in a rural property, near Campina Grande-Pb. The properties analyzed were: specific mass which is its mass divided by its volume. Specific heat was obtained by the blends method. The thermal diffusivity was obtained through the use of an aluminum tube, sensors and thermostatic ring. The thermal conductivity was also obtained indirectly through the combination of experimentally determined parameters. . The mean mass value was  $0.86 \text{ g / cm}^3$ . The average specific heat found for cashew fruits was  $0.20 \text{ cal/hm}^\circ\text{C}$ , the average value obtained for the thermal conductivity with and without air convection was ( $393.1$  and  $212.9 \text{ cal/h/m}^\circ\text{C}$ ), the average for thermal diffusivity with and without air convection was ( $0.01066$  and  $0.0062 \text{ m}^2/\text{h}$ ), for the film coefficient with and without air convection the mean value was  $52126.98$  and  $11560.15 \text{ m}^2/\text{h}$ . The cooling with air convection showed a greater efficiency in lowering the temperature for the studied cashew fruits.

**Keywords:** Thermophysical prophylaxis, Cashew, Cooling

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Desenho esquemático da semente, considerada como elipsóide triaxial e com dimensões características	19
Figura 2	Esquema de transferência de calor	23
Figura 3	Aparelho para determinação da difusividade térmica	26
Figura 4	Pseudofrutos do caju usados no experimento	27
Figura 5	Consistômetro segundo Hoppler	28
Figura 6	Velômetro ALNOR 6000P	28
Figura 7	Paquímetro Digital	29
Figura 8	Esquema da massa específica: (a) pseudofruto; (b) massa do recipiente contendo água; (c) pseudofruto + água	30
Figura 9	Pré-resfriamento do pseudofruto do caju para diferentes temperaturas (sem convecção de ar)	33
Figura 10	Pré-resfriamento do pseudofruto do caju para diferentes temperaturas (com convecção de ar)	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Modelos da literatura para cálculo da condutividade térmica de alimentos.	24
Tabela 2	Condutividade e difusividade térmicas, coeficientes de filme para pseudofrutos do caju (com convecção de ar)	32
Tabela 3	Condutividade e difusividade térmicas, coeficientes de filme para pseudofrutos do caju (sem convecção de ar)	32
Tabela 4	Tempo de pré-resfriamento para temperatura atingida pelo pseudofruto do caju usando o freezer versus o tempo de resfriamento	33
Tabela 5	Tempo de pré-resfriamento para temperatura atingida pelo pseudofruto do caju usando o ultra cryostato versus o tempo de resfriamento	33

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CNA Brasil	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
SIABI	Sistema Integrado de Automação de Bibliotecas.
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
OMS	Organização Mundial de Saúde
SI	Sistema Internacional de Unidades
\$	Dólar
%	Porcentagem
©	Copyright
®	Marca Registrada

## 1 INTRODUÇÃO

A fruticultura é um dos setores de grande destaque do agronegócio brasileiro, pois é através da elevada variedade de culturas, produzidas em todo o país e em diversos climas que a fruticultura conquista resultados expressivos gerando oportunidades para os pequenos negócios brasileiros (SEBRAE, 2015).

O Brasil, por possuir uma extensa área territorial de 8.500.000 km<sup>2</sup>, tem grande variação climática e seus microclimas possibilitam o cultivo econômico da maioria das fruteiras. Isto torna o país o terceiro produtor mundial de frutas, ficando atrás apenas da China e Índia (NETO, 2012).

O País, ainda possui pleno potencial para aumentar a produção atual, cerca de 43 milhões de frutas frescas, caso seja necessário utilizar. As espécies frutíferas ficam em torno de 500 variedades, das quais 220 são plantas nativas da Amazônia. Favorecido pela extensão territorial, pela posição geográfica, pelo solo e pelas condições climáticas, ele produz frutas tropicais, subtropicais e temperadas. Atualmente, 22 fruteiras são recenseadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018).

A transferência de calor está envolvida no projeto de equipamentos de refrigeração, aquecimento e armazenamento de alimentos. Esta propriedade é essencial para a simulação durante o congelamento no interior de um alimento, bem como o aquecimento no interior é de fundamental importância para a indústria, pois sem esta propriedade termofísica não seria possível calcular a transferência de calor nas substâncias. A difusividade térmica consiste na relação entre a habilidade de conduzir e armazenar energia do material utilizado.

O resfriamento e/ou congelamento de frutos e hortaliças, depois da colheita, é realizado com o objetivo de conservar suas características organolépticas e evitar o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis. Assim, obtém-se o tempo adequado de conservação ou seja, vida de prateleira mais longa.

O conhecimento das propriedades térmicas de materiais biológicos, como por exemplo a difusividade e a condutividade, é essencial para o desenvolvimento das ciências agrícolas e dos alimentos, podendo ser empregado a uma variedade de objetivos específicos, tais como, predição da taxa de secagem ou distribuição de temperatura em materiais úmidos, sujeitos a diferentes condições de secagem, aquecimento ou resfriamento, otimização do desempenho de equipamentos de transferência de calor, reidratação, aparatos de esterilização, entre outros. Podendo as propriedades térmicas variar de acordo com a natureza, variedade, teor de umidade e temperatura do produto (KAZARIAN e HALL, 1965).

No estudo do comportamento térmico de materiais biológicos, tem-se assumido como apropriada a equação geral de difusão de calor, o que implica em admitir que os materiais biológicos formam um meio homogêneo, isotrópico e contínuo. Entretanto, os materiais biológicos formam espaços vazios entre si, onde a matéria fluida circula (ar, vapor de água e outros gases), transportando calor não só por difusão como também por convecção. Para materiais secos, a quantidade de calor transportada por convecção pode ser considerada desprezível e as constantes térmicas podem ser determinadas em regime permanente. Por outro lado, quando se quer a determinação destas constantes em regime transiente, são necessárias considerações restritivas como simplificações na solução da 2ª Lei de Fourier ou a utilização de métodos numéricos. Sendo assim, métodos e/ou equações alternativas devem ser

pesquisadas. Nesse sentido, este presente trabalho tem como objetivo geral determinar as propriedades termofísicas do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale*).

Como objetivos específicos para o desenvolvimento desta pesquisa, pode-se citar:

- Determinar as propriedades físicas (dimensões, volume, circularidade, esfericidade, massa específica) do pseudofruto do caju;
- Determinar as propriedades termofísicas (condutividade térmica, difusividade térmica, calor específico) do pseudofruto do caju;
- Determinar os parâmetros envolvidos no resfriamento (coeficiente de filme e o Número de Reynolds) do pseudofruto do caju.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Produção da Fruticultura no Brasil

Estima-se em média que no mundo sejam produzidas em torno de 800 milhões de toneladas de frutas, em área equivalente a 61,4 milhões de hectares. Esses resultados são dados do ano de 2012, divulgado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2014).

Apenas três países respondem pela oferta de quase 50% da produção mundial de frutas frescas. O Brasil, continua com o terceiro lugar no ranking mundial de maior produtor de frutas, depois da China e da Índia, cuja produção era de 43 milhões de toneladas de frutas em 2015 (Anuário da Fruticultura, 2016).

A fruticultura é um dos setores de grande destaque do agronegócio brasileiro. Através da elevada variedade de culturas, produzidas em todo o país e em diversos climas, a fruticultura vem conquistando resultados expressivos e gerando oportunidades para os pequenos negócios brasileiros (SEBRAE, 2015).

De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA Brasil) em relação ao consumo de frutas apenas 18,2% dos brasileiros consomem a quantidade de frutas recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), sendo 400 gramas por dia. O hábito de consumir frutas ainda é pequeno, mesmo o Brasil sendo o terceiro maior produtor do mundo (PORTAL BRASIL, 2011).

A produção de frutas no Vale do São Francisco destaca-se no Brasil e na América Latina, principalmente em virtude da disponibilidade de área destinada à produção, de irrigação e clima favorável (EDITORA GAZETA, 2015). A obtenção de um produto armazenável, a partir desses alimentos altamente perecíveis, torna a produção de polpas de frutas congeladas um importante segmento da cadeia produtiva, favorecendo o aproveitamento integral das frutas, também na entressafra (SANTOS et al., 2014; BARROS, 2012). Além disso, a grande variedade de frutas com sabores exóticos e palatáveis contribui para o desenvolvimento do comércio desses produtos que tem se expandido nos últimos anos (SILVA et al., 2010a). No entanto, é fundamental que esses produtos apresentem suas características nutricionais e sensoriais conservadas, bem como um padrão de qualidade e higiene.

### 2.2 Pseudofrutos do Caju (*Anacardium occidentale*)

O caju é considerado muitas vezes como o fruto do cajueiro, embora seja um pseudofruto. Ele é constituído de duas partes: castanha, fruta propriamente dita e pedúnculo floral, pseudofruto confundido com o fruto. É composto de um pedúnculo piriforme, carnoso, amarelo, rosado ou vermelho.

Sendo rico em vitamina C e ferro, auxilia na proteção das células do sistema imunológico contra os danos dos radicais livres. Seu cultivo é muito comum no nordeste brasileiro. A colheita é realizada de agosto a janeiro.

O cajueiro é uma árvore originária do Brasil, nativo da região litorânea. Suas folhas são eficazes na cicatrização de feridas. A madeira é utilizada na construção civil em carpintaria, marcenaria e outros.

Além de ser consumido in natura, o pseudofruto do caju pode ser utilizado na preparação de sucos, mel, doces, passas, sorvetes, licores e outros. A castanha, depois de torrada, é utilizada como petisco, sendo exportada para quase todo mundo. Entretanto, a castanha verde é usada em pratos quentes. O suco do pseudofruto do caju industrializado, também é muito apreciado no país (LOPES, 2018). Como o suco fermenta rapidamente, pode ser destilado para produzir uma aguardente. Bebidas não alcoólicas, como a cajuína, também são fabricadas.

A casca do pseudofruto do caju é usada para tratamentos de aftas e infecções na garganta. As fibras do pseudofruto do caju (resíduo/bagaço) são ricas em aminoácidos e vitaminas e quando misturadas com temperos servem para confeccionar a "carne de caju".

O fruto ou seja, a castanha de caju é duro e oleaginoso. Ele é constituído de uma semente, a qual deve ser consumida após remoção da casca com sal, com açúcar ou in natura

### **2.3 Armazenamento de frutos com ar frio**

O principal método de conservação é o armazenamento refrigerado, pois com a redução da temperatura, ocorre a diminuição do metabolismo e da taxa respiratória dos frutos, ocasionando o prolongamento do período de armazenamento, e com isso mantendo a qualidade pós colheita (CHITARRA, 2005).

A maioria dos métodos utilizados para determinar parâmetros de maturação e qualidade dos pseudofrutos envolvem processos destrutivos. Por isso, é importante desenvolver técnicas alternativas para permitir a determinação dos atributos de qualidade dos pseudofrutos, de forma precisa e não destrutiva (GOULART *et al.*, 2013).

A conservação com ar frio é uma das técnicas mais utilizadas no dia-a-dia da população. Os congelados vêm se tornando cada vez mais frequentes na mesa do brasileiro e a refrigeração é a principal arma contra a deterioração dos alimentos e do conseqüente desperdício.

Enquanto na conservação pelo calor trabalhamos com a morte de microorganismos e inativação de enzimas, na conservação pelo frio o fator de controle é a proliferação microbiana e as reações enzimáticas.

Existem micro organismos que podem estar presentes nos alimentos em contagens toleráveis. Isso significa que, dependendo do tipo de alimento e do tipo de micro organismo, podemos consumi-lo, desde que esta carga microbiológica não traga prejuízos para a qualidade do alimento e nem consequência para nossa saúde.

O uso do frio como agente preservador se apresenta como uma solução para viabilizar comercialmente a exploração de frutas, hortaliças, frutos do mar, etc, possibilitando a regularização da oferta, a implantação de uma estrutura industrial de processamento e a sua colocação em mercados distantes sob as condições refrigerantes de transporte e estocagem.

Após a colheita, os frutos e hortaliças passam por um processo de resfriamento e/ou congelamento, realizado com o objetivo de preservar suas características organolépticas e evitar o desenvolvimento de micro organismos indesejáveis. O tempo adequado de conservação corresponde a vida de prateleira mais longa do produto.

## 2.4 Resfriamento de frutos

GAVA (1998), afirma que a diminuição da temperatura da matéria-prima deve ser realizada logo depois da colheita do vegetal. Algumas horas de atraso na colheita poderão trazer perdas na conservação do produto. Isto é particularmente importante em vegetais que estejam num metabolismo ativo, uma vez que pode ocorrer liberação de energia em virtude da respiração e, assim proporcionar a transformação de um produto metabólico em outro.

Existem diversas técnicas de pré-resfriamento disponíveis para o uso na produção hortícola. Os principais métodos de pré-resfriamento para produtos perecíveis incluem pré-resfriamento por ar forçado, com água gelada, por gelo e a vácuo, porém com bastante alterações e variações entre as mesmas. Enquanto, alguns produtos podem ser pré-resfriados por qualquer um desses métodos sem sofrer perda de qualidade, outros podem ser bastante afetados dependendo do método utilizado (SESTARI; KLUG, 2008).

### 2.4.1 Pré-resfriamento com ar forçado

O pré-resfriamento através do ar forçado foi desenvolvido para produtos que necessitam de uma remoção rápida do calor de campo, imediatamente após a colheita. Esta é uma modificação do pré-resfriamento em câmara, e consiste em dispor as pilhas de caixas (paletes) na qual há um ventilador. O ventilador funciona como exaustor, provocando um fluxo de ar forçado através do volume de caixas e criando uma “pressão negativa” (SESTARI; KLUG, 2008).

Este método proporciona a passagem de um fluxo de ar frio diretamente no produto. Neste caso, o volume do fluxo de ar determinará a velocidade do pré-resfriamento. Em geral, quando se utilizam câmaras refrigeradas o tempo consumido no processo é de (1/4 a 1/10) do tempo previsto. Para evitar que o fluxo contínuo de ar, provoque perdas significativas no peso do produto, deve-se deixar o ambiente sempre saturado com água (SILVA; FINGER; CORRÊA, 2008).

Quando se trata de hortifrútícolas, a cadeia do frio costuma ser mais comum na comercialização para o mercado externo. Para atender ao mercado doméstico, o mais comum é o uso de câmaras frigoríficas somente até o *packing house*, principalmente para as frutas. Após a venda, compradores acabam armazenando as frutas em temperatura ambiente. Ou seja, a cadeia do frio é “quebrada” e, o tempo de vida útil do produto é reduzida (JULIÃO; TAPETTI; MELLO, 2011).

. A cadeia de frio é composta por um conjunto de sistemas e equipamentos, os quais são responsáveis pela manutenção dos produtos em temperatura e umidade relativa adequada, desde sua colheita até a comercialização. As Tecnologias de resfriamento rápido, bem como as câmaras de armazenamento refrigerado, o transporte frigorificado (terrestre, aéreo, marítimo ou ferroviário), as gôndolas, os balcões frigorificados e as geladeiras fazem parte desta cadeia (TERUEL, 2008).

A velocidade de congelamento é um dos fatores mais importante para a conservação e preservação da qualidade dos alimentos. Com o congelamento criogênico, injetando-se nitrogênio líquido a 196°C, as características do produto ficam completamente inalteradas. Isto se deve à formação de micro cristais de gelo, os quais evitam possíveis danos na estrutura das

paredes celulares, proporcionando consistência e aparência original após o degelo do produto. Além disso, o alimento não sofre desidratação e nem perda de peso.

A taxa na qual o calor é difundido, para fora ou para dentro da camada porosa do material agrícola, depende das propriedades térmicas do produto, dentre elas pode-se citar: a difusividade térmica, o gradiente de temperatura no interior do corpo e na superfície e o meio ambiente.

#### **2.4.2 Taxa de Resfriamento**

Os fatores que determinam a taxa de pré-resfriamento são: temperatura inicial e final do produto; temperatura e umidades do meio refrigerante; acessibilidade do produtor ao meio refrigerante; tamanho, forma e área específica do produto; propriedades térmicas das frutas como calor específico; condutividade térmica e resistência da superfície à transferência de calor, volume e velocidade do meio refrigerante (SILVA; FINGER; CORRÊA, 2008).

Em qualquer processo de pré-resfriamento a determinação do tempo necessário para o resfriamento completo que, em geral, corresponde ao tempo requerido para atingir a temperatura desejada antes de transferir o produto à estocagem ou ao transporte, representa uma grande preocupação. Assim, para quantificar o processo de resfriamento, tanto em termos de tempo quanto de temperatura, são empregados diversos parâmetros, dentre os quais os mais comuns são o tempo de meio resfriamento e o tempo de sete-oitavos de resfriamento (SESTARI; KLUG, 2008).

O meio-tempo de resfriamento ( $t_{1/2}$ ) é o tempo necessário para reduzir a diferença de temperatura entre o produto e o meio refrigerante pela metade. O tempo de meio, permanece teoricamente constante durante o período de resfriamento e independente da temperatura inicial. O meio-tempo de resfriamento não depende do diferencial de temperatura e por isso, em teoria, permanece constante ao longo do período de resfriamento (ALMEIDA, 2005).

De maneira prática, se uma carga de pêssegos em uma câmara com ar de 0°C leva quatro horas para ser resfriada, de 20°C até 10°C (tempo de meio resfriamento), ela levará mais quatro horas para diminuir de 10°C a 5°C, mais quatro horas para diminuir de 5°C a 2,5°C, e assim por diante (SESTARI; KLUG, 2008).

Nestes casos a velocidade de resfriamento, sofre uma diminuição durante o processo e como esta redução ocorre de forma inversa e logarítmica, há uma queda acentuada da temperatura inicial até a metade dessa diferença, sendo bem menos acentuada à medida que a temperatura do produto se aproxima da temperatura do meio de refrigeração. Uma vez conhecido o tempo do meio de resfriamento do sistema, pode-se estimar o efeito das variações nas temperaturas do produto e do meio de resfriamento, bem como o tempo necessário para o produto atingir temperatura adequada (SESTARI; KLUG, 2008).

Dependendo do produto e da capacidade do ar forçado, o método é quatro ou dez vezes mais rápido do que o de resfriamento na câmara. Entretanto, mesmo assim, ele leva o dobro do tempo ou mais para resfriar os produtos quando comparado à água gelada ou a vácuo (SESTARI; KLUG, 2008).

Sucupira (2014), estudando o tempo de resfriamento durante o processo de beneficiamento do mamão, observou uma variação na temperatura de aproximadamente

0,30°C. Apesar do mamão ter passado por tanques de imersão para lavagem e aplicação de fungicida, verificou-se que o tempo de permanência dos frutos nestes tanques não foi suficiente para diminuir a temperatura dos frutos de forma mais drástica. Logo, não se pode contar com este tipo de processo para retirar calor do produto, uma vez que os frutos sofrem alta incidência de calor durante a sua pós-colheita e esperam um certo tempo para iniciar o processo de beneficiamento.

Portanto, sugere-se adotar medidas de redução de custos com energia do túnel de pré-resfriamento, que necessita retirar alta carga térmica por causa da alta temperatura dos frutos, realizando a colheita mais cedo; ou também diminuindo a temperatura das águas de lavagem, para aumentar a diferença de temperatura e conseqüentemente, a rapidez na diminuição de temperatura do fruto ainda na etapa de beneficiamento.

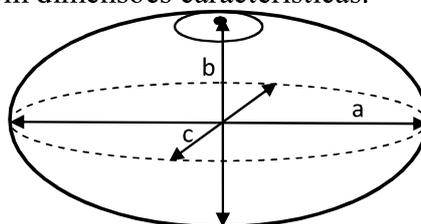
## 2.5 Propriedades Físicas

O estudo das propriedades físicas de produtos agrícolas é necessário quando pretende-se implantar uma exploração baseada em meios mecânicos. Tamanho, forma e volume, são algumas das características físicas importantes em muitos problemas associados ao projeto de máquinas específicas ou de análise do comportamento do produto para manuseio do material (MOHSENIN, 1978). Por exemplo, a questão do emprego de cartas para a resolução de problemas de transferência de calor. No uso dessas cartas faz-se necessário aproximar a forma do produto com uma das formas: cilindro, esfera ou de outra que se assemelhe com a forma do produto.

### 2.5.1 Forma e Dimensão

As sementes não possuem tamanho e nem formas definidas. Porém, a maioria delas apresentam formas semelhantes a geométricas conhecidas, tais como: esferoides prolatos, sólido de revolução formado quando uma elipse gira em torno do seu eixo maior; esferoides oblatos, sólido de revolução formado quando uma elipse gira em torno do seu eixo menor; cilindro circular reto; paralelepípedo; cone circular reto e esfera. Nestes casos, o volume e a área superficial aproximada podem ser determinadas com facilidade, utilizando-se as equações matemáticas da forma geométrica abaixo, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Desenho esquemático da semente, considerada como elipsóide triaxial e com dimensões características.



Fonte: autor, 2018

### 2.5.2 Circularidade

Para Mata (1994), circularidade é a medida da agudeza das arestas ou cantos de um sólido. De acordo com o autor, a circularidade indica a proximidade da área do objeto ao de um círculo.

### **2.5.3 Esfericidade**

De acordo com Moshenin (1978), o conceito de esfericidade se baseia na característica isoperimétrica da esfera e sugere uma forma de estimar a esfericidade de um objeto.

### **2.5.4 Massa Específica**

É importante conhecer a massa específica dos alimentos nos processos de separação, pois as diferenças, podem ter efeitos importantes na operação de redução de tamanho e em equipamentos de mistura. A massa específica do material é definida como a razão entre a massa e o volume, não é constante e altera-se com a temperatura e com a pressão. Sendo que, temperaturas elevadas reduzem a massa específica dos materiais (FELLOWS, 2006). A identificação da massa específica é de fundamental para os processos industriais, facilitando a padronização e o controle de qualidade do produto processado (PAES *et al.*, 2004). Para obtenção da massa específica, utiliza-se a Equação 1:

$$\rho = m / v \quad 1$$

Sendo:  $\rho$ - massa específica (kg/m<sup>3</sup>);  $m$ -massa (Kg) e  $v$  -volume (m<sup>3</sup>).

## **2.6 Propriedades termofísicas das frutas**

As propriedades termofísicas, que tem fundamental importância na análise de processos e equipamentos envolvendo alimentos são: difusividade térmica; condutividade térmica; calor específico e densidade. Para os alimentos líquidos, estas propriedades estão disponíveis na literatura ou podem ser preditas com boa precisão.

O aumento na demanda de produtos alimentícios no país decorre da modernização, juntamente com a necessidade de melhorar a qualidade dos produtos e também de adequação tecnológica. Assim, faz-se necessárias maiores informações científicas sobre as propriedades termofísicas dos alimentos, proporcionando cálculos eficientes de projetos e economia nas operações de processamento (PEREIRA, 2013). As propriedades termofísicas são essenciais para o processamento térmico dos alimentos em aplicações que envolvem equipamentos, como: bomba, trocador de calor, evaporador, misturador, filtro, etc.), além de realizar análise, modelagem e controle de processos, onde ocorre dependência da temperatura e mudanças físicas, químicas e bioquímicas (BON *et al.*, 2010). Durante o processamento, as propriedades como: densidade; condutividade térmica e capacidade de calor apresentam mudanças significativas dependendo da composição e da estrutura física do alimento. Na literatura, existem diversas equações capazes de prever tais propriedades a partir dos principais constituintes dos alimentos (água, proteína, gordura, carboidratos) e da temperatura. No entanto, podem ocorrer discrepâncias significativas entre o valor predito e o experimental, em virtude das diversas variações dos produtos alimentícios (BON *et al.*, 2010).

### **2.6.1 Calor Específico**

O calor específico é a medida da energia necessária para variar a temperatura de um alimento em um grau, em unidade de massa, não alterando seu estado físico. Dessa forma o calor específico ( $c_p$ ) pode ser utilizado para calcular a carga térmica imposta aos equipamentos

de refrigeração ou de aquecimento. Além disso, nos processos de transferência de calor submetidos aos materiais biológicos, o conceito de calor específico é utilizado a pressão constante, em virtude da variação de pressão ser desprezível (PEREIRA, 2013).

O conhecimento do calor específico da polpa de frutas é bastante importante, uma vez que permite empregar a carga térmica correta nas unidades de processamento, pois o calor específico se altera durante o congelamento com a alteração do estado da água presente no produto e com os quantitativos de açúcares existentes. As dificuldades de efetuar medição do calor específico de materiais biológicos, ocorrem devido ao teor de umidade e ao calor de absorção. Devido a estas dificuldades, existem poucos valores de calor específico disponíveis na literatura. Diversos métodos utilizados para determinar o calor específico, tem por base o equilíbrio térmico estabelecido entre o primeiro corpo, que se pretende determinar o calor específico, e o segundo corpo com calor específico conhecido (MATA; DUARTE, 2003).

O método mais comum para determinação do calor específico em produtos biológicos é o método das misturas. Este método consiste na utilização de um recipiente isolado com capacidade calorífica conhecida e com um líquido inerte, geralmente a água. O cálculo é feito através de um balanço global de massa e energia em um sistema termicamente isolado, considerando o calor perdido pela amostra como a soma do calor ganho pela água e o calor ganho pelo calorímetro (MOURA; FRANÇA; LEAL, 2003).

O conhecimento das propriedades termofísicas dos alimentos é bastante importante para alguns tratamentos térmicos, como por exemplo na secagem e pasteurização. Além de ser necessárias para prever o controle das várias mudanças ocorridas nos alimentos durante processos que utilizam variações de temperatura (MURAMATSU et al., 2009).

Para as determinações das propriedades termofísicas, a principal forma de transferência de calor a ser considerada é a condução, que caracteriza-se pela transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para as 18 partículas adjacentes menos energéticas, devido a interações existentes entre as moléculas (LESSA, 2011).

O conhecimento de propriedades termofísicas como: calor específico; condutividade térmica e difusividade térmica são fundamentais nos projetos científicos, na análise de processamento de materiais biológicos e na otimização e planejamento de equipamentos (SINGH, 1982).

NJIE (1998) ressaltou a importância das propriedades termofísicas: condutividade térmica, calor específico e difusividade térmica em modelos de simulação e controle de operações e processamento de alimentos (mandioca, inhame e banana).

Foi determinado o calor específico de cada diluição, em triplicata, sendo obtido o valor médio de  $2,349 \pm 0,0934$  J/kg°C. Para a amostra pura (20,53 °Brix) o calor específico foi de 2,175 J/kg°C, enquanto que para a maior diluição utilizada (11 °Brix) foi de 2,427 J/kg°C). Assim, é possível verificar que o valor do calor específico experimental aumentou com o aumento da umidade.

Souza *et al.* (2010) encontraram valores variando entre 3,65 à 4,2 J/kg°C, para polpa de umbu, cuja umidade varia entre 70 e 95%, respectivamente.

Muniz *et al.* (2006) encontraram valores de calor específico da polpa de bacuri, em relação a concentração de sólidos (°Brix). Os valores obtidos variaram entre 2,986 e 3,616 J/kg.°C, com teor de sólidos de 20 a 5° Brix, respectivamente.

Silva, (1997) encontrou o valor de 3,78 J/kg.°C para a polpa de abacaxi na concentração de 15°Brix. Ele observou a diminuição do calor específico para 2,18 J/kg.°C, quando a concentração de sólidos aumentava para 25°Brix. Podendo-se comprovar que a diminuição do teor de sólidos (°Brix) da amostra, aumenta o valor de calor específico.

## **2.6.2 Condutividade Térmica**

A transferência de calor é um processo identificado pela troca de energia entre dois corpos ou sistemas, devido a diferença de temperatura existente entre eles. Os três meios de transferência de calor possíveis são: condução, convecção e radiação (PEREIRA, 2013).

A condutividade térmica é uma das propriedades mais influentes durante o processo de transferência de calor, sendo fortemente dependente da composição do alimento e da temperatura em que o mesmo se encontra (MERCALI *et al.*, 2011).

A grande importância da condutividade térmica no processamento térmico está vinculada as mudanças ocorridas nas estruturas químicas e físicas dos alimentos que podem alterar esta propriedade durante um tratamento de aquecimento ou resfriamento. Desse modo, a condutividade térmica em alimentos é altamente dependente da composição e de qualquer fator que altere o fluxo de calor através do material, como por exemplo pode-se citar: densidade; teor de umidade e temperatura (SARRIA; HONÓRIO, 2004).

A condutividade térmica de um material é a medida da sua capacidade de conduzir calor. Sendo diretamente proporcional ao número de calorías transferido por unidade de área perpendicular ao fluxo de calor, para cada grau de diferença de temperatura, através da amostra e inversamente proporcional a espessura da amostra, na direção do fluxo de calor (NEVES FILHO, 1991).

As unidades de condutividade térmica no sistema SI (Sistema Internacional de Unidades) são watts por metro quadrado por unidade de temperatura em graus Celsius (ou Kelvins) por metro.

Os métodos para determinação da condutividade térmica podem ser divididos em dois métodos: estacionários, nos quais os valores da temperatura são constantes em relação ao tempo e transientes, nos quais os valores de temperatura variam em relação ao tempo.

O uso do método estacionário é bastante limitado, em virtude do longo tempo para realização do experimento e das formas geométricas especiais das amostras. O longo tempo pode causar migração de umidade da amostra ou migração de umidade no seu interior (REIDY e RIPPEN, 1971). Já as medidas realizadas em regime transiente apresentam algumas vantagens em relação aos de regime estacionário, como: curta duração dos experimentos, baixo custo experimental e determinação simultânea de outras propriedades. Correia e Freire citados por (SILVA e ALSINA, 1996).

Estes métodos consistem em resolver a equação de condução de calor para diferentes geometrias, como placas paralelas, cilindros concêntricos ou esferas concêntricas, (CHOI & OKOS, 1986; MOHSENIN, 1980 e REIDY e RIPPEN, 1971).

A determinação da condutividade térmica em estado estacionário pode ser descrita pela Equação 2, dada a seguir, de acordo com (SINGH, 1992).

$$k = \frac{qL}{A(T_1 - T_2)} \quad 2$$

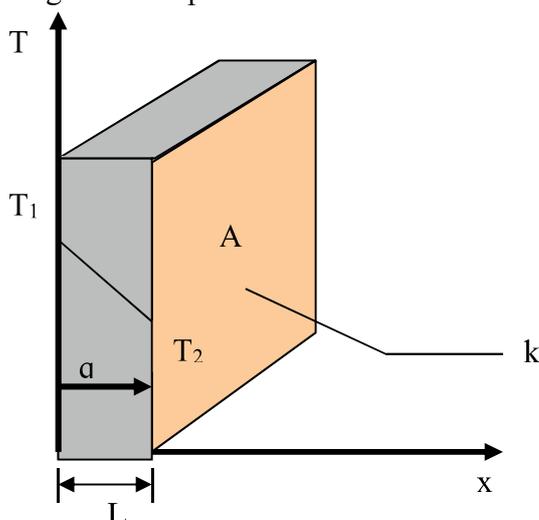
onde: k - condutividade térmica (W/m.°C); q - transferência de calor (W); L - espessura (m); A-área (m<sup>2</sup>); (T<sub>1</sub> - T<sub>2</sub>) - diferença de temperatura (°C).

Já para determinação da condutividade térmica em regime transiente, pode-se utilizar qualquer montagem, desde que satisfaça as condições de contorno necessárias para uma solução particular da Equação 3.

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \theta} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \quad 3$$

No caso do método transiente, a técnica da fonte linear de calor e da sonda são bastante utilizadas em medidas de condutividade térmica.

Figura 2- Esquema de transferência de calor



Fonte: autor, (2018)

A condutividade térmica dos materiais biológicos varia de acordo com o material, com a temperatura e com o teor de água, uma vez que os materiais biológicos são heterogêneos e variam em estrutura celular, composição e porosidade.

A variação da condutividade térmica nos materiais biológicos é sempre maior do que nos materiais não-biológicos (MOHSENIN, 1980).

Na Tabela 1 encontram-se algumas Equações, existentes na literatura e que são utilizadas na determinação da condutividade térmica de produtos biológicos. Essas equações são baseadas apenas no teor de umidade da amostra (X<sub>w</sub>), embora existam outras equações, na literatura, que são funções de outros componentes existentes nos produtos biológicos.

Tabela 1 - Modelos da literatura para o cálculo da condutividade térmica de alimentos.

Produto	K (W.m <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> )	Intervalos	Autores
Materiais biológicos	$K = K_w X_w + K_s (1-X_w)$		Anderson citado por CHOI & OKOS (1986)
Materiais biológicos	$K = 0,056 + 0,57 X_w$	$X_w > 50\%$	SPELLS (1960)
Milho	$K = 0,50620 + 0,04018 \cdot X_w$		BROOKER <i>et al.</i> , (1974)

Telis Romero *et al.*, (1998) obtiveram valores experimentais para a condutividade térmica do suco de laranja em relação a concentração de sólidos, variando entre 0,275 a 0,475 W/m°C, enquanto que o teor de umidade variou entre 45 a 85%. Segundo Mata e Duarte (2003) utilizando polpa de bacuri, apresentaram valores de condutividade térmica variando entre 0,64 a 0,50 W/m°C e teor de sólidos variando entre 5 a 20°Brix.

Os valores médios de condutividade térmica dos sucos de cupuaçu, açaí e graviola obtidos por Moura *et al.* (1998), são respectivamente, 0,578 W/m°C, 0,575 W/m°C e 0,603 W/m°C,).

### 2.6.3 Difusividade Térmica

A difusividade térmica, expressa pela letra grega ( $\alpha$ ), indica o quão rápido o calor se propaga dentro de uma amostra, ocorrendo aquecimento ou resfriamento, ou seja, é a capacidade que tem uma amostra em transferir e armazenar calor. Como a taxa de calor perdida por condução através de um material é dependente da difusividade térmica, esta pode ser obtida pela relação com outras variáveis: a densidade, o calor específico e a condutividade térmica (PEREIRA, 2013). Materiais que possuem alto valor de difusividade térmica são bastantes sensíveis a variações de temperatura no seu ambiente, enquanto que materiais com baixo valor de difusividade térmica apresentam lenta resposta à variação da temperatura no seu ambiente e levam mais tempo para atingir o novo estado de equilíbrio (MERCALI *et al.*, 2011).

A difusividade térmica é definida como a razão entre a condutividade térmica e capacidade calórica volumétrica, ou seja, a difusividade térmica é a razão entre a capacidade de um produto de transferir calor e a capacidade de armazenar calor. Esta pode ser expressa em função da condutividade térmica, da densidade e do calor específico, ou medindo-a diretamente da Equação 4.

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad 4$$

em que:  $\alpha$ -difusividade térmica; K-Condutividade térmica;  $C_p$ -Calor específico;  $\rho$ -Massa específica.

O significado físico da difusividade térmica nos dá a medida de como a temperatura de um material pode variar quando submetido a uma situação de aquecimento ou resfriamento.

Segundo KASAHARA (1986), a difusividade térmica pode ser determinada por modelos experimentais, dentre os quais, destaca-se os procedimentos propostos por Dickerson, Carslaw e Jaeger, Schneider citado por MOHSENIN (1980) e também o proposto por SINGH (1992).

Gama (2012) ressaltou que a difusividade térmica aparente para sementes de cajá em temperaturas acima do congelamento, variaram entre  $1,642 \times 10^{-7}$  a  $1,59841 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  numa faixa de teor de água entre 7,81 a 61,84% (b.u.).

A difusividade térmica da polpa de tangerina foi determinada em triplicata para todas as amostras. O valor médio obtido foi de  $1,75 \times 10^{-7} \pm 8,309 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ . Para a amostra pura (20,53 °Brix) a difusividade térmica foi de  $1,61 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , enquanto que para a maior diluição utilizada (9,92 °Brix) foi de  $1,86 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

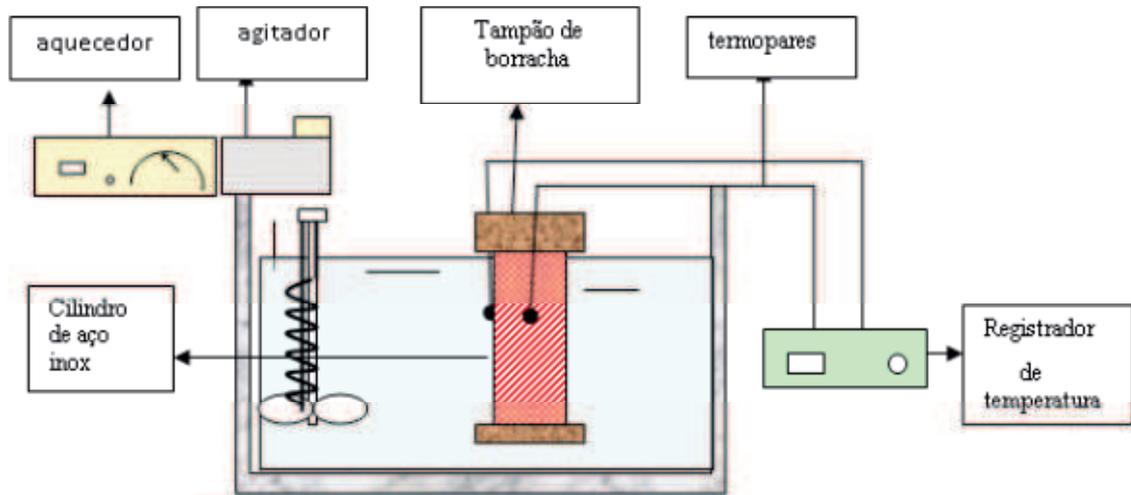
Moura et al. (1998) encontraram valores experimentais de difusividade térmica para as polpas de cupuaçu, açaí e graviola, obtendo respectivamente os seguintes resultados:  $1,46 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $1,51 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  e  $1,50 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . Sarria e Honório (2004) encontraram valores de difusividade térmica do figo, apresentando um valor médio das amostras de  $3,05 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , variando a temperatura entre 40 a 70°C. Silva (1997) obteve resultado de  $1,84 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  para a polpa de abacaxi e este valor diminuiu conforme aumento da concentração de sólidos para 25°Brix, abaixando para  $1,74 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Muniz et al., (2006) encontraram valores de difusividade térmica relacionando diretamente com o teor de sólidos (°Brix). Os autores obtiveram valores de  $1,63 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  à  $1,78 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  para polpa de bacuri, variando o teor de sólidos entre 20 °Brix à 5 °Brix. Rosa (2015) obteve dados de difusividade térmica da casca e maracujá variando também o teor de umidade da amostra, entre 31,4% a 73,7% com  $1,01 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  e  $1,32 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , respectivamente.

Em todos os casos, pode-se observar que a difusividade térmica aumenta com a diminuição do teor de sólidos (°Brix), ou seja, quanto maior a umidade do alimento, maior a capacidade de difundir calor.

O aparelho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola do CCT/UFCG, segundo a metodologia proposta por Dickerson, que consiste de um cilindro de aço inoxidável, acoplado a dois termopares, um no centro do cilindro e o outro na superfície, um indicador de temperatura e um banho com agitador mecânico, Figura 3.

Figura 3 - Aparelho para determinação da difusividade térmica



Fonte: autor, (2018)

Na cápsula cilíndrica de inox, tem um tampo inferior de borracha sintética. Na parte superior do cilindro tem outro tampo de borracha sintética, contendo 2 termopares, ficando um localizado no centro geométrico e outro na parede interna do cilindro.

Os dados de tempo e temperatura são registrados nos dois termopares. Já os valores de  $(A)$  e  $(T_s - T_c)$  são obtidos por meio do gráfico da temperatura em função do tempo, construído a partir de dados experimentais.  $(A)$  é calculado por meio da inclinação da reta  $(T_s)$  em função do tempo e a razão de temperatura  $(T_s - T_c)$  é obtida quando as curvas  $(T_s)$  e  $(T_c)$  tornam-se paralelas.

Diversos pesquisadores utilizam a metodologia proposta por Dickerson (1965) para determinar a difusividade térmica aparente de produtos vegetais, a fim de estudar o efeito do teor de água sobre a difusividade térmica aparente de diversos produtos agrícolas dentre os quais se citam: grãos de milho (Andrade et al., 2004), polpa de bacuri (Muniz et al., 2006), grãos de trigo (Ribeiro et al., 2007), sementes de ipê-amarelo (Martins et al., 2008), sementes de pinhão-mansão (Goldfarb et al., 2010) e polpa de lulo (Gómez et al., 2010). Nestas pesquisas, a difusividade térmica aparente oscilou entre  $0,1$  e  $2,3 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Armazenamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia em Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba.

Os pseudofrutos utilizados na pesquisa, foram adquiridos em supermercado de Campina Grande, PB, procedente da Granja Diniz, situada em Genipapo -PB.

Figura 4 – Pseudofruto do Caju usado no experimento



Fonte: autor, (2018)

Foram utilizados 10 pseudofrutos, com 5 repetições. Ao serem recebidos no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas foram inicialmente, selecionados manualmente, com a finalidade de eliminar pseudofrutos com trincas mecânicas, ataques fúngicos e/ou de insetos, ou outros defeitos. Os pseudofrutos foram colocados em lotes uniformes.

Depois da seleção, os pseudofrutos foram lavados e desinfetados manualmente por imersão em recipientes plásticos. Em seguida, foram realizadas as medidas de comprimento, espessura e largura, e por último o grau brix.

A escolha quanto ao grau de maturação foi decidida a partir da preferência popular predominante, que recai sobre um produto meio maduro, que conserva geralmente a casca com a cor vermelha ou amarela e a polpa firme, diferentemente do produto ainda verde, que tem a polpa rígida e ácida, ou do produto totalmente maduro, que perde todas as características.

A determinação experimental do estado de maturação foi feita com base na consistência da polpa mediante o emprego de um consistrômetro, segundo Hoppler. A medida deste parâmetro foi feita aplicando-se uma carga sobre os pseudofrutos do caju através de um ponta cônica, cuja profundidade de penetração é lida em um mostrador analógico. A média das leituras para 10 exemplares testados foi considerada como um valor padrão de maturidade dos pseudofrutos do caju.

Figura 5 - Consistômetro segundo Hoppler



Fonte: autor, (2018)

Nos ensaios, os pseudofrutos do caju foram deixados em temperatura ambiente até que eles atingissem o equilíbrio térmico com o meio. Em seguida, foram pesados e medidos nos três eixos principais, antes de serem submetidos individualmente ao pré-resfriamento.

Logo depois, os pseudofrutos do caju foram submetidos ao processo de pré-resfriamento, no freezer com e sem circulação forçada para o estudo das propriedades físicas.

Para as medições da temperatura de resfriamento no interior da câmara utilizou-se um medidor de temperatura de resfriamento do tipo termistor, colocado ao lado do pseudofruto. Para as temperaturas no interior do pseudofruto se utilizou um termômetro. A porção de termômetro colocada no ambiente da câmara foi totalmente revestido com isolante térmico (isopor), afim de minimizar fenômenos de condução de calor ao longo do mesmo.

Uma vez que a câmara não disponha de sistema de circulação de ar, a ventilação forçada foi conseguida com o auxílio de uma ventoinha, à qual foi acoplado um tubo plástico, de maneira a direcionar o fluxo de ar na direção do pseudofruto. O velômetro ALNOR 6000P da Figura 6 foi responsável pela medição do ar frio sobre a amostra.

Figura 6 - Velômetro ALNOR 6000P



Fonte: autor, (2018)

### 3.1 Determinação das propriedades físicas

#### 3.1.1 Dimensão

Para as medições de tamanho foi utilizado um paquímetro digital, com o qual foram feitas as medidas dos eixos mutuamente perpendiculares.

Para avaliar o grau de encolhimento, a forma do fruto foi ajustada a um elipsóide (Figura 2.1), permitindo uma melhor representação do volume. Durante a secagem, três frutos com dimensões homogêneas tiveram seus eixos ortogonais medidos por um paquímetro digital modelo MTX® Digital Caliber, durante os intervalos de pesagens.

Figura 7 – Paquímetro Digital



Fonte: autor, (2018)

### 3.1.2 Volume

O volume foi determinado pelo método da medida de massa de água deslocada, em balança analítica, pelo qual se calculou o volume da água deslocada para 10 frutos de caju, separadamente, de cada amostra de frutos quanto ao teor de água, utilizando a Equação 5.

$$\text{Volume} = (\text{massa de água deslocada}) / (\text{massa específica de água}) \quad 5$$

### 3.1.3 Circularidade

A circularidade foi determinada com o auxílio de um retroprojetor. A fruta na posição natural de repouso, tem seus contornos projetados sobre papel milimetrado. Da relação entre a área projetada e a área do menor círculo que a circunscreveu foi definida a circularidade individual do produto.

A circularidade foi determinada pela Equação 6:

$$C_r = (A_p/A_c) \times 100 \quad 6$$

em que:  $C_r$  – circularidade;  $A_p$  – área projetada na posição de repouso;  $A_c$  – área do menor círculo que circunscreve o produto na posição de repouso

### 3.1.4 Esfericidade

A esfericidade foi obtida da relação entre o diâmetro da esfera de igual volume do produto e o diâmetro do menor círculo circunscrito à área projetada do mesmo. Sendo calculada pela Equação 7, expressa a seguir:

$$\varphi = \frac{D_i}{D_e} \times 100 \quad 7$$

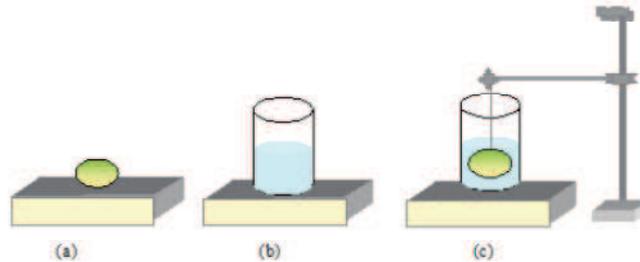
Em que:  $\varphi$  é Esfericidade;  $D_i$  é Diâmetro do maior círculo inscrito e  $D_e$  é o Diâmetro do maior círculo circunscrito.

### 3.1.5 Massa Específica

Serão feitas três pesagens em balança analítica com precisão de 0,0001. A primeira pesagem é a massa do pseudofruto, como pode ser visto na Figura 8 (a). A segunda pesagem, Figura 8 (b) é a massa de um recipiente contendo água. Por fim, sustentada por uma haste,

o pseudofruto é forçado para dentro do recipiente com água, até sua total submersão sem que, no entanto, toque as superfícies do recipiente e neste momento é feita a terceira pesagem, Figura 8 (c).

Figura 8 – Esquema da massa Específica: (a) pseudofruto; (b) massa do recipiente contendo água e (c) pseudofruto + água



Fonte: autor, (2018)

### 3.1.6 Calor Específico

Foi utilizado o método de mistura calorimétrica, baseado no emprego de um recipiente isolado (calorímetro) de capacidade calorífica conhecida, contendo água em temperatura e massa conhecidas (Zanoelo et al., 2011).

Para a determinação do calor específico foi utilizado um calorímetro construído artesanalmente, consistindo em uma ampola de garrafa térmica de 1000 ml envolvida em uma camada de 5 cm de isolante térmico (lã de vidro) e tendo como invólucro um cilindro de PVC de 15 cm de diâmetro. Na rolha de borracha que serve de tampa para a ampola será introduzida a haste de um termopar com precisão de 0,1°C, com o qual serão aferidas as temperaturas.

Para determinar a capacidade calorífica no calorímetro, procede-se da seguinte maneira:

- Coloca-se cerca de 100g de água à temperatura ambiente no calorímetro;
- Fecha-se o aparelho e mede-se a temperatura interna ( $T_1$ );
- Acrescenta-se mais cerca de 100 g de água a uma temperatura em torno de 4°C ( $T_2$ );
- Agita-se o calorímetro por 10 minutos, para que a sua temperatura interna atinja o equilíbrio ( $T_3$ );
- Utiliza-se o balanço de calor descrito abaixo, dado pela Equação 8:

$$C_1 m_1 (T_1 - T_3) = C_{cal} (T_1 - T_3) = C_2 m_2 (T_3 - T_1) \quad 8$$

Onde:  $C_1$  e  $C_2$  – calor específico da água (cal /g °C);  $m_1$  – massa de água resfriada (g);  $m_2$  – massa de água resfriada (g);  $C_{cal}$  – capacidade calorífica do calorímetro (cal/°C)

Encontra-se o calor específico do do produto partindo do item (d) e acrescentando-se uma massa de 100 gramas do produto à temperatura  $T_4$ . Agita-se e mede-se a temperatura de equilíbrio ( $T_5$ ). Usando a Equação 9,

$$M_P C_P (T_4 - T_5) = C_1 m_1 (T_5 - T_3) = C_{cal} (T_5 - T_3) \quad 9$$

Onde:  $M_p$  - massa do produto;  $C_p$  - calor específico ( $\text{cal}/^\circ\text{C}$ )

### 3.2 Condutividade Térmica

A condutividade térmica do produto foi determinada indiretamente através da Equação 10, utilizando-se os valores experimentais da densidade real, do calor específico e da difusividade térmica (Moura; França; Leal, 2003).

$$k = \alpha \rho C_p \quad 10$$

Onde:  $\alpha$  = difusividade térmica ( $\text{m}^2/\text{s}$ );  $k$  = condutividade térmica ( $\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}^{-1}$ );  $\rho$  = densidade real ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $C_p$  = calor específico da amostra ( $\text{J}/\text{kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

### 3.3 Difusividade Térmica

Para determinação da difusividade foi utilizada uma cápsula cilíndrica de inox, que tem o tampo inferior de borracha sintética. A parte superior do cilindro tem um outro tampo de borracha sintética, contendo 2 termopares, ficando um localizado no centro geométrico e outro na parede interna do cilindro.

Os dados de tempo e temperatura são registrados nos dois termopares. Desta forma, foi possível determinar os termos da Equação proposta por DICHERSON (1965).

Os valores de  $(A)$  e  $(T_s - T_c)$  são obtidos por meio do gráfico de temperatura em função do tempo, construído com valores experimentais.  $(A)$  é calculado por meio da inclinação da reta  $(T_s)$  em função do tempo e a razão de temperatura  $(T_s - T_c)$  é obtida quando as curvas  $(T_s)$  e  $(T_c)$  tornaram-se paralelas.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do estágio de maturação dos pseudofrutos do caju foi determinada através dos testes de consistências da polpa e do grau brix de 10 pseudofrutos do caju, cujos os valores médios de penetração foram de 2,5 mm e a média dos teores de açúcares foi de 11,3%.

As dimensões características dos pseudofrutos do caju no que se refere ao comprimento, largura e espessura são em médias de: 6,2, 4,5 e 4,9 cm, respectivamente. Em relação a esfericidade e a massa específica dos pseudofrutos do caju, foi observado os valores médios de 67,5 %, e 0,86 g/cm<sup>3</sup>. Na Tabela 2, observa-se que a condutividade térmica, a difusividade térmica e o coeficiente de filme com convecção de ar, sofre uma pequena variação com a diminuição da temperatura, em virtude dos valores de temperaturas serem próximos.

Tabela 2- Condutividade e difusividade térmicas, coeficientes de filme para pseudofruto do caju (com convecção de ar).

T (°C)	Condutividade (Cal/h m°C)	Difusividade m <sup>2</sup> /h	Coeficientes de filme (Cal /h m <sup>2</sup> °C)
2	404,0	0,0113	32774,8
- 8	385,6	0,0094	49903,7
-14	397,6	0,0111	54940,7
- 19	407,8	0,0114	56596,7
- 60	212,1	0,0054	59809,9
- 100	551,4	0,0154	58736,1

Para Tabela 3 a condutividade térmica, difusividade térmica e coeficiente de filme sem convecção de ar, observa-se que com a diminuição da temperatura ocorre uma grande variação nos resultados obtidos, mesmo com as temperaturas muito próximas.

Tabela 3 - Condutividade e difusividade térmicas, coeficientes de filme para pseudofruto do caju (sem convecção de ar).

T °C	Condutividade (Cal/h m °C)	Difusividade m <sup>2</sup> /h	Coeficientes de filme (Cal /h m <sup>2</sup> °C)
2	358,8	0,011	20305,3
- 8	282,7	0,008	14878,9
-14	128,5	0,0034	6763,2
- 19	81,6	0,0023	4293,2

Com relação ao tempo de pré-resfriamento para temperatura inicial do pseudofruto do caju, foi observado que com a diminuição da temperatura ocorre uma grande variação nos resultados obtidos, mesmo com as temperaturas próximas, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Tempo de pré-resfriamento para temperatura atingida pelos pseudofrutos dos cajus usando o freezer versus o tempo de resfriamento.

T °C	Temperatura inicial do produto (°C)	Tempo Sem convecção °C
2	24,6	210
-8	23,9	61
-14	27,0	55
-19	25,3	43

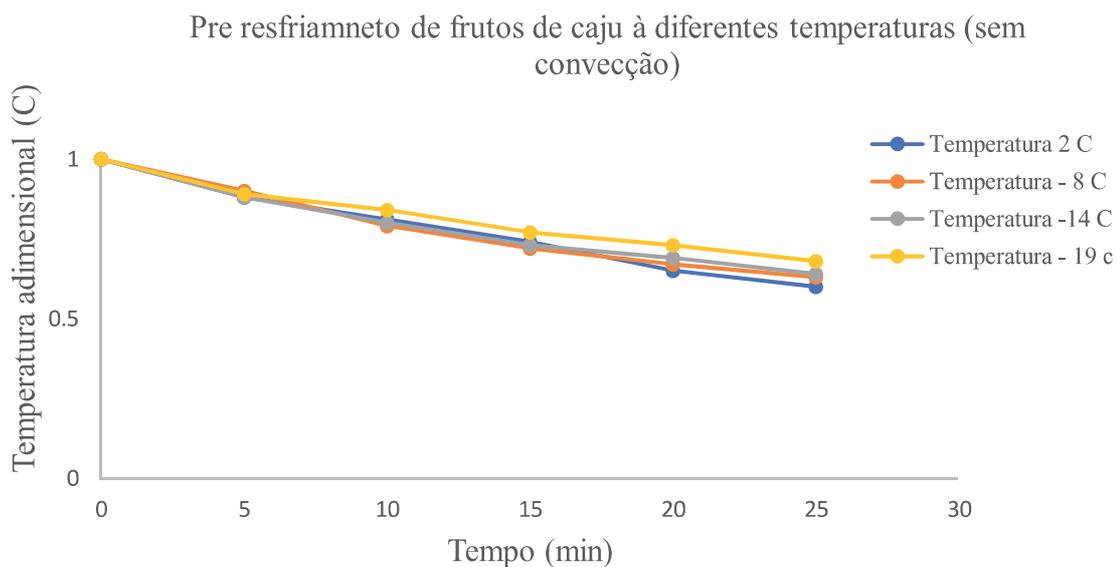
Na Tabela 5 observou-se que para baixas temperaturas, mesmo com a temperatura inicial alta, usando a convecção de ar e o nitrogênio líquido o tempo de resfriamento é muito rápido, obtendo melhor refrigeração para os pseudofrutos e garantindo assim melhor armazenamento dos mesmos.

Tabela 5 – Tempo de pré-resfriamento para temperatura atingida pelos pseudofrutos do caju usando o ultra cryostato versus o tempo de resfriamento.

T °C	Temperatura inicial C	Com convecção de ar (2,8 m/s)
-60	26,8	12,0
-100	28,5	4,0

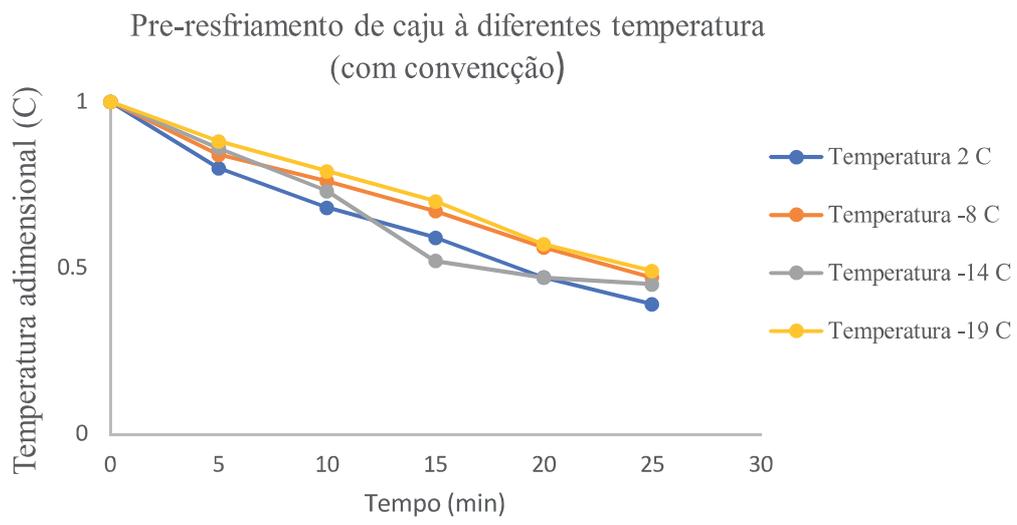
Na Figura 9 observa-se que o meio tempo de resfriamento ( $t_{1/2}$ ) é o tempo necessário para reduzir a diferença de temperatura entre o produto e o meio refrigerante pela metade. Devido as temperaturas serem próximas, temos que as curvas ficaram muito próximas em alguns tempos de resfriamento. Já na Figura 10, foi observado que no meio tempo de resfriamento ( $t_{1/2}$ ) com convecção de ar, para todas as temperaturas utilizadas ocorreram variações nos tempos de resfriamentos, isto significa que utilizando a convecção de ar, teremos um menor tempo para refrigerar os frutos e com isso menor gasto de energia.

Figura 9 – Pré-resfriamento do pseudofruto do caju para diferentes temperaturas (sem convecção de ar)



Fonte: autor, (2018)

Figura 10 - Pré-resfriamento do pseudofruto do caju para diferentes temperaturas (com convecção de ar).



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A massa específica e a esfericidade para os pseudofrutos do caju são em média de 67,5 % e  $0,86 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente.

As dimensões características dos pseudofrutos do caju no que se refere ao comprimento, largura e espessura são em média de 6,2, 4,5 e 4,9 cm, respectivamente.

A condutividade térmica, com convecção de ar apresentou em média valores de 393,1 cal/h/m °C. Para a condutividade térmica sem convecção a média foi de 212,9 cal/h/m°C.

Para a difusividade térmica com convecção de ar a média apresentada foi  $0,01066 \text{ m}^2/\text{h}$  e para a difusividade térmica sem convecção de ar foi de  $0,0062 \text{ m}^2/\text{h}$ .

O calor específico médio para os pseudofrutos do caju foi de  $0,20 \text{ cal/h m}^\circ\text{C}$ .

O coeficiente de filme com convecção de ar obtido em média para os pseudofrutos do caju foi de  $52126,98 \text{ cal/h m}^\circ\text{C}$ .

Nos processos de resfriamento com e sem convecção de ar, as temperaturas estudadas foram suficientemente estreitas para não influir nos tempos de resfriamento.

O resfriamento com convecção de ar demonstrou maior eficiência no abaixamento da temperatura para os pseudofrutos do caju estudados.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. Manuseamento de produtos hortícolas. 1ª ED. Porto. 2005. p.112.
- ANDRADE, E. T.; Couto, A. M.; Queiroz, D. M.; Peixoto, A. B. Determinação de propriedades térmicas de grãos de milho. *Ciência e Agrotecnologia*. **28**, 488-498, 2004.
- BON, J.; VÁQUIRO. H.; BENEDITO, J.; TELIS-ROMERO, J. l.: Thermophysical properties of mango pulp (Mangifera indica L. cv. Tommy Atkins). *Journal of Food Engineering*. **97**, 563-568, 2010.
- BRITO, N. M., AMARANTE JUNIOR, O. P.; POLESE, L.; RIBEIRO, M. L.: Validação de Métodos Analíticos: Estratégia e Discussão. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*. Curitiba. **13**, 129-146, 2003.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A.: Pós-colheita de frutas e hortaliças, 2005.
- CHOI, Y.; OKOS, M. R.: Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In: LEMAUGUER, M.; JELEN, M. *Journal of Food engineering and process applications: transport phenomena*. London: Elsevier Applied Science Publishers. **1**, 93-101, (1986).
- DICKERSON, R. W.:An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. *Food Technology*, Chicago. **1**(5), 198-204, 1965.
- EDITORA GAZETA. Anuário brasileiro da fruticultura 2014. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2015. 104 p.
- FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Disponível em: . Acesso em: mai. 2014
- FELLOWS, P. J.: Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006 (602p).
- GAMA, M. J. de A.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E.M., ARAGÃO, R. F.; FARIAS, P. de A.; Difusividade térmica aparente de sementes de cajá em temperaturas acima do congelamento até ultrabaixas temperaturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **16**(3), 303–308, 2012.
- GÓMEZ, G. I. G.; GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; ROMERO, J. T. Propriedades termofísicas do suco concentrado de lulo em temperaturas acima do ponto de congelamento. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. **30**, .90-95, 2010.
- GOLDFARB, M.; Duarte, M. E. M.; Cavalcanti-Mata, M. E. R. M.; Pimentel, L. W.; Severino L. S. Cinética de congelamento criogênico de sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). *Engenharia Ambiental*. **7**, 195-203, 2010.
- GOULART, C.; LOY, F. S.; GALARÇA, S. P.; GIOVANAZ, M. A.; MALGARIM, B.; FACHINELLO, J. C.: -Evolução do índice e da coloração da epiderme de mangas da cultivar Tommy Atkins. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 2013.

GAVA, A. J.: Princípios de tecnologia de alimentos. 1ª ed. Ed. Nobel, 1998.

IBGE, 2018 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Safra 2018 será de 227,2 milhões de toneladas, 5,6% menor ante 2017.

KAZARIAN, E. A.; HALL, C. W.: Thermal properties of grains. Transactions of the ASAE, Saint Joseph. **8**(1), 33-38, 1965.

KAZARIAN, E. A.; HALL, C. W.: Thermal properties of grains. Transactions of the ASAE, Saint Joseph. **8**(1), 33-38, 1965.

KASHARA, G.I.; GARRIDO, B.F.; SIMPSON, R.R.; ALDUNARTE, M.M.I.; CORNEJO, F.F. Cinética de congelación y propiedades termofísicas em dos espécies de frutales menores. In: KASAHARA, G.J. Tópicos de calor y propiedades termofísicas en: refrigeración y congelación de alimentos. Santiago de Chile: Maval, 1986, cap.4, p.81-109.

JULIÃO, L.; TAPETTI, R. A.; MELLO, G. C. da S. Cadeia do frio: Garantia de vida mais longa e saudável. Hortifrúti Brasil. Publicação do CEPEA – ESALQ/USP. 2011.

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.

MARTINS, L.; LAGO, A. A.; SALES, W. R. M. Conservação de sementes de ipê-amarelo (*Tabebuia chrysostricha* (Mart. ex DC.) Standl.) em função do teor de água das sementes e da temperatura do armazenamento. Revista Brasileira de Sementes, 31, 86-95, 2009.

MATA, M. E. R. M. C.; 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. **1**(3), 1-7, 2003.

MERCALI, G. D.; SARKIS, J. R.; JAESCHKE, D. P.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F.: Physical properties of acerola and blueberry pulps. Journal of Food Engineering. **106**(4), 283-289, 2011.

MOHSENIN, N. N. Thermal properties of foods and agricultural materials. New York: Gordon and Breach Science, 1980. 407 p.

MOHSENIN, N.: Physical properties of plant and animal materials. New York, Gordon and Breach Science Publishers, 1978 (734p).

MOURA, S. C. S. R.; FRANÇA, V. C. L.; LEAL, A. M. C. B.: Propriedades Termofísicas de Soluções Modelo Similares a Sucos – Parte I. Food Science And Technology. 62- 68, 2003.

MOURA, S. C. S. R.; GERMER, S. P. M.; JARDIM, D. C. P.; SADAHIRA, M. S.: Thermophysical Properties of Tropical Fruit Juices. Brazilian Food Technology, Campinas. **2** (1), 70-76, 1998.

MUNIZ, M. B.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M.F.; DUARTE, M.E.M. Caracterização termofísica de polpas de bacuri. *Ciência e Tecnologia de alimentos*. **2** (26), 360-368, 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.

NETO, S. E. de A.: Fruticultura tropical. VIII Semana de Ciência e Tecnologia IFMG, Campus de Bambuí. 210 p, 2014.

OLIVEIRA, G. A.: Propriedades Termofísicas de Mistura Proteica Resultante da Hidrólise de Subprodutos da Indústria Frigorífica. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado), Curso de Tecnologia de Alimentos. Universidade federal do Paraná, 2009.

PEREIRA, C. G. Propriedades termofísicas e comportamento reológico de polpa de acerola em diferentes concentrações e temperatura. 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciencia de Alimentos, Universidade Federal de Lavras, 2013.

RIBEIRO, D. M.; Correa, P. C.; Resende, O.; Botelho, F. M. Propriedades térmicas de grãos de trigo: Determinação e modelagem. *Ciência e Agrotecnologia*, 31, 462-467, 2007.

REIDY, G. A.; RIPPEN, A. L.: Methods for determining thermal conductivity in foods. *Transactions of the ASAE, Saint Joseph*. **14**(2), 248-254, 1971.

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

SANTOS, J. S.; SANTOS, M. L. P.; AZEVEDO, A. S.: Validação de um método para determinação simultânea de quatro ácidos orgânicos por cromatografia líquida de alta eficiência em polpas de frutas congeladas. *Química Nova, São Paulo*. **37**(3), 540-544, 2014.

SANTOS, D. P.; BARROS, B. C. V.: Perfil higiênico sanitário de polpas de frutas produzidas em comunidade rural e oferecidas à alimentação escolar. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial, Ponta Grossa*. **6** (2), 747-756, 2012.

SARRIA, S. D.; HONÓRIO, S. L.: Condutividade e Difusividade Térmica do Figo (*Ficus carica* L.) “Roxo de Valinhos”. *Revista Engenharia Agrícola*. **24** (1), 185-194, 2004.

SEBRAE- Agronegócio Fruticultura. Boletim de Inteligência. Outubro, 2015 Disponível em: [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/\\$File/5791.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/$File/5791.pdf). Acesso em 02 de fev. de 2017.

SESTARI, I.; KLUG, R. A.: Métodos empregados no pré-resfriamento de frutas hortaliças. Serie produtor rural –Nº 40 – Universidade de São Paulo. Escola superior de agricultura “Luís de Queiroz” – ESALQ, Piracicaba, 2008. Disponível em: Acesso em maio. 2018.

SILVA, C. E. F.; MOURA, E. M. O.; ANDRADE, F. P.; GOIS, G. N. S. B.; SILVA, I. C. C.; SILVA, L. M. O.; SOUZA, J. E. A.; ABUD, A. K. S.: Importância da monitoração dos padrões de identidade e qualidade na indústria de polpa de fruta. *Journal of Bioenergy and Food Science*, Amapá. **3**(1), 17-27, 2016.

SILVA, V. K. L.; FIGUEIREDO, R. W.; BRITO, E. S.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; FIGUEIREDO, E. A. T.: Estabilidade de polpa de bacuri, *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras. **34** (5), 1293-1300, 2010a.

SILVA, J. de. S.; FINGER, F. L.; CORRÊA, P. C.: Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. *Armazenamento de frutas e hortaliças*. Viçosa, MG. 469–502, 2008.

SILVA, S. B.: Propriedades termofísicas da polpa de abacaxi. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 1997 (111p).

SINGH, R. P.; ERDOGDU, F.; RAHMAN, M. S.: Specific heat and enthalpy of foods. In: RAHMAN, M. S.: *Food Properties Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2009.

SINGH, B.; NARANG, M. P.: A comparison of chemical composition, cell-wall content, digestibility and degradation kinetic characteristics as predictors of forage intake Indian *Journal of Animal Sciences*. 62: 369-373, 1992

SUCUPIRA, W. F. M.: tempo de resfriamento do mamão golden durante as Etapas de beneficiamento e arrefecimento em túnel de ar Forçado. Trabalho de conclusão de curso de. *Tecnologia de Alimentos*. (CTDR/UFPB), p. 60, 2014.

TELIS ROMERO, J.; TELIS, V. R. N; GABAS, A. L.; YAMASHITA, F.: Thermophysical Properties of Brazilian Orange Juice as Affected by Temperature and Water Content. *Journal of Food Engineering*. **2**(38), 27-40,1998.

TERUEL, B. J. M.: Tecnologias de Resfriamentos de Frutas e Hortaliças. *Revista Brasileira de Agro ciências*. **14**(2), 199-220, 2008.

VILELA, P. R.: Exportação de frutas. Agência Brasil. Edição: Nádia Franco. <http://agenciabrasil.etc.com.br/economia/noticia/2018-04/exportacao-de-frutas-cresce-183-nos-primeiros-meses-de-2018>, acesso mai. 2018.

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*. **34**(6), 2124-2136, 2010.