

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA EM CRUZ ALTA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

SHIRLEY DENISSE CCORI PONCE

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE ISOTERMAS DE SORÇÃO E PROPRIEDADES
TERMODINÂMICAS DE POLPA DE BANANA VERDE**

CRUZ ALTA

2022

SHIRLEY DENISSE CCORI PONCE

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE ISOTERMAS DE SORÇÃO E PROPRIEDADES
TERMODINÂMICAS DE POLPA DE BANANA VERDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof.^a Dra. Kelly de Moraes

Coorientador: Luiz Henrique Han

CRUZ ALTA

2022

Catálogo de Publicação na Fonte

P792m Ponce, Shirley Denisse Ccori.

Modelagem matemática de isotermas de sorção e propriedades termodinâmicas de polpa de banana verde. / Shirley Denisse Ccori Ponce. – Cruz Alta, 2022.

59 f.

Orientadora: Profa. Dra. Kelly de Moraes
Coorientador: Luiz Henrique Han

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Unidade em Cruz Alta, 2022.

1. Amido. 2. Entalpia. 3. Entropia. 4. GAB. 5. Gelatinização.
I. Moraes, Kelly de. II. Han, Luiz Henrique. III. Título.

SHIRLEY DENISSE CCORI PONCE

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE ISOTERMAS DE SORÇÃO E PROPRIEDADES
TERMODINÂMICAS DE POLPA DE BANANA VERDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof.^a Dra. Kelly de Moraes

Coorientador: Luiz Henrique Han

Aprovado em: ___/___/2022.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora Prof.^a Dra. Kelly de Moraes
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof.^a Dra. Jussara Navarini
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof. Dr. Gilvane Souza de Matos
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida maravilhosa que me deu, e pela fortaleza que me brinda nos momentos de solidão, tristeza e alegria.

A meus pais Dennis e Lucila e minha pequena irmã Anabel que são e sempre serão minha fonte inesgotável de amor, foco e força sem eles nada que acontece na minha vida seria possível.

A minha avó e meus avôs (finados) que apesar do pouco tempo que vi eles nestes últimos anos sempre torceram por mim mesmo de longe. A minha família no geral que sempre brindaram conselhos que levo no coração

As famílias e amigos que criei aqui no Brasil, me acolheram como um membro mais das suas vidas, sou muito grata, sem vocês minha estadia aqui seria muito solitária e triste.

A minha orientadora Prof.^a Kelly de Moraes que além de me brindar um grande apoio acadêmico me brindou uma amizade muito linda, sou e sempre serei grata por isso. Assim também ao meu coorientador Luiz Henrique Han que sempre esteve disposto a me ajudar em tudo que precisei.

A UERGS que além de me brindar conhecimento, brindou oportunidades acadêmicas, sociais e econômicas.

RESUMO

A banana verde tornou-se uma opção principal na formulação de novos produtos na indústria alimentar devido ao amido resistente que ela possui, já que além de trazer benefícios para saúde humana, tornar-se um bom substituto em formulações funcionais e na alimentação a base de plantas. Assim o processamento da mesma tem que ser seguro e com qualidade. As isotermas de sorção analisam e colaboram a relação de teor de umidade e atividade de água dos alimentos assim como suas propriedades termodinâmicas revelam dados importantes para o início e o fim de diversos processos térmicos. Dados importantes que afetaram o armazenamento, processamento e a qualidade de novos produtos industriais. Assim o objetivo deste trabalho foi determinar as isotermas de dessorção da polpa de banana verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, assim como o levantamento das suas propriedades termodinâmicas. Os dados experimentais foram ajustados a cinco modelos mais comuns em alimentos BET, GAB, HALSEY, HENDERSON e OSWIN. A partir dos dados obtidos pelo modelo GAB foram analisadas as propriedades termodinâmicas. Dessa forma, foi possível observar que as isotermas apresentaram forma sigmoide tipo II, sendo que GAB é o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais. A umidade de monocamada variou de 0,06 a 0,11 kg água/kg sólido seco, consequentemente a área superficial encontrou-se na faixa de 235 a 402 m²/g. O valor do calor total de sorção diminuiu e a entropia foi negativa. Comprovou-se que a teoria da compensação é válida para o comportamento da umidade de dessorção da polpa de banana verde sendo controlada pela entropia, e que este processo é não espontâneo.

Palavras-chave: Amido. Entalpia. Entropia. GAB. Gelatinização

ABSTRACT

The green banana has become a main option in the formulation of new products in the food industry due to the resistant starch it has, since in addition to bringing benefits to human health, it becomes a good substitute in functional formulations and in food based on plants. So the processing of the same has to be safe and with quality. Sorption isotherms analyze and collaborate the relationship of moisture content and water activity of foods as well as their thermodynamic properties reveal important data for the beginning and end of various thermal processes. Important data that affected the storage, processing and quality of new industrial products. Thus, the objective of this work was to determine the desorption isotherms of green banana pulp at temperatures of 50, 60 and 70 °C, as well as the survey of its thermodynamic properties. Experimental data were fitted to the five most common models in BET, GAB, HALSEY, HENDERSON and OSWIN foods. From the data obtained by the GAB model, the thermodynamic properties were analyzed. Thus, it was possible to observe that the isotherms presented a type II sigmoidal shape, with GAB being the model that best fitted the experimental data. The monolayer moisture varied from 0.06 to 0.11 kg water/kg dry solid, consequently the surface area was in the range of 235 to 402 m²/g. The value of the total heat of sorption decreased and the entropy was negative. It was proved that the compensation theory is valid for the behavior of the desorption moisture of green banana pulp being controlled by entropy, and that this process is non-spontaneous.

Keywords: Starch. Enthalpy. Entropy. GAB. Gelatinization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação da banana verde segundo escala de maturação.....	18
Figura 2 - Estrutura linear da α -amilose	20
Figura 3 - Estrutura ramificada da amilopectina	21
Figura 4 - Influência da atividade na taxa de crescimento microbiano	25
Figura 5 - Isoterma de adsorção e de dessorção típica de alimentos.....	27
Figura 6 - Tipos de isotermas de acordo com Brunauer.....	28
Figura 7 - Representação esquemática dos três estágios de mecanismo de sorção em alimentos	29
Figura 8 - Dados das isotermas de dessorção à 50, 60 e 70 °C da polpa de banana verde.....	39
Figura 9 - Curvas de $[\ln(a_w)]$ versus $(1/T)$, em diferentes conteúdos de umidade da polpa de banana verde	44
Figura 10 - Calor total de dessorção para polpa de banana verde	45
Figura 11 - Variação da entropia diferencial para polpa de banana verde em função da umidade de equilíbrio.....	46
Figura 12 - Entalpia diferencial em função da entropia diferencial para polpa de banana verde	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da banana madura sem casca	15
Tabela 2 - Composição aproximada de bananas a diferentes estágios de maturação, classificadas pela cor da casca	18
Tabela 3 - Composição nutricional em 100g da banana de água madura e verde crua	20
Tabela 4 - Teor de amido resistente nas farinhas de banana verde dos diferentes cultivares ..	23
Tabela 5 - Valores de atividade de água, para várias concentrações de ácido sulfúrico, em diferentes temperaturas	34
Tabela 6 - Modelos para determinação das isotermas de sorção	35
Tabela 7 - Composição centesimal da polpa de banana verde	38
Tabela 8 - Parâmetros estimados para os modelos selecionados de equações de isoterma de sorção para polpa de banana verde	41
Tabela 9 - Umidade de monocamada em outros estudos	43
Tabela 10 - Valores de área superficial específica de dessorção calculados pelos modelos de GAB para polpa de banana verde em diferentes temperaturas	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPN	Amido de Banana Verde Nativo
AFBV	Associação Brasileira de Fomento à Banana Verde
AR	Amido Resistente
AW	Atividade de Água
BET	Brunauer, Emmett e Teller
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAEP	Federação da Agricultura do Estado do Paraná
FAO	Food and Agriculture Organization
GAB	Guggenheim-Anderson-De Boer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 BANANA	15
2.2 BANANA VERDE.....	17
2.3 AMIDO.....	20
2.3.1 Amido Resistente	22
2.3.2 Gelatinização do amido.....	24
2.4 UMIDADE E ATIVIDADE DE ÁGUA	24
2.5 ISOTERMAS DE SORÇÃO	26
2.5.1 Modelagem Matemática de Isotermas de Sorção	30
2.6 PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS.....	30
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA.....	32
3.2 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL.....	32
3.2.1 Umidade.....	32
3.2.2 Proteína bruta	33
3.2.3 Cinzas.....	33
3.2.4 Lipídios	33
3.2.5 Carboidratos	33
3.3 ISOTERMAS DE SORÇÃO	34
3.3.1 Modelagem das isotermas	35
3.4 CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS	36
4 DISCUSSÃO E RESULTADOS	38
4. 1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL.....	38
4.2 ISOTERMAS DE SORÇÃO	39
4.3 PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS	43
5 CONCLUSÃO.....	49
REFERENCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A banana representa no âmbito nacional uma produção de 6,8 milhões de toneladas ao ano (EMBRAPA, 2019), o que corresponde a 9,3% da produção mundial, sendo o Brasil o segundo maior produtor e a Índia o primeiro produtor mundial. Desses valores o Brasil não exporta mais que 2%. Segundo a informação do Embrapa (2019), o Brasil é o país que mais consome banana a nível mundial, sendo a maior parte consumida *in natura*. Entretanto, a perecibilidade pós-colheita vem sendo um grande problema devido às enormes perdas até chegar à mesa do consumidor, sendo a principal causa, a carência de tecnologia para produção da banana. Assim, a industrialização da banana limita-se à produção de geleias, polpas e doces, por esse motivo, a banana verde possui vida útil mais longa e vem sendo considerada como um produto ideal para ser industrializado (BELLO-PÉREZ; GARCÍA-SUÁREZ; FLORES-HUICOCHEA, 2006a *apud* ALMEIDA, 2013).

A industrialização da banana verde está cada dia sendo mais explorada, em indústrias veganas, vegetarianas ou com restrições alimentares, utilizando-as nas bases das preparações, como estabilizante em molhos e maioneses onde está se substituindo ingredientes como ovo e baixando a quantidade de óleo usado, ou também o caso de farinhas funcionais que servem de base para preparação de panificados tornando-a mais variada para ser comercializada pela indústria. Por esse motivo a qualidade de processamento deste fruto tem uma função de grande relevância tendo cuidados na escolha da matéria-prima, método de secagem, técnicas de procedimentos e forma de armazenamento, já que um mau processamento pode acabar danificando o fruto, portanto deixa-o incapaz de ser aproveitado pela indústria. (SILVA, 2003; EMBRAPA, 2008).

Muitos consumidores associam o tempo de prateleira com a natureza do produto ofertado, relacionando a quantidade de adição de químicos (conservantes) com o aumento da vida útil, criando diferentes “mitos” acerca de produtos industrializados. Por esse motivo a preferência por produtos naturais e funcionais têm-se mostrado crescentes no mercado da indústria de alimentos, especialmente os alimentos *in natura* ou alimentos que sofreram o mínimo de processamento.

O uso de banana como ingrediente desses inúmeros produtos foi sendo pesquisado e adicionado em diferentes formulações, devido aos benefícios que traz, e as propriedades que contém, especificamente referindo-se a banana verde, já que oferece vitamina A e B, além de poder suprir 30% da ingestão diária de ácido ascórbico, este também possui uma grande quantidade de flavonoides. O amido da banana, quando a mesma está no estágio verde, não

sofre degradação em seus açúcares apresentando assim amido resistente, o qual se define como a soma do amido e produtos de sua degradação que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis, pois possui ação de fibras alimentares (COSTA e BORGES, 1997; TEIXEIRA et al., 1998, *apud* LAJOLO et al., 2001), auxiliando assim em problemas intestinais.

Processos de desidratação tem sido uma alternativa viável para melhor conservação da banana verde já que se retira a umidade do alimento com a ajuda de equipamentos e se pode controlar a velocidade de ar da secagem, a temperatura e umidade relativa. O processo de secagem que é mais utilizado é a secagem por convecção forçada. Nesse realiza-se a remoção parcial ou total da água presente no fruto a partir da exposição ao ar com temperatura elevada, resultando na redução da quantidade de água do fruto o que provoca uma diminuição na atividade microbológica e enzimática, reduzindo degradação do mesmo (MORAES, 2015). O baixo custo e a fácil aplicação são fatores que favorecem a utilização desse processo na indústria, de forma que agrega valor ao produto e aumenta consideravelmente o seu tempo de prateleira (PONTES, 2009).

Nesse sentido o estudo do conteúdo, a atividade e como está distribuída a água no alimento é de suma relevância, devido a que mudanças e alterações na água do alimento pode mudar a perecibilidade, textura e propriedades físico químicas do fruto, já que quando a atividade de água é alta, as reações bioquímicas do alimento aceleram, aumenta a atividade enzimática e o crescimento microbológico, afetando a matéria prima e, posteriormente, toda a produção.

As isotermas de sorção ajudam no entendimento da interação do comportamento da água com os outros componentes do alimento, mostrando a distribuição da água no fruto, sendo que só é possível estudar desde a sorção polimolecular até a sorção capilar. Este processo ajuda no entendimento de concentração, desidratação, vida útil, caracterização do produto dos alimentos. A análise destas curvas propicia informações uteis para o planejamento de processos, como a umidade ótima para a estabilidade de um produto desidratado em relação à oxidação de lipídios, atividade enzimática, preservação de componentes do sabor e características estruturais. Desta forma, irá permitir a determinação da umidade adequada a ser atingida em um processo de secagem, aliando segurança microbológica e viabilidade econômica. Também fornece dados relevantes para as etapas de embalagem, transporte e armazenamento (MORAES, 2011).

As propriedades termodinâmicas de sorção de água, obtidas através das isotermas, são fundamentais para a análise de projetos de equipamentos, e em vários processos de preservação, secagem, armazenamento, acondicionamento e misturas de alimentos (CHIRIFE e IGLESIAS,

1978), estas propriedades podem definir o tempo de secagem, o fim do processo, o momento que o produto está estável, o teor de água mínimo, e a energia necessária para o processo. Estas propriedades predizem parâmetros de cinética do fenômeno de sorção e fazer deduções aproximadas da microestrutura e das mudanças físicas que ocorrem na superfície do produto alimentício quando a taxa de sorção de água é dada em função de um processo simultâneo de transferência de calor e massa (AGUERRE et al.,1989).

Existem diferentes modelos disponíveis na literatura para descrever a umidade de isotermas de sorção dividindo-os em várias categorias; modelos cinéticos baseados em uma camada única (modelo BET), modelos cinéticos baseados em uma multicamada e filme condensado (modelo GAB), modelos semi- empíricos (modelos Ferro-Fontan, Henderson e Halsey) e modelos empíricos (modelos Smith e Oswin) (AL-MUHTASEB et al., 2004a, AL-MUHTASEB et al., 2002; VAN DEN BERG E BRUIN, 1981), sendo que a equação de GAB tem sido recomendada como equação fundamental para a caracterização da sorção de água em materiais alimentícios, assim como também é mas usada na literatura, pois trabalha em uma ampla atividade de água, possui uma base teórica (modelo cinético baseado na multicamada e filme condensado) (ADEBOWALE et al., 2007).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal determinar experimentalmente as isotermas de sorção da polpa de banana verde, ressaltando as suas propriedades termodinâmicas e mostrando a sua modelagem matemática para diferentes modelos disponíveis na literatura. Tendo como objetivos específicos: Obter dados experimentais das isotermas de dessorção da polpa da banana verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C; levantar as curvas de isotermas de dessorção e ajustar as diferentes modelos matemáticos (GAB, BET, Halsey, Henderson e Oswin); mostrar a melhor condição de estabilidade da polpa de banana verde (X_m – umidade de monocamada); calcular a área superficial, o calor total de dessorção, determinar a entalpia e entropia diferencias e avaliar a teoria da compensação da entalpia-entropia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BANANA

A palavra banana é originária das línguas serra-leonesa e liberiana (costa ocidental da África) (MOREIRA, 1999). Existe um consenso por parte de pesquisadores que a origem da banana seja originária do Oriente, no Sudeste Asiático (MOREIRA, 1987). Segundo Moreira (1999), as bananeiras existem no Brasil desde antes do seu descobrimento. Quando Cabral aqui chegou, encontrou os indígenas comendo bananas *in natura* de um cultivar muito digestivo que se supõe tratar-se do ‘Branca’ e outro, rico em amido, que precisava ser cozido antes do consumo, chamado de ‘Pacoba’ que deve ser o cultivar Pacova, a palavra pacoba em guarani significa banana. Com o decorrer do tempo, verificou-se que o ‘Branca’ predominava na região.

Tabela 1 - Características da banana madura sem casca

Nutriente	Quantidade
Peso médio	119 g
Umidade	75,6 %
Calorias	95-100 cal/100g
Proteínas	1,2%
Lipídios	0,2%
Carboidratos	22%
Cálcio	8 mg/100g
Magnésio	31 mg/100g
Fosforo	28 mg/100g
Ferro	0,6 mg/110 g
Potássio	373 mg/100g
Sódio	42 mg/100g
Vitamina A	250-335 U.I
Tiamina (vitamina B1)	42-54 µg/100g
Riboflavina (vitamina B2)	88µg/100g
Niacina (vitamina PP)	0.6 µg/100 g
A. ascórbico (vitamina C)	10-11 mg/100g

Fonte: Medina et al. (1995).

Observando a Tabela 1, pode-se constatar que a banana é altamente energética, fornecendo em média 100 calorias por 100 gramas de polpa (ROBERT, 1942; ALI et al., 1984; ITAL, 1990), sendo essas calorias principalmente sob a forma de sacarose, frutose, glicose e amido. Em termos de comparação energética, a banana supera a maçã, a pera, a cereja e o pêssego em teor de proteínas e lipídios. Quanto aos seus aspectos nutricionais a polpa de banana pode ser recomendada em casos específicos como: regulador da pressão sanguínea, depressão,

câimbras (as contrações espasmódicas dos músculos são atenuadas devido à grande quantidade de potássio, que mantém o equilíbrio eletrolítico do organismo), tabagismo, estresse, úlcera e outros (VALLE e CAMARGOS, 2003).

Segundo Godoy (2010) as variedades mais comuns no Brasil são Prata, Pacovan, Prata-Anã, Maçã, Mydore, Terra e D'angola, além da Nanica e Nanicão voltadas principalmente à exportação. As cultivares nanica e nanicão são triploides do grupo AAA, que antigamente eram classificadas como *Musa cavendishii* Lamb, ou *Musa acuminata* Colla. A prata, triploide do grupo AAB, antes classificada como *Musa balbasiana* Colla, é das mais cultivadas no país sendo Minas Gerais a primeira produtora (CANÇADO JUNIOR, et al., 1999). A variedade Nanica vem tomando o lugar de produção das variedades Nanicão e Grand-naine já que apresenta várias características agrônômicas interessantes como, resistência a doenças e maior produtividade agrícola, além de apresentar melhores características organolépticas (BORGUES, 2003).

A banana tem um forte consumo *in natura* no Brasil e no mundo. Mais de 125 países dedicam-se ao cultivo dessa fruta, onde a Índia ocupa o primeiro lugar, sendo responsável por 29,11 milhões de toneladas produzidas em 2016. Esta fruta possui grande importância econômica nos países tropicais, além de ser muito apreciada pelo sabor, pela facilidade de consumo, pelo baixo custo e, também, por ser fonte de energia, vitaminas e minerais (OLIVEIRA, 2018) apresentando um consumo nacional per capita de aproximadamente 27,5 kg/habitante/ano, sendo a média mundial igual a 12,4 kg/habitante/ano (DIAZ, 2011), segundo a Food and Agriculture Organization – FAO (2018) a banana ocupa a primeira posição no ranking mundial de frutas, com 113,28 milhões de toneladas produzidas em 2016. Em 2017, a produção de banana do Brasil foi de 7,185 milhões de toneladas, numa área de 486,8 mil hectares, tendo um acréscimo de 6,23% na produção, em relação a 2016 (IBGE, 2018).

A produção brasileira de bananas é na maior parte dirigida ao mercado interno, devido à grande população e ao consumo maioritário per capita nacional (OLIVEIRA, 2018). A maior parte da produção brasileira de bananas é consumida *in natura*, sendo industrializados cerca de 2 a 3% da produção, dos quais 33% desses produtos são consumidos no mercado interno. Um dos principais produtos derivados da banana produzido no Brasil é o purê, correspondendo a 55% do total de produtos industrializados, os quais são exportados para o Japão, Estados Unidos e Europa (MORAES, 2015).

O Brasil não desenvolveu boas práticas de manejo e conservação pós-colheita exigidas para transporte ao mercado externo, como fizeram os países tradicionalmente exportadores do produto (OLIVEIRA, 2018). Devido ao amadurecimento rápido, a banana apresenta uma

quantidade de perdas pós-colheita muito elevada. Onde diferentes dados mostram que até 40% da produção é perdida no período da colheita até chegada do produto a mesa do consumidor (CAMPOS, VALENTE, PEREIRA, 2003 *apud* AMORIM e OLIVEIRA, 2012; MORAES, 2015). Problemas que causam este tipo de perda podem ser os excedentes de produção, armazenamento e manuseio inadequado do fruto. Deste modo é necessária a descoberta de alternativa que diminuam essas perdas (SILVA, 2003).

2.2 BANANA VERDE

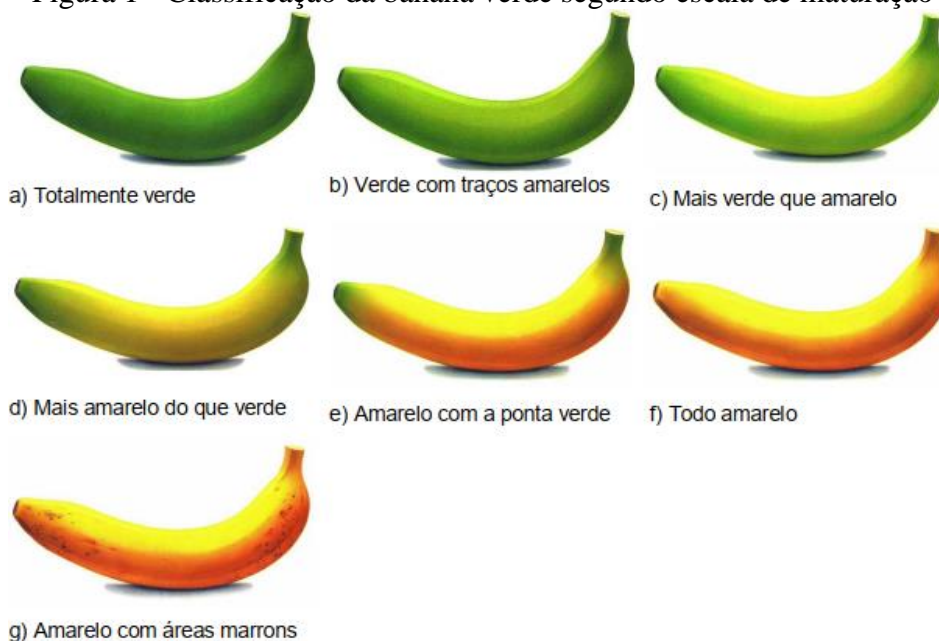
A otimização do processamento da banana foi estudada para reduzir a produção de resíduos e melhorar a biodisponibilidade e aproveitamento dos nutrientes disponíveis nesta fruta, tendo como destaque a banana verde (JANG, 2015, ANYASI, 2013, ZANDONADI, 2012), além de oferecer e agregar opções alimentares maiores. A banana verde para a indústria alimentar é praticamente aproveitada por completo, a folha para produção de papéis, o caule para produção de telhas, a casca, rica em fibras, serve para preparação de quibes, cuscuz, bobó de camarão, vatapás e outros pratos típicos, pudins, mingaus de fibras, pastéis e sopas, além da polpa (biomassa) que tem demonstrado extrema importância e com bastantes aplicações na alimentação (ARRUDA, 2002). Além disso a banana verde possui uma vida útil muito mais longa e considera-se uma matéria ideal para ser industrializada (LAJOLO; MENEZES, 2009).

Em setembro de 2003, foi criada a Associação Brasileira de Fomento à Banana Verde (AFBV), para difundir o uso da banana verde ou a biomassa, como nova fonte na produção de alimentos e com a proposta de combater a fome, a desnutrição e o desperdício na produção da fruta além de unir vários segmentos da sociedade, produção, agricultura, serviços, pesquisadores e consumidores, para alavancar e expandir o Agronegócio (ABERC, 2003).

Zandonadi (2012), usou a banana verde como ingrediente na utilização de pastas, para utilização de dietas livre de glúten, o qual obteve resultados promissores, concluindo que os pacientes podem se beneficiarem ao ingerir uma preparação com um melhor perfil nutricional que é feito de um produto alimentar produzido e consumido no mundo todo. Assim também a banana verde é considerada um subproduto de pouco valor comercial e industrial insignificante tornando-se vantajoso, pois a doença celíaca tem um alto impacto financeiro, custo pessoal e governamental, assim por tanto poderá usar-se ingredientes mais saudáveis e mais econômicos, representando no final uma redução de custos. Já para produtores de banana e fabricantes de massas alimentícias, isso representa a possibilidade de diversificar e expandir seu mercado.

O amadurecimento da banana foi classificado em sete estágios de acordo com a cor da casca por Von Loesecke (1950) como apresentado na Figura 1, onde se mostra desde a cor verde até a cor amarela com machas marrons.

Figura 1 - Classificação da banana verde segundo escala de maturação



Fonte: Adaptado de Von Loesecke (1950).

Também foram investigadas por Lii et al. (1982), as mudanças no amadurecimento de bananas, que relacionaram o conteúdo de amido, açúcares redutores, não-redutores e a temperatura de gelatinização em sete estágios conforme a cor da casca representadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição aproximada de bananas a diferentes estágios de maturação, classificadas pela cor da casca

Estagio	Cor da casca	Amido (%)	Açúcares redutores (%)	Sacarose (%)	Temperatura de gelatinização (%)
1	Totalmente verde	61,7	0,2	1,2	74-81
2	Verde com traços amarelos	42,4	10,8	18,4	77-81
3	Mais verde que amarelo	39,8	11,5	21,4	75-78
4	Mais amarelo que verde	37,6	12,4	27,9	76-81
5	Amarelo com as pontas verdes	9,7	15,0	53,1	76-80
6	Todo amarelo	6,3	31,2	51,9	76-83
7	Amarelo com áreas marrons	3,3	33,8	52,0	79-83

Fonte: Lii et al. (1982).

O sabor é um dos atributos de qualidade com maior relevância. A polpa verde é caracterizada por uma forte adstringência determinada pela presença de compostos fenólicos solúveis, principalmente taninos, à medida que a banana amadurece, ocorre polimerização desses compostos, tendo como consequência a diminuição na adstringência e o aumento da doçura e redução da acidez (VILAS BOAS et al., 2001). Outro ponto de destaque em relação a banana verde é a que a mesma possui no máximo 2% de açúcares e grande quantidade de amido, que durante o processo de amadurecimento transforma-o quase todo em açúcares (sacarose, glicose e frutose) (EERLIGEN, 1995), sendo considerada do ponto de vista bioquímico um alimento energético e rico em amido (MASTRO, 2007).

Segundo Medina (1995), a banana verde é rica em sais minerais, contendo baixa quantidade de açúcares (0,2-1,5%) e alto teor de amido (15-22%), além também de existir presença de B6, B1 e PP (BORGES e GODOY, 2000). Em geral, a maior quantidade de sais minerais nas frutas estão presentes no fruto ainda verde, sendo os principais o potássio, o fósforo, o cálcio, o sódio e o magnésio, apresentando ainda ferro, manganês, iodo, cobre, alumínio e zinco (MASTRO, 2007).

De acordo com estudo de Mota, Lajolo, Cordenunsi e Ciacco. (2000), a farinha de banana verde, contem teor de cinzas bastante alto (mais de 2%) e baixo teor de lipídios (menos de 1%). A faixa obtida foi 4,33 e 10,52% de fibra dietética insolúvel (incluindo celulose, hemicelulose e lignina), 2,90 e 4,59% de proteína e 3,29 e 5,61% de pectina. A banana verde é rica em antioxidantes, incluindo flavonoides e vitaminas A e C, e também em amido resistente, que pode apresentar efeitos positivos para a saúde em relação ao índice de glicemia, redução do colesterol e capacidade de fermentação no cólon humano. Portanto, o consumo regular de banana verde pode fornecer efeitos benéficos à saúde, (FAO, 2011b; LEHMANN et al., 2002).

A Tabela 3 traz uma comparação de valores com respeito a composição nutricional de banana em estágio verde e madura. A partir dos dados, observa-se que em relação a valores vitamínicos, a banana verde apresenta um bom potencial para a sua utilização como fonte de vitaminas (BORGUES, 2003). Além de também de ser fonte de proteínas, como a albumina e a globulina, e fonte de aminoácidos como a asparagina, glutamina e histidina, sendo um importante componente na alimentação em todo o mundo (ADÃO e GLÓRIA, 2005).

Tabela 3 - Composição nutricional em 100g da banana de água madura e verde crua

Composição	Banana madura	Banana verde
Calorias	95 kcal	122 kcal
Carboidrato	22g	28,7g
Lipídios	0,20 g	0,20g
Proteína	1,30g	1,40g
Vitamina A (retinol)	23 µg	25 µg
Vitamina B1 (tiamina)	57 µg	40 µg
Vitamina B2 (Riboflavina)	80 µg	76 µg
Niacina	1,180 mg	0,446 mg
Vitamina C	6,4 mg	16,9 mg
Cálcio	21 mg	8 mg
Ferro	1,06 mg	0,90 mg
Fósforo	26 mg	35 mg

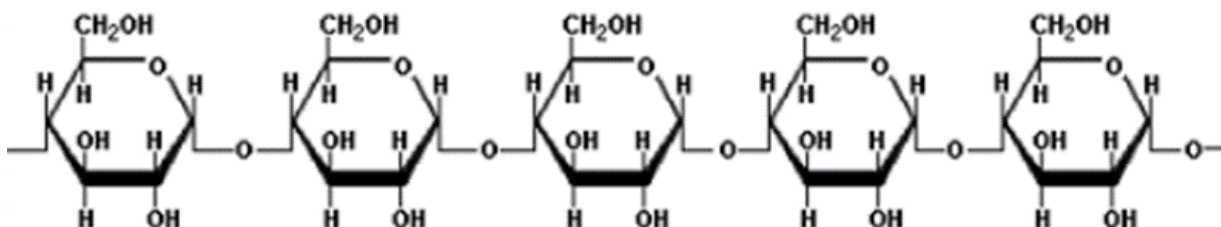
Fonte: Franco (2015).

A banana verde possui quantidades razoáveis de vitaminas A, B1 e B2, pequenas quantidades de vitaminas D e E, e contém vitamina C quanto a maçã. Em relação aos minerais, apresenta maior porcentagem de potássio, cálcio, fósforo e ferro quando comparado a maçã e laranja (FASOLINI et al., 2007).

2.3 AMIDO

O amido possui fórmula geral $(C_6H_{10}O_5)_n$, e apresenta-se de duas formas: α -amilose e amilopectina. A α -amilose consiste de cadeias longas sem ramificações, onde todas as unidades de D-glicose estão ligadas na forma de ligações α (1-4), como pode ser visto na Figura 2 (LEHNINGER, 1970).

Figura 2 - Estrutura linear da α -amilose

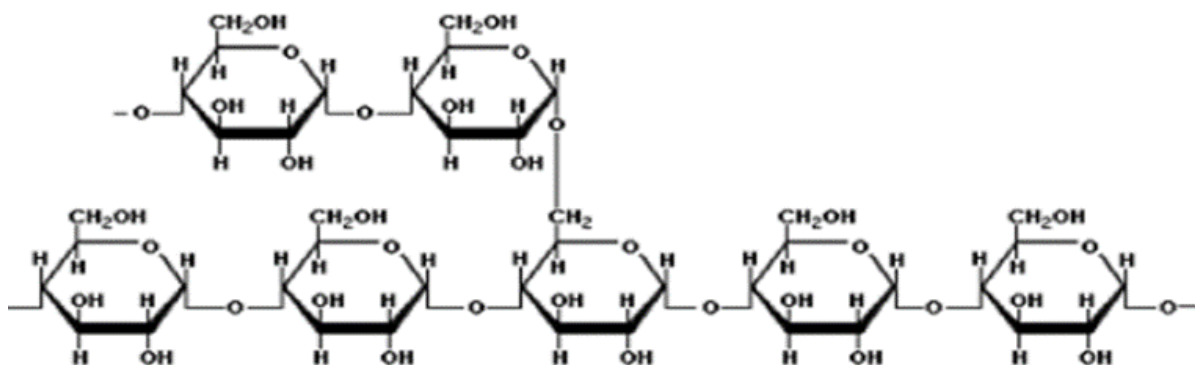


Fonte: ZAMORA (2013).

A amilopectina é altamente ramificada, cada ramificação consta de, aproximadamente 12 unidades de glicose. A cadeia polissacarídica principal apresenta ligações α (1-4), no entanto, nas ramificações as ligações são do tipo β (1-6). A amilopectina também forma

soluções coloidais, e seu peso molecular pode chegar a 106, como pode ser visto na Figura 3 (LEHNINGER, 1970).

Figura 3 - Estrutura ramificada da amilopectina



Fonte: ZAMORA (2013).

O grânulo de amido possui um alto grau de organização molecular, característica responsável pela birrefringência quando visto microscopicamente sob luz polarizada, e cristalinidade, que pode ser observada pela cruz de malta, o que caracteriza a orientação radial das macromoléculas (TESTER; KARKALAS; QI, 2004). No estado nativo a molécula de amido apresenta característica insolúvel em água fria, grânulos parcialmente cristalinos e morfologia, composição química e estrutura molecular. Existe uma variação de tamanhos e formatos que aliadas ao arranjo dos componentes nas regiões amorfas e cristalinas influenciam fortemente nas propriedades funcionais dos grânulos de amido (BELLO-PÉREZ et al., 2006b *apud* ALMEIDA, 2013).

Classificaram-se grânulos grandes com diâmetro maiores que 25 μm , médios com valores entre 10 e 25 μm , pequenos entre 5 e 10 μm e bem pequenos com tamanhos menores que 5 μm . Geralmente, o tamanho granular se refere à média do comprimento do maior e menor eixo, mas também pode ser expresso pelo diâmetro maior, pelo volume do grânulo ou pela área superficial. O conteúdo de amilose é mais alto em grânulos maiores, entretanto, o conteúdo de lipídeos é mais elevado em grânulos menores (LINDEBOOM, CHANG E TYLER, 2004).

O amido, principal constituinte da polpa da banana imatura, varia cerca de 15 a 25 % na banana 'Prata', reduzido na polpa madura para 2,10 a 3%. Da hidrólise do amido provêm os açúcares solúveis, que são na maior parte glicose, frutose e sacarose, atingindo teores de 20% na banana madura (VILAS BOAS; CHITARRA; CHITARRA,1996). Tester et al. (2004) observaram por meio do método de Microscopia Eletrônica de Varredura que os grânulos de amido de banana verde apresentam uma superfície lisa e densa, aspecto este que pode contribuir para sua resistência.

2.3.1 Amido Resistente

De acordo com a velocidade com o qual o alimento é digerido *in vitro*, o amido divide-se em: rapidamente digerível, quando ao ser submetido à incubação com α -amilase pancreática e amiloglicosidase a 37 °C, converte-se em glucose em 20 minutos; lentamente digerível, se nas condições anteriores é convertido em glucose em 120 minutos e amido resistente (AR), quando resiste à ação das enzimas digestivas (ALMEIDA, 2009).

O amido resistente pode ser dividido em três tipos: o tipo 1, que representa o grânulo de amido fisicamente inacessível na matriz do alimento, fundamentalmente por causa das paredes celulares e proteínas, pertencendo a este grupo grãos inteiros, ou parcialmente moídos, de cereais e leguminosas; o tipo 2, presente na batata crua e banana verde, refere-se aos grânulos de amido nativo encontrados no interior da célula vegetal, apresentando lenta digestibilidade devido às características intrínsecas da estrutura cristalina dos seus grânulos; e o tipo 3 (presente em alimentos como batata cozida resfriada, pão e em amido modificado hidrotermicamente) consiste em polímeros de amido retrogradado (principalmente amilose), produzidos quando o amido é resfriado após a gelatinização (LEONEL, 2009).

O amido resistente geralmente é encontrado como componente do alimento, formado durante seu processamento ou como ingrediente contendo amido resistente. O objetivo de incluir ingrediente com alto teor de amido está relacionado com a funcionalidade física, estabilidade de processamento e funcionalidade nutricional.

Os benefícios do uso do amido resistente vem sendo estudada e ganhando espaço, já que contem vantagens para dietas que incluem este componente, assim diversos estudos vêm sendo focados na sua utilização, como é o caso dos estudos para diabéticos, no qual foi possível comprovar que o amido resistente diminui os níveis de glucose sanguínea. Uma pesquisa conduzida por Brouns et al. (2007), mostrou que de 20 pessoas que tomaram bebida com 50 g de maltodextrina retrogradada (AR tipo 3) mostraram redução de 59% nos níveis de glucose sanguínea ao passo que ao que tomaram bebida controle, apresentaram redução de 35%.

O amido de banana tem sido pesquisado com maior ênfase a partir da introdução do conceito de amido resistente. Segundo Carmo (2015) os inúmeros estudos com respeito ao amido presente na banana têm principalmente relação a presença de grandes quantidades de amido resistente, o qual por não ser digerido no intestino delgado, produzindo efeitos benéficos atribuídos à fibra alimentar no Trato gastrointestinal. Um estudo conduzido no Brasil, por Cardenette (2006), mostrou que a ingestão de produtos derivados de banana verde como farinha e massa de banana verde aumentaram a resposta glicêmica em humanos, indicando a

importância do amido resistente na prevenção de doenças crônicas não-transmissíveis como a diabetes tipo 2.

A porção de amido e produtos do amido que resistem à digestão no intestino delgado é descrita como amido resistente. A banana verde é rica neste amido (TEIXEIRA et al., 1998). Os grânulos de amido de banana verde apresentam estrutura que impedem a ação das enzimas reduzindo assim, a taxa de hidrólise (IZIDORO, 2009). Este tipo de amido pode ser usado como ingrediente em produtos que requerem tanto baixa retenção de água e gordura, melhorando características como, por exemplo, a crocância do produto. Assim como, pela quantidade de amido resistente, permite sua aplicação como fonte de fibra alimentar, sendo bastante resistente à digestão, proporcionando melhor textura ao produto comparado às fibras (IZIDORO, 2011), há a ocorrência de diferenças consideráveis em relação ao teor de amido resistente presentes nas farinhas obtidas a partir de diferentes cultivares, conforme a Tabela 4 (RAMOS, LEONEL E LEONEL, 2009).

Tabela 4 - Teor de amido resistente nas farinhas de banana verde dos diferentes cultivares

Cultivar	Amido resistente (%)
Nanicão	10,40
Nam	40,25
Thap maeo	10,83
Caipira	10,76
Maçã	20,74
Ouro	10,35
Prata anã	20,43
Prata zulu	20,07
Grande naine	10,19
Maçã tropical	10,74

Fonte: Adaptado de Ramos, Leonel e Leonel (2009).

De acordo com Ranieri et.al. (2014) o amido resistente da biomassa da banana verde é fermentado no intestino pelas bifidobactérias colônicas, as quais secretam vitaminas e ácidos graxos, que estimulam o próprio desenvolvimento e inibe ação de outros microrganismos patogênicos, conferindo assim imunidade ao intestino e prevenindo infecções intestinais além de prevenir desenvolvimento de doenças inflamatória do cólon, como a diverticulite e até mesmo o câncer intestinal.

2.3.2 Gelatinização do amido

Como o amido é considerado um produto de grande potencial, tanto para a alimentação humana e animal, quanto para a utilização nas indústrias, faz-se necessário o conhecimento de suas propriedades. A sua estrutura macromolecular, lhe confere propriedades particulares, tais como solubilidade, inchamento, absorção de água, viscosidade e poder de gelatinização (RIBEIRO, 2006). Dando destaque para gelatinização Leach; Mccowen; Schoch (1959), em seus estudos afirmaram que o poder de inchamento dos grânulos, que pode ser determinado pelo aquecimento da amostra de amido em excesso de água, é definido como o peso do sedimento inchado por grama de amido. Segundo Ciacco; Cruz (1982), a consequência direta do intumescimento é o aumento da solubilidade, claridade, e viscosidade da pasta de amido. Acima da temperatura de gelatinização o processo de expansão é irreversível devido a perda da estrutura cristalina no gel expandido.

A aplicação de amido no processamento de alimentos é muito comum, para isso é necessário que o mesmo seja suspenso em água e submetido ao aquecimento (DAIUTO, 2005). Ao se aumentar a temperatura, as moléculas de amido vibram com força, rompendo as ligações intermoleculares, estabelecendo ligações de hidrogênio com água e provocando inchamento acompanhado do decréscimo do número e tamanho das regiões cristalinas, como demonstram a perda de birrefringência e natureza de difração de raios X assim nesse momento, a viscosidade da solução aumenta consideravelmente, já que, com o inchamento, os grânulos aderem uns aos outros. Dessa forma, a solução pode inclusive adquirir o aspecto de uma pasta quando se prolonga o tratamento térmico, na qual os grânulos exercem fortemente uns contra os outros e podem até romper-se quando se agita a solução diminuindo a viscosidade. Com isso, desaparece a birrefringência, e tem-se o chamado ponto ou temperatura de gelatinização (PEREDA et al., 2005).

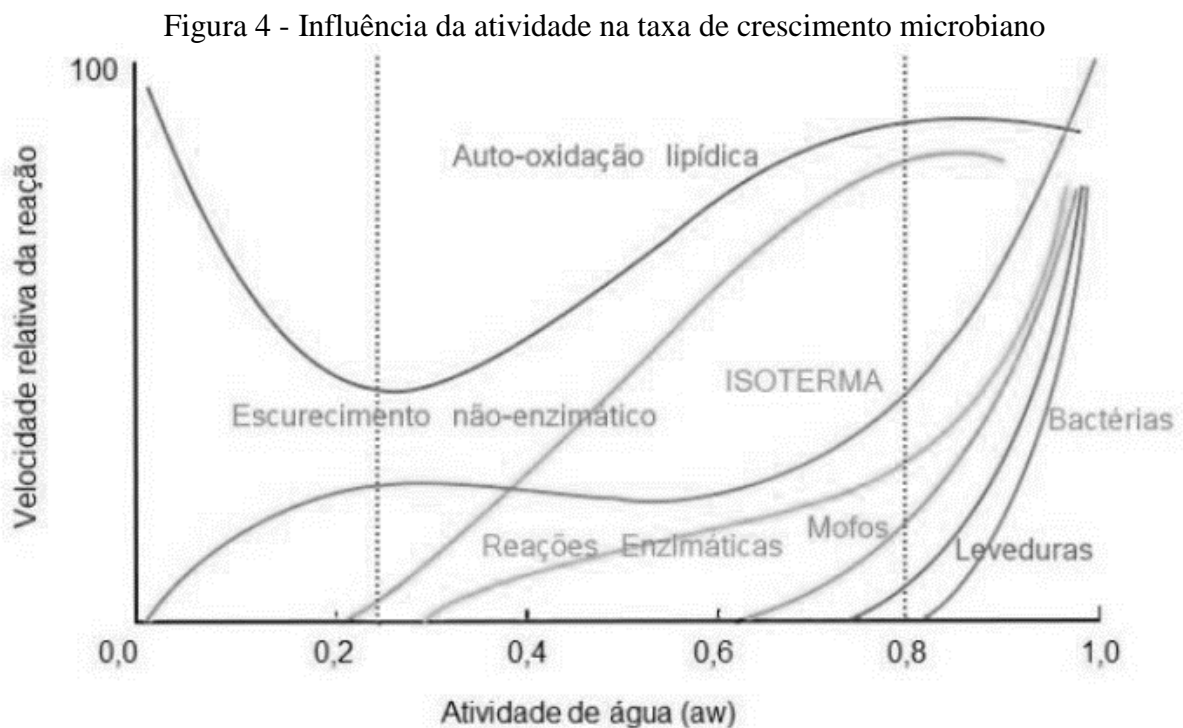
2.4 UMIDADE E ATIVIDADE DE ÁGUA

O teor de umidade define-se como a medida da quantidade total de água contida num alimento (água total), e é geralmente expresso como uma porcentagem (%) do peso total. É uma das medidas analíticas mais importantes, sendo utilizada no processamento e testes de produtos alimentícios, tendo importância direta para processador e consumidor; qualidade do alimento; estabilidade do alimento; uniformidades de resultados; valor nutritivo e especificações de padrões de identidade e qualidade do produto (CUNHA, 2016).

A atividade da água (a_w) é uma grandeza adimensional que informa a quantidade de água retida no interior de um alimento disponível para reações químicas e enzimáticas indesejáveis, variando de zero (ausência de água livre) até um (alimento saturado de água); ela é definida como a razão entre a pressão de vapor da água no alimento (P) e a pressão de vapor da água pura (P_o), na mesma temperatura, como pode ser visto na Equação (1).

$$a_w = P/P_o \quad (1)$$

A atividade da água está intimamente relacionada com a capacidade de proliferação de microrganismos, sendo utilizada, portanto, no cálculo da vida de prateleira de alimentos (ROSA et al., 2010; YAN et al., 2012). O conteúdo de água de um alimento não é indicativo real de sua estabilidade, pois a água livre contida no produto pode estar associada aos constituintes não aquosos, com diferentes graus de intensidade. As moléculas fortemente ligadas aos solutos dos alimentos são menos suscetíveis, ou propensas, para participar de reações de degradação do que as moléculas de água fracamente ligadas (MORAES, 2015). A Figura 4, mostra como mofo, levedura, bactérias crescem nos alimentos quando a atividade da água é alta.



Fonte: Adaptado de LABUZA (1975).

Segundo Ribeiro e Seravalli (2007), a distribuição da posição da água nos alimentos ocorre de três formas: água constitucional que representa uma pequena fração da água presente

em alimentos com alto teor de umidade é também a água ligada mais fortemente aos constituintes não aquosos do alimento, através de ligações iônicas, podendo ser imaginada como sendo a primeira camada de água adjacente aos constituintes não aquosos do alimento (sólidos). A água vicinal é a que representa a próxima camada de água adjacente à água constitucional, a qual ocupa os sítios mais próximos da maioria dos grupos hidrofílicos presentes nos constituintes não aquosos e, por último, tem-se a água de multicamadas que representa a água ligada em menor intensidade que a água vicinal, esta seria a água ligada de forma mais fraca aos constituintes não aquosos do alimento, mas que ainda possui uma intensidade de ligação com os solutos que não lhe permite comportar-se como água pura.

Labuza (1970) também fez uma classificação da distribuição de três formas que a água está ligada ao alimento: água livre que está presente nos espaços inter granulares e entre os poros do material e é eliminada com facilidade. Já a água adsorvida que é uma parte da água que está adsorvida como uma camada muito fina nas superfícies internas e externas dos coloides macromoleculares (amidos, pectinas, celulosas e proteínas) por meio de Força de Van der Waals e formação de ligação hidrogênio, assim por último, o autor classificou como a água ligada que está combinada quimicamente com outras substâncias. Este tipo de água não é utilizado como solvente, não permite o desenvolvimento de microrganismos e é difícil de ser eliminada.

Se a umidade de equilíbrio e a isoterma de sorção de água de um dado alimento são conhecidas, pode-se determinar facilmente o valor da atividade da água (MUSSOI, 2015).

2.5 ISOTERMAS DE SORÇÃO

A determinação da atividade de água é uma das medidas mais importantes no processamento e na análise dos materiais biológicos, devido a sua importância no que diz respeito à qualidade e estabilidade (BIN, BROD, 2001). As isotermas de sorção é a relação entre a atividade de água (ou a umidade relativa do meio) e a umidade do alimento em equilíbrio com o meio, a uma determinada temperatura podendo representar a perda (dessorção) ou o acréscimo (adsorção) de umidade do material em função da umidade relativa do meio em que este se encontra (PEZZUTI e CRAPISTE, 1997; FENNEMA, 1993), que pode ser representado através de um gráfico como na Figura 5.

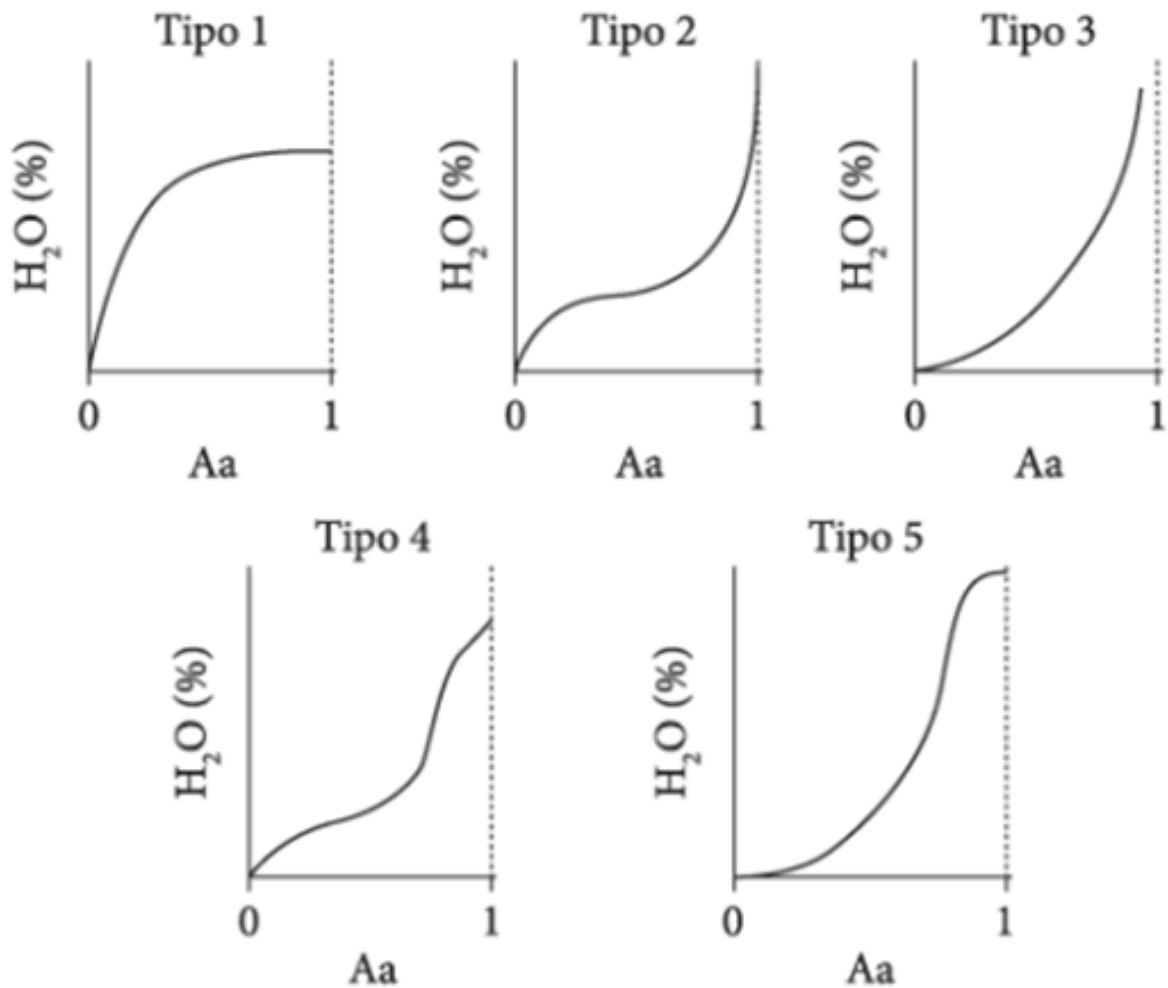
Figura 5 - Isoterma de adsorção e de dessorção típica de alimentos



Fonte: BRUNAUER et al. (1940).

Esses gráficos trazem informações relevantes para processos de concentração, secagem e hidratação de alimentos, já que a facilidade de retirar e adicionar água está diretamente relacionada com a atividade de água, outras informações que estes gráficos trazem são dados para verificar e acompanhar a estabilidade de produtos alimentícios, principalmente durante o armazenamento. Usualmente a dessorção está relacionado com higroscopia e a adsorção com secagem (MORAES,2015). As isoterma de sorção foram classificadas por Brunauer et al. (1940) de acordo com a sua forma, estabelecendo cinco diferentes tipos apresentados na Figura 6.

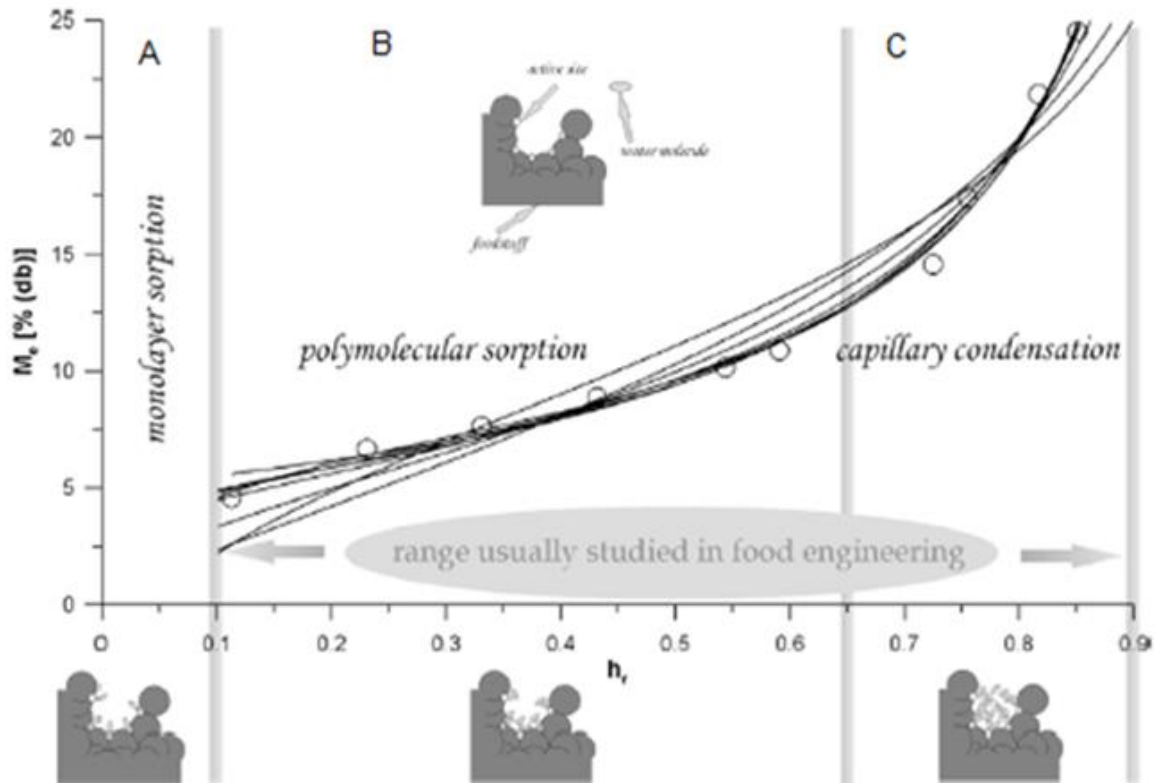
Figura 6 - Tipos de isotermas de acordo com Brunauer



Fonte: FENNEMA (1993).

A forma de uma isoterma de sorção depende da estrutura e composição do material, bem como pressão e temperatura, e que exige determinação experimental, já que alguns métodos não são capazes de simular sistemas tão complexos como os de alimentos (MORAES,2015), segundo classificação de BET (BRUNAUER et al., 1940; HADRICH et al. 2008), a distribuição da água pode ser dividida em três regiões representado na Figura 7.

Figura 7 - Representação esquemática dos três estágios de mecanismo de sorção em alimentos



Fonte: Adaptado de FUMANIAK et al. (2009).

Com base na Figura 7, a Região A, de baixa atividade de água, controlada pela sorção físico-química. Nesta região, a água está mais fortemente ligada com uma entalpia maior que a da água pura, geralmente, nesta região a água não é capaz de congelar e não está disponível para reações químicas ou plastificantes, Região B, de atividade de água intermediária, onde ocorre a sorção pelas multicamadas. Nesta região, as moléculas de água que são menos firmemente ligadas, estando disponível como solvente para solutos de baixa massa molar e para algumas reações bioquímicas, Região C, de alta atividade de água. Nesta região há excesso de água nos macroporos ou como parte da fase fluida em materiais com elevado conteúdo de umidade (ORDÓÑEZ-PEREDA et al., 2005; SINGH et al., 2006; YANNIOTIS & BLAHOVEC, 2009).

Diferentes modelos matemáticos são avaliados pela literatura para serem utilizados a fim de descrever o comportamento da umidade de sorção em alimentos. Muitos destes modelos são baseados em teorias de mecanismo de sorção, outros são empíricos ou semi-empíricos (KAYMAK e GEDIK, 2004).

2.5.1 Modelagem Matemática de Isotermas de Sorção

Segundo Lomauro et al. (2006), o modelo GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) consegue representar com grande precisão mais de 50% das isotermas de frutas, vegetais e carnes. Mas ele não é adequado para os casos onde a_w é superior a 0,9 (BLAHOVEC E YANNIOTIS, 2008), quando os parâmetros k e C são inferiores a 0,24 e 5,67, respectivamente e em casos onde não se há mais uma representação correta da forma sigmoidal da isoterma e o valor de umidade de equilíbrio, apresentando um erro relativo superior a 15,5% (LEWICKI, 1997). Quando $k = 1$, o modelo GAB se reduz ao clássico modelo BET de adsorção, proposto por Brunauer et al. (1940).

2.6 PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS

As propriedades termodinâmicas são calculadas através de isotermas de sorção, e as principais funções são aquelas que quantificam as entalpias e entropias diferenciais e integrais, fundamentais na análise da exigência energética e predição dos parâmetros cinéticos nos processos de sorção (KAYA & KAHYAOGU, 2006). Algumas funções termodinâmicas utilizadas na análise do comportamento de sorção de sistemas biológicos incluem: calor total de sorção (Q_{st}), o calor isostérico líquido de sorção (q_{st}) ou entalpia diferencial (Δh_d), entropia diferencial (ΔS_d) e teoria isocinética (FASINA, 2006; POLATGLU et al., 2010).

A entalpia diferencial de sorção remete a uma estimativa da força de ligação água-sólido. Já a entropia diferencial de um material é proporcional ao número de sítios de sorção a um nível específico de energia. O calor de sorção de água é importante para a modelagem de vários processos em alimentos e estocagem dos mesmos, bem como para o projeto de equipamento de muitos processos (DELGADO e SUN, 2002).

O calor isostérico de sorção líquido (q_{st}) ou entalpia diferencial de sorção (Δh_d) é definida como a diferença entre o calor total de sorção (Q_{st}) e o calor latente de vaporização da água (λ). Este pode ser determinado através da Equação (2) que é derivada da equação de Clausius-Clapeyron (RIZVI, 1995 *apud* MORAES, 2015), onde a_w é a atividade de água, T é a temperatura absoluta (K), R é a constante universal dos gases ($8,31 \times 10^{-3}$ kJ/mol.K), e λ é o calor latente de vaporização da água (kJ/mol).

$$\left. \frac{\partial \ln(a_w)}{\partial (1/T)} \right|_{X_e} = \frac{Q_{st} - \lambda}{R} = \frac{q_{st}}{R} = \frac{\Delta h_d}{R} \quad (2)$$

A mudança na entropia diferencial molar de dessorção pode ser calculada através da equação de Gibbs-Helmholtz (Equação (3)) como utilizado por Rizvi (1995) *apud* Moraes (2015).

$$\Delta S_d = \frac{\Delta h_d - \Delta G}{T} \quad (3)$$

A energia livre de Gibbs (ΔG) é uma função termodinâmica de estado que representa a quantidade máxima de energia liberada em um processo, ocorrendo à temperatura e pressão constantes. É influenciada por duas propriedades termodinâmicas relacionadas com a espontaneidade da reação, assim quando o processo é espontâneo, tem-se entropia positiva e entalpia negativa e, conseqüentemente, energia livre de Gibbs negativa. Por outro lado, quando a entropia é negativa e a entalpia é positiva, a energia livre de Gibbs necessariamente é positiva e não espontânea. A energia livre de Gibbs é obtida pela Equação (4).

$$\Delta G = -RT \ln(a_w) \quad (4)$$

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA

A matéria prima foi obtida de um distribuidor local de Cruz Alta, onde se escolheu a banana de variedade nanica ou também conhecida como caturra (*Musa cavendish*) no estágio de maturação verde e antes de entrar na câmara de maturação, o padrão de escolha foi baseado na coloração da casca sendo considerados só as bananas que apresentam coloração totalmente verde. Após isso obteve-se a polpa de acordo com Moraes (2015), onde a fruta foi descascada, picada e processada em multiprocessador com 1% de massa de bissulfito de sódio, que tem a finalidade de evitar o escurecimento enzimático.

3.2 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

Caracterizou-se a banana verde quanto sua composição centesimal usando as metodologias da AOAC (2000) números 950.46, 920.153 e 928.08, respectivamente, e a polpa foi caracterizada através da análise de umidade, as cinzas e as proteínas. A quantificação de lipídios foi realizada de acordo com o método Bligh & Dyer (1959), e os carboidratos foram obtidos por diferença.

3.2.1 Umidade

A umidade foi determinada de acordo com a técnica gravimétrica, onde se usou o calor de estufa ventilada à temperatura de 105°C por 3h, até obter um peso constante. Após isso realizou-se o devido cálculo de acordo com a equação 5. (AOAC, 2000).

$$\text{Umidade(\%)} = \frac{(W1 - W2) \times 100}{W1} \quad (5)$$

Onde: W1 é peso em gramas antes da secagem e W2 é o peso em gramas após secagem

3.2.2 Proteína bruta

Determinou-se proteína bruta através do método de nitrogênio usando o fator geral de 6,25 e realizando com o método de kjeldah, após isso prosseguiu-se o cálculo do teor de proteína bruta com a equação abaixo. (AOAC,2000).

$$\text{Proteina(\%)} = \frac{(A - B) \times N \times 1.4007 \times 6.25}{W} \quad (6)$$

Onde:

A= volume (ml) de 0,2 N HCl usada na titulação da amostra

B= volume (ml) de HCl 0,2 N usado na titulação em branco

N= Normalidade de HC

1.4007= Peso atômico do nitrogênio

6,25 = fator de conversação proteína-nitrogênio

3.2.3 Cinzas

Realizou-se gravimetricamente, avaliando a perda de peso do material submetido ao aquecimento em mufla a 550°C e calculou o valor através da equação abaixo (AOAC, 2005 *apud* HAN, 2019, AOAC,2000).

$$\text{Cinza(\%)} = \frac{\text{Peso de cinzas} \times 100}{\text{Peso de amostra}} \quad (7)$$

3.2.4 Lipídios

Determinou-se lipídeos por extração com clorofórmio, metanol e água na proporção de 5:10:2 (v/v) na centrifuga, numa velocidade de 9.500 rpm por 1 min a 4°C (BLIGH & DYER, 1959).

3.2.5 Carboidratos

Os carboidratos foram calculados pela diferença, de acordo com a equação abaixo:

Carboidratos (%) = 100 - (% umidade + % lipídios + % proteína bruta + % fração cinzas), considerando a matéria integral.

3.3 ISOTERMAS DE SORÇÃO

As isotermas foram determinadas segundo Moraes (2008) e Oliveira.et.al (2009). Determinou-se as isotermas de dessorção nas temperaturas de 50, 60, 70 °C, usando o método gravimétrico para determinar a umidade equilíbrio, os experimentos das isotermas foram realizados em onze frascos de vidro de 7 cm de altura e 6 cm de diâmetro, hermeticamente fechados, garantindo uma atmosfera constante (MORAES, 2015). De acordo com Perry (1984) no interior de cada frasco havia soluções de ácido sulfúrico em onze concentrações variando de 0,20 - 0,70 kg/kg, garantindo a variação de atividade de água de 0,055 a 0,890 como é apresentado na tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Valores de atividade de água, para várias concentrações de ácido sulfúrico, em diferentes temperaturas

Concentração H ₂ SO ₄ (kg/kg)	Temperatura		
	50°C	60°C	70°C
	aw		
0,20	0,888	0,890	0,885
0,25	0,829	0,830	0,834
0,30	0,770	0,776	0,770
0,35	0,681	0,682	0,680
0,40	0,582	0,584	0,590
0,45	0,483	0,488	0,496
0,50	0,380	0,388	0,395
0,55	0,281	0,287	0,297
0,60	0,189	0,196	0,205
0,65	0,110	0,124	0,124
0,70	0,055	0,061	0,066

Fonte: MORAES (2011)

Nos experimentos de isotermas de dessorção foram utilizados 3g de polpa de banana verde que foram colocadas em um apoio de PVC (Poli cloreto de vinila) dentro de cada frasco de vidro, logo os frascos foram mantidos na incubadora por um tempo com temperatura controlada de 50, 60, 70°C até que se atingiu o peso constante, que foi medido a cada dois dias na balança eletrônica com precisão de 0,001g, sendo que a condição de equilíbrio foi alcançada quando as diferenças entre as três medidas sucessivas foram de 0,001g, onde foi realizada a

análise de umidade na estufa a 105 °C por 24 h para determinar a umidade de equilíbrio (MORAES, 2015).

3.3.1 Modelagem das isotermas

A umidade de equilíbrio (X_e) em função da atividade de água (a_w) obtidos foram ajustados por cinco modelos de isotermas de sorção de umidade. Os modelos GAB (Equação (8)) e BET (Equação (9)), e outros três modelos semi-empíricos e empíricos: Halsey (Equação (10)), Henderson (Equação (11)) e Oswin (Equação (12)) estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Modelos para determinação das isotermas de sorção

Modelo	Expressão matemática	Equação	Referência
GAB	$X_e = \frac{X_m \cdot C_G \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 - k \cdot a_w + C_G \cdot k \cdot a_w)}$	(8)	Timmermann et al., (2001)
BET*	$X_e = \frac{X_m \cdot C_B \cdot a_w}{(1 - a_w) \cdot (1 - a_w + C_B \cdot a_w)}$	(9)	Timmermann et al., (2001)
Halsey	$X_e = \left(\frac{-a_1}{\ln a_w} \right)^{1/b_1}$	(10)	Rosa et al., (2010)
Henderson	$X_e = a_2 [-\ln(1 - a_w)]^{b_2}$	(11)	Furmaniak et al., (2009)
Oswin	$X_e = a_3 \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^{b_3}$	(12)	Al-Muhtaseb et al., (2002)

Sendo que X_e é a umidade de equilíbrio (kg água/kg sólido seco), X_m é o conteúdo de umidade da monocamada (kg água/kg sólido seco), a_w é a atividade de água, a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , C_G , C_B e k , são parâmetros das equações; *modelo BET obtido em uma faixa de a_w de 0,05-0,450.

Para a obtenção dos parâmetros das isotermas foi desenvolvido uma regressão não-linear com os dados experimentais das isotermas de equilíbrio da polpa de banana verde usando o Software Statistica 6.0 (Statsoft, Inc., Tulsa, OK, USA), previstos nos parâmetros das Equações (8) - (12). Os parâmetros do modelo BET (Equação (9)) foram estimados com os dados experimentais em uma faixa de a_w 0,05-0,50. Para avaliar a qualidade do ajuste de cada modelo utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio relativo médio (DRM). O DRM é adotado na literatura para avaliar o ajuste dos modelos de isoterma e é definido

conforme Equação (13). Um valor de DRM < 10% é considerado um bom ajuste (MORAES et al. (2008), MORAES (2015)).

$$\text{DRM}(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|X_{ei} - X_{pi}|}{X_{ei}} \quad (13)$$

Onde X_{ei} e X_{pi} são os conteúdos de umidade de equilíbrio experimental e predita pelo modelo (kg/kg sólido seco) respectivamente e N é número de pontos experimentais.

3.4 CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS

A área superficial de sorção foi determinada a partir dos valores de umidade de monocamada X_m , que se mostra na Equação (14) (CASSINI et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2009; ROSA et al., 2010).

$$S_0 = X_m \cdot \frac{1}{PM_{H_2O}} \cdot N_0 \cdot A_{H_2O} = 3,5 \times 10^3 X_m \quad (14)$$

Onde S_0 é a área superficial de sorção (m^2/g), X_m é o conteúdo de umidade na monocamada (kg/kg, base seca), PM_{H_2O} é o peso molecular da água (18 g/mol), N_0 é o número de Avogadro ($6,0 \times 10^{23}$ moléculas/mol), e A_{H_2O} é a área de uma molécula de água ($1,06 \times 10^{-19} m^2$) sendo que a umidade de monocamada utilizada foi encontrada a partir do modelo GAB.

O calor isostérico de sorção líquido (Q_{st}) ou entalpia diferencial de sorção (Δh_d) foi determinado através da Equação (15). Onde a_w é a atividade de água, T é a temperatura absoluta (K), R é a constante universal dos gases ($8,31 \times 10^{-3}$ kJ/mol.K), e λ é o calor latente de vaporização da água ($\lambda_{50^\circ C} \cong 43,2$ kJ/mol).

$$\left. \frac{\partial \ln(a_w)}{\partial (1/T)} \right|_{X_e} = -\frac{Q_{st} - \lambda}{R} = -\frac{q_{st}}{R} = -\frac{\Delta h_d}{R} = \left[\ln \left(\frac{a_{w1}}{a_{w2}} \right) = -\frac{q_{st}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right]_{X_e} \quad (15)$$

Para o cálculo da entalpia diferencial de sorção (Δh_d) e entropia diferencial (ΔS_d), foram utilizados dez valores de umidade de equilíbrio, variando de 0,05 a 0,50 kg/kg sólido seco.

Segundo Moraes (2015) o calor isostérico de sorção é uma quantidade molar diferencial que é derivada da dependência da temperatura da isoterma, por esse motivo sua aplicação requer a medida de isotermas de sorção em duas ou mais temperaturas.

A mudança na entropia diferencial molar de dessorção foi obtida através da equação de Gibbs-Helmholtz (Equação 16) que foi usado por Rizvi (1995) *apud* Moraes (2015) e onde ΔG

é a energia livre de Gibbs (kJ/mol), que foi calculado segundo a Equação (17) (MADAMBA et al, 1996).

$$\Delta S_d = \frac{\Delta h_d - \Delta G}{T} \quad (16)$$

$$\Delta G = -RT \ln(a_w) \quad (17)$$

Como as mudanças de energia livre resultante da sorção de água são acompanhadas de mudanças na entalpia e entropia, substitui-se a Equação (17) na (16) e rearranjando-as tivemos a Equação (18). Onde a_w é a atividade de água, Δh_d é a entalpia diferencial de sorção (kJ/mol K), ΔS_d é a entropia diferencial de sorção (J/mol K), R é a constante universal dos gases ($8,31 \times 10^{-3}$ kJ/mol. K) e T é a temperatura absoluta (K).

$$-\ln(a_w) \Big|_{X_e} = \frac{\Delta h_d}{RT} - \frac{\Delta S_d}{R} \quad (18)$$

A entalpia diferencial ou calor de sorção líquido e a entropia diferencial de sorção foram obtidas no gráfico de $[-\ln(a_w)]$ vs $1/T$, para um conteúdo específico de umidade do material, e determinando a declividade ($\Delta h_d/R$) e intersecção da reta ($-\Delta S_d/R$). Assim o procedimento pode ser repetido a vários conteúdos de umidade, com o fim de estabelecer a dependência da Δh_d sobre o conteúdo de umidade (MORAES,2015). Segundo Mcminn et al. (2007) a teoria da compensação entalpia-entropia propõe uma relação linear entre Δh_d e ΔS_d apresentado na Equação (19).

$$\Delta h_d = T_\beta \Delta S_d + \Delta G_\beta \quad (19)$$

Com o gráfico de Δh_d vs ΔS_d , a temperatura isocinética (T_β) e a energia livre à T_β podem ser obtidas através de regressão linear (Equação (19)). Para validar a teoria da compensação a temperatura isocinética foi comparada com a média harmônica da temperatura (T_{hm}) (Equação (20)) sendo que o padrão de compensação linear somente existira se $T_\beta \neq T_{hm}$ (TUNÇ & DUMAN, 2007, OLIVEIRA et al., 2009, MORAES,2015). Onde n_i é o número total de isotermas e T é a temperatura (K). Se $T_\beta > T_{hm}$ o processo é controlado pela entalpia, mas se o processo for oposto é controlado pela entropia.

$$T_{hm} = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^{n_i} 1/T} \quad (20)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo se mostra os resultados das análises realizadas, onde se comparou os dados com a literatura nacional e internacional de isotermas de sorção em alimentos, analisando se os resultados obtidos estão de acordo ou não com os dados encontrados por outros autores. Primeiramente foi discutido a caracterização centesimal que mostra a umidade inicial do fruto para poder realizar e modelar as isotermas e no final analisar suas propriedades termodinâmicas.

4.1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

Os dados de composição centesimal da polpa da banana verde usadas no experimento estão apresentados na Tabela 7. Pode-se dizer que a banana é um alimento altamente energético, pois apresenta a quantidade cerca de 23% de carboidratos, dos quais 80% é representado por amido resistente. Embora pobre em proteínas e lipídeos, seus teores superam os da maçã, pêra, cereja ou pêsego. (FASOLINI et al., 2007).

Tabela 7 - Composição centesimal da polpa de banana verde

Composição	%
Umidade	75,61 ± 1,11
Cinzas	0,66 ± 0,02
Proteínas	1,23 ± 0,22
Lipídios	0,19 ± 0,01
Carboidratos	23,31

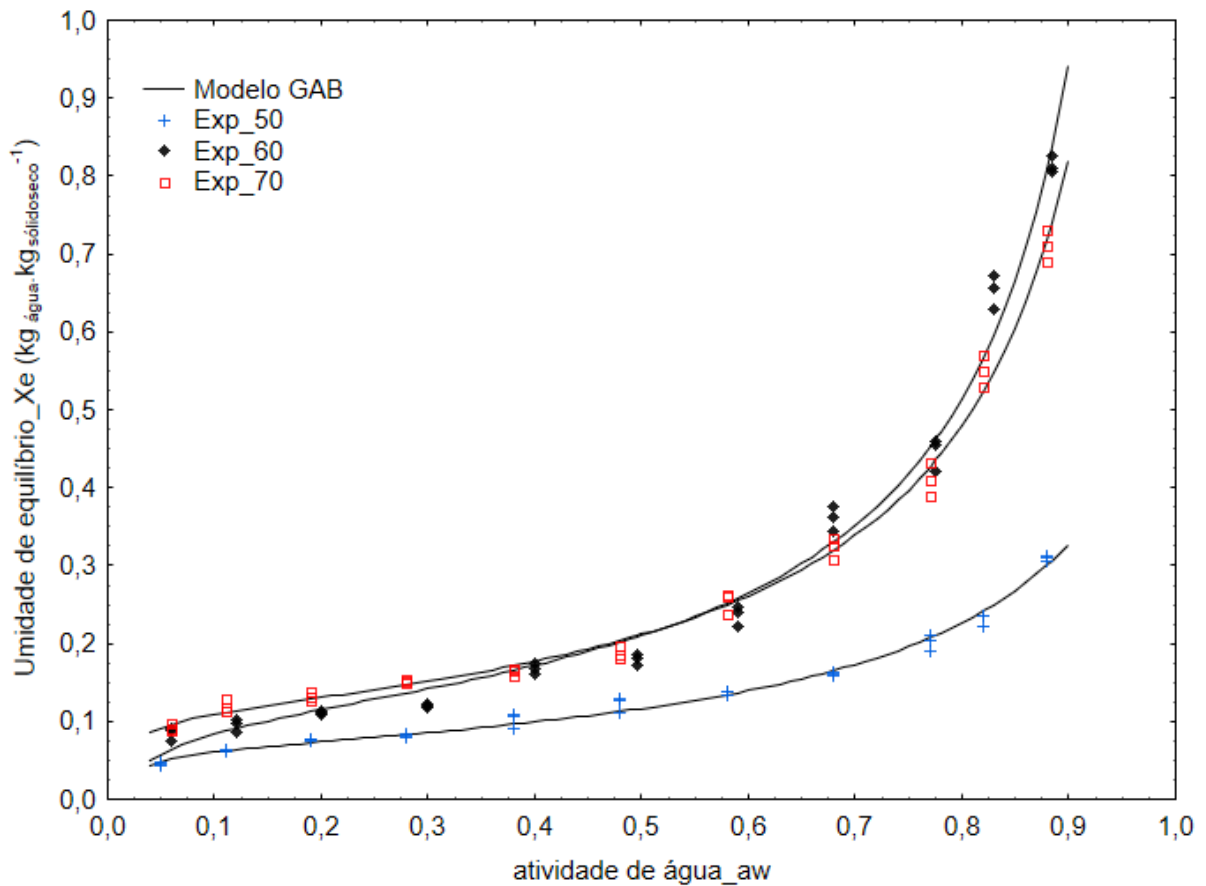
Fonte: Autora (2022).

Yuyama L.K.O (2000) realizou também um estudo do perfil de nutricional da banana pacovã no estágio verde, no qual encontrou valor de umidade de 63%, 1,17% de proteína, 0,93% de cinzas e 0,16% de lipídios. Sendo assim, os valores encontrados são similares aos descritos pelo autor. Feiber et.al.(2012) realizou a composição centesimal de três polpas misturadas sendo de abacaxi, couve, hortelã e maçã, onde encontrou que a umidade variava e 88,7 a 98,4%, este valor é maior ao valor encontrado na composição centesimal da polpa da banana verde, o teor de cinzas do estudo de Feiber et.al.(2012) foi de 0,16 a 0,45%, a banana verde possui maior quantidade de cinzas quando comparado a estes frutos; proteínas de 0,32 a 0,51%, a pesar de a banana verde possuir pouca quantidade de proteína ela é maior com respeito a maçã, abacaxi, couve e hortelã, os valores encontrados para os lipídeos foi de 0,15 a 0,26% sendo estar na faixa do valor encontrado no estudo, já o teor de carboidratos foi, 0,84 a 10,67% sendo menor o valor encontrado nestes frutos tornando assim mais energético a polpa de banana verde.

4.2 ISOTERMAS DE SORÇÃO

Na Figura 8 estão demonstrados os dados da isoterma de dessorção da polpa de banana verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. O conteúdo inicial de umidade da amostra de polpa (base úmida) é aproximadamente $75,6 \pm 1,1\%$.

Figura 8 - Dados das isotermas de dessorção à 50, 60 e 70 °C da polpa de banana verde



Fonte: Autora (2022).

Segundo a classificação de Brunauer *et al.* (1940), as isotermas de dessorção apresentam forma sigmoideal tipo II como apresentado na Figura (8), a qual é comum em isotermas de alimentos. É esperado que a umidade de equilíbrio assim como a umidade relativa passem por um decréscimo com o aumento de temperatura como encontrado na modelagem isotérmica de Chayjan (2010), que estudou a modelagem de calor isotérmico da soja ou como Thys, R.C.S. (2009) que levantou curvas dessorção em amido de pinhão. De acordo com os autores isso ocorre devido aumento de pressão de vapor de água, onde a elevação de temperatura faz com que as moléculas de água sejam ativadas devido ao nível de energia, tornando-as menos estáveis

e rompendo o sítio de ligação de água de produtos alimentares (FASINA, 2006). Não obstante no presente estudo este fenômeno ocorreu só em valores de a_w inferiores a 0,4, já que em temperaturas próximas 60 °C começa a gelatinização do amido. Moraes (2015) explica que isso dá-se por conta que nessa temperatura as moléculas desse polissacarídeo começam a vibrar mais intensamente fazendo que as ligações de hidrogênio intermoleculares quebrem, permitindo assim o ingresso de água nas micelas- zonas cristalinas. Dessa forma, altera-se a capacidade do amido reter água que fez que em a_w superior a 0,4 a umidade de equilíbrio a 60 °C foi superior as de 70 °C. Estudos de Cladera-Olivera (2008) sobre as isotermas de dessorção do pinhão alegaram que a temperatura tem pouco efeito nas isotermas de dessorção já que não conseguiram realizar o estudo, em baixas atividades de água.

Al-Muhtaseb et al. (2004b) explica que em amidos a isoterma é atribuída a ligações de hidrogênio das moléculas de água e grupamentos hidroxila disponíveis em regiões amorfas e nas superfícies cristalinas, estas superfícies apresentam resistência a penetração de solventes. Também assim defendem que a água afeta a estrutura do grânulo de amido, já que possui um efeito plastificante nas regiões amorfas, quando a plastificação ocorre em atividade de água baixa o efeito é restrito. No entanto, quando se tem valores maiores de atividade de água a úmida sorvida causa um inchaço no biopolímero reduzindo a cristalinidade e aumentando a disponibilidade de grupos polares para ligações com a água e gerando com o polissacarídeo uma solução.

Os parâmetros obtidos por regressão não linear das cinco relações entre umidade de equilíbrio e atividade de água do presente estudo, estão estabelecidas na Tabela 8. Segundo Moreira (2013) os desvios relativos menores que 10% indicam um ajuste do modelo aos dados experimentais, sendo assim os modelos GAB, BET, Halsey foram os que tiveram melhores resultados experimentais das amostras estudadas, já que apresentam desvios relativos menores (DRM) que 10% e coeficiente de determinação (R^2) > 0,91.

O modelo de GAB é considerado como uma das melhores equações que se ajusta em isotermas de produtos alimentícios (ALVES et al., 2015). Esta equação é adequada para atividade de água de 0,0 a 0,9, tem uma base teórica fundamentada (modelo cinético baseado em multicamada e filme condensado), além de apresentar três parâmetros simples que possuem significado físico de processo que descreve efeitos de temperatura na sorção (DE MOURA et al., 2004). Os parâmetros de Timmerman et al. (2001), são mais representativos que os parâmetros do modelo BET, quando a hipótese de monocamada de sorção das proteínas pode ser pensada, em termos de fixação na água para cada grupo polar das cadeias de aminoácido das proteínas

Tabela 8 - Parâmetros estimados para os modelos selecionados de equações de isoterma de sorção para polpa de banana verde

Modelo	Constantes	50°C	60°C	70°C
GAB	X _m	0,066±0,001	0,114±0,004	0,112±0,002
	C _G	48,36±14,46	18,05±8,141	70,77±34,16
	K	0,886±0,008	0,977±0,006	0,959±0,005
	DRM (%)	4,58	9,45	4,67
	R ²	0,99	0,98	0,99
BET	X _m	0,065±0,001	0,094±0,002	0,104±0,002
	C _B	38,76±7,37	72,10±29,69	155,95±103,9
	DRM (%)	5,27	5,72	5,79
	R ²	0,99	0,94	0,91
Halsey	a ₁	0,118±0,001	0,371±0,012	0,218±0,004
	b ₁	-0,558±0,009	-0,703±0,03	-0,698±0,014
	DRM (%)	4,87	27,67	7,26
	R ²	0,99	0,94	0,99
Henderson	a ₂	0,132±0,004	0,442±0,005	0,230±0,011
	b ₂	0,657±0,041	0,708±0,014	0,933±0,071
	DRM (%)	14,68	27,16	24,60
	R ²	0,94	0,99	0,93
Oswin	a ₃	0,125±0,002	0,212±0,007	0,226±0,007
	b ₃	0,426±0,012	0,659±0,021	0,557±0,021
	DRM (%)	8,11	15,92	15,54
	R ²	0,98	0,98	0,97

Sendo que X_m é o conteúdo de umidade da monocamada (kg água/kg sólido seco), a₁, a₂, a₃, b₁, b₂, b₃, C_G, C_B e k, são parâmetros das equações, DRM é o desvio relativo médio, R² é o coeficiente de determinação.

Fonte: Autora (2022).

A umidade de monocamada é o ponto mínimo de abrangência dos sítios hidrofílicos na superfície do produto. Na Tabela 8 pode se verificar que a umidade de monocamada (X_m) diminui com o aumento de temperatura de 60 °C para 70 °C, no entanto para a temperatura de 50 °C a 60 °C esta aumenta. Este resultado está de acordo com o estudo de Pumacahua (2011), no qual modelou isotermas de sorção da quinoa onde ocorreu o mesmo fenômeno, ou seja, na temperatura de 20 °C a 40 °C houve diminuição da X_m e acima de 40 °C a X_m aumentou. Assim pode-se explicar que este fenômeno se dá devido a gelatinização do amido, já que quando ocorre a ativação do calor característico de adsorção do amido se quebra as ligações de hidrogênio intermoleculares, facilitando a penetração de moléculas de água, ou seja tem-se um aumento no número total de sítios ativos de ligação de água, ocasionando alterações físicas e/ou químicas gerando um aumento da umidade de monocamada (MOREIRA, 2013), tornando a polpa da banana verde mais higroscópica.

Timmerman et al. (2001) explica que os valores das constantes de energia são essenciais na formação sigmoideal das isotermas, estas resultam de processos de regressão. A constante C_B se relaciona com a diferença do potencial químico das moléculas de sorbato em estado líquido e as primeiras camadas de sorção, já a constante C_G se relaciona com a diferença das magnitudes das camadas superiores e as monocamadas, estas constantes em valores baixos de a_w determinam a forma pronunciada do “joelho”, por outra parte a constante k do modelo de GAB em a_w maiores regula o topo após “platô” em uma gama média de atividade de água. Esta constante está relacionada com a diferença do potencial químico das moléculas de sorbato no estado líquido nas camadas superiores. Os maiores valores de K determinam uma Ascensão mais pronunciada.

As constantes de sorção C_G e k relacionam-se com interações energéticas das monocamadas e subsequentes em um sítio de sorção específico do produto. Na Tabela 8 nota-se que a constante C_G diminui de 50 a 60 °C e aumenta de 60 a 70 °C resultado parecido obteve Silva (2007) que realizou a modelagem das isotermas de desorção de *Calêndula officinalis* L. Na temperatura de 30, 40 e 60 °C, o autor explica que este fenômeno é produzido também pela gelatinização do amido, o qual modifica a estrutura do polissacarídeo (MORAES, 2015).

No estudo da temperatura de gelatinização do amido extraído da banana verde da mesma variedade do estudo feito por Izidoro (2011), percebe-se que a temperatura inicial de gelatinização (T_i) foi de 62,75, de pico (T_p) 61,15 e final (T_f) foi 71,29 °C. Outro estudo feito por Leonel (2011) que realizou também a caracterização do amido em banana do tipo nanicao obteve-se temperatura inicial de gelatinização (T_i) foi de 66,28, de pico (T_p) 69,51 e final (T_f) foi de 73,23 °C, comprovando assim que a gelatinização do amido ocorra nesta faixa de temperatura e fazendo com que o mesmo retenha mais líquido. Nas temperaturas de 50 a 60 °C o poder de inchamento e capacidade de absorção de água do amido permanecem constantes, já em temperaturas de 60 para 70 °C ocorre um acréscimo notável no poder de inchamento e absorção de moléculas de água do amido (LEONEL, 2011).

Os valores de umidade de monocamada encontrados, tabela 9, são coerentes com outros estudos da literatura como:

Tabela 9 - Umidade de monocamada em outros estudos

Alimentos	Temperatura	Base Seca	Autores
Batata doce	50°C	8,8%	Fasina (2006)
		5,6%	Mcminn e Magee (2003)
Quitosana	50°C	13,3%	Rosa et al. (2010)
	60°C	12,9%	
Microalga <i>Spirulina platensis</i>	50°C	10,13%	Oliveira et al. (2009)
	60°C	6,6%	
Erva mate	50°C	8,9%	Barbosa et al. (2020)
	60°C	15,2%	
Alho	50°C	5,6%	Moraes et al. (2008)
	70°C	5%	
maçã	50°C	16,8%	
	70°C	10,7%	
Abacate	50°C	5%	Alves (2014)
	70°C	7%	
Grãos de abóbora	70°C	11,26%	Teixeira (2014)

4.3 PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS

A Tabela 10 apresenta os valores de área de superfície (S_o) específica de dessorção da polpa da banana verde, calculada pela Equação (14), onde considerou-se os valores de umidade de monocamada obtidos pelo modelo GAB à temperatura de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 10 - Valores de área superficial específica de dessorção calculados pelos modelos de GAB para polpa de banana verde em diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Área superficial (m ² /g)
50	235,4
60	402,0
70	395,4

Fonte: Autora (2022).

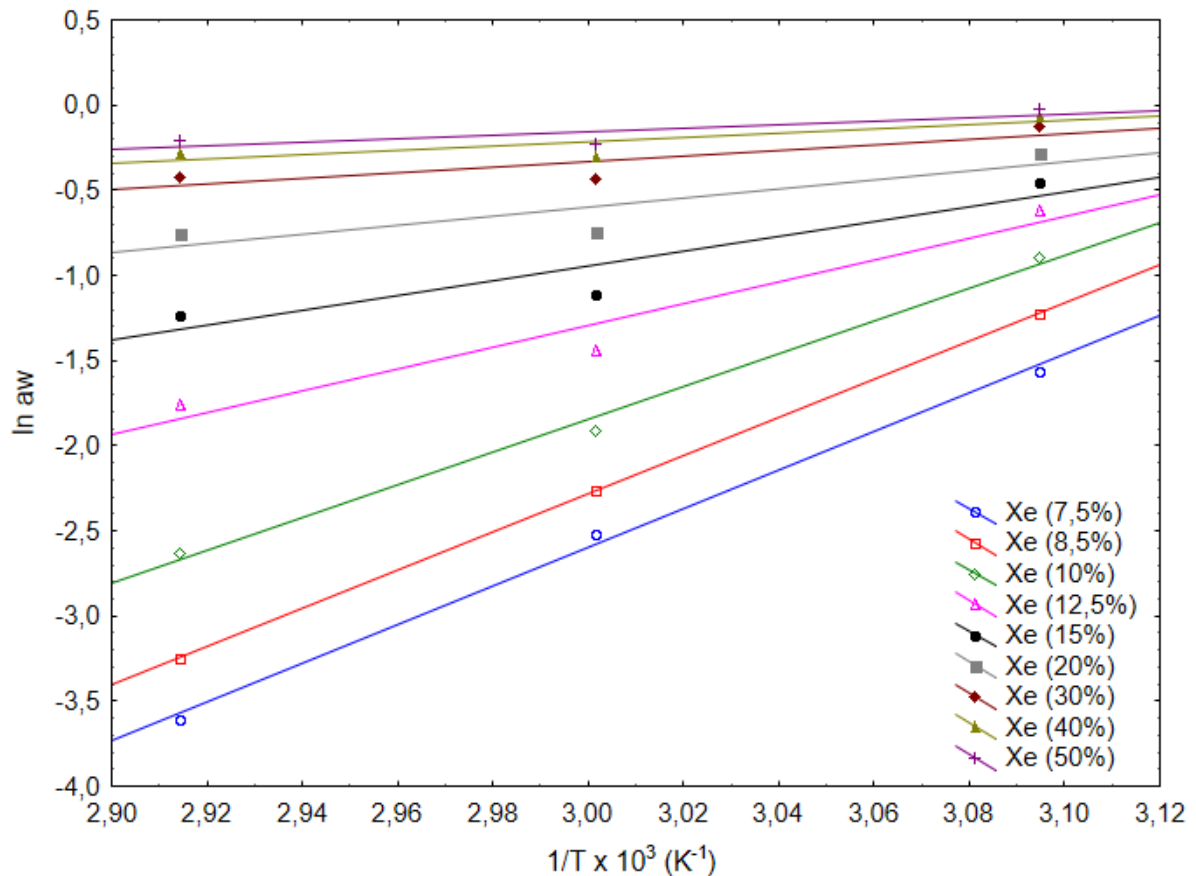
Pode-se observar que a área superficial total específica para ligações hidrofílicas na dessorção aumentou com o aumento de temperatura, no entanto nas temperaturas de 60 a 70 °C a área superficial diminui brevemente em torno de 1,67%. Este fator pode ser justificado pela disponibilidade de sítios ativos e que o aumento de temperatura ocasiona gelatinização do amido, deixando mais “aberta” a molécula do polissacarídeo, com isso pode-se dizer que a área superficial de 60 °C foi aproximadamente 71% maior que a 50 °C. O número de sítios ativos diminui com o aumento de temperatura (RIZVI,1995 *apud* MORAES, 2015) explicando assim a diminuição da área de superfície na temperatura de 60 a 70 °C, a gelatinização em 70 °C

atinge a temperatura do termino assim após os 70 °C a área de superfície tende a diminuir. A maior área superficial de vários polímeros é que possuem estruturas intrínsecas micro porosas (OLIVEIRA et al., 2009).

Existem outros estudos em alimentos que também tiveram resultados próximos ao presente estudo, tais como: *Anchoita engraulis* 205,6 a 330,1 m²/g (MORAES, 2011); Alho 196 a 315 m²/g e maçã 374 a 588 m²/g (MORAES et al., 2008); Microalga *Spirulina platensis*, 238 a 451 m²/g (OLIVEIRA et al., 2009).

Para o levantamento de valores da entalpia e entropia diferenciais de desorção de água usou-se a Equação (18). Os dados calculados a partir do modelo GAB, o calor isostérico de sorção ou entalpia diferencial é um parâmetro principal para quantificar a demanda energética no processo de desorção (ALVES et al., 2015). Por outro lado, a entropia diferencial é igual a quantidade de sítios de sorção disponíveis em um nível de energia (MCMINN et al., 2007). A Figura 9 mostra os resultados do $\ln(a_w)$ vs $(1/T)$ nas três temperaturas analisadas variando a umidade de equilíbrio (Xe) de 7,5 a 50%, em base seca, para a polpa de banana verde.

Figura 9 - Curvas de $[\ln(a_w)]$ versus $(1/T)$, em diferentes conteúdos de umidade da polpa de banana verde



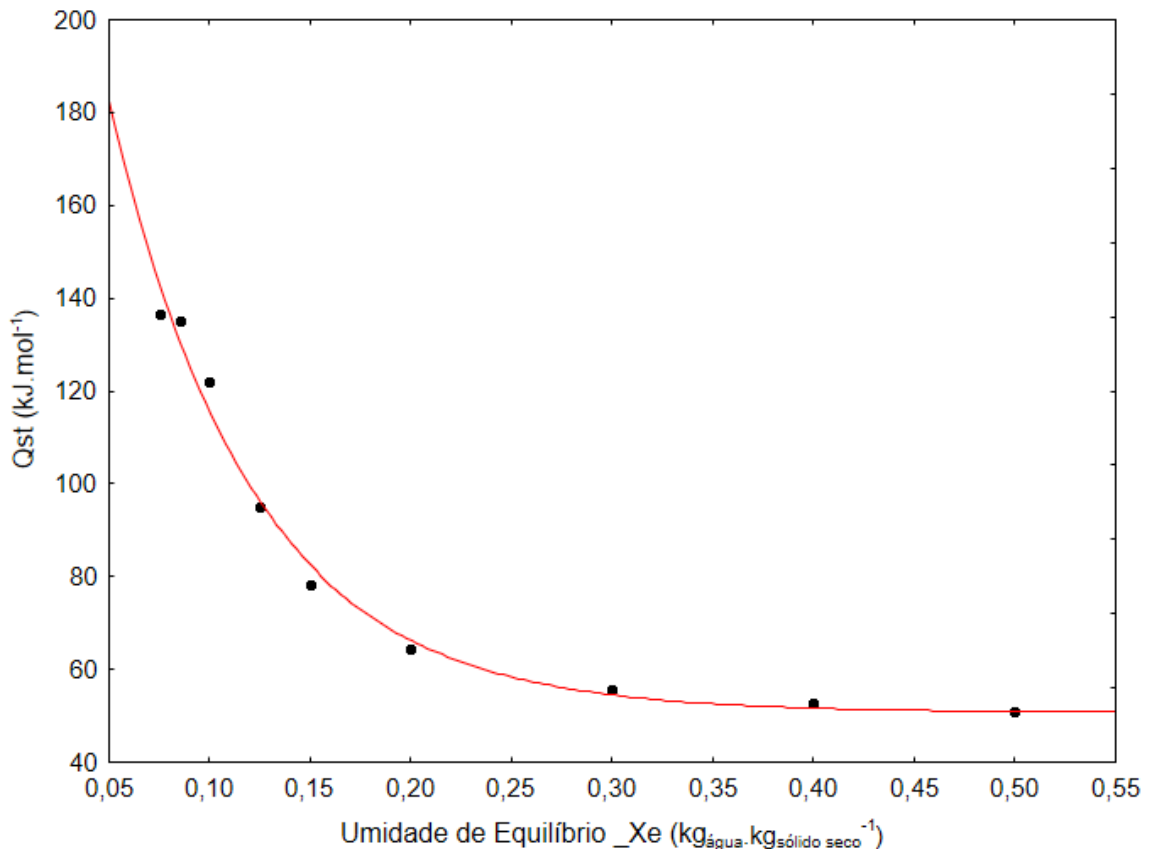
Fonte: Autora (2022).

A Equação (21) representa a relação de dependência do calor total de sorção e o conteúdo de umidade para amostras distintas assim como também é mostrada na Figura 10.

$$Q_{st} = 50,74 + (268,19 \times e^{(-X_e/0,07)}) \quad R^2 \cong 0,99 \quad (21)$$

A figura abaixo representa a variação do calor total de dessorção (Q_{st}), que é construído a partir da Equação (21) que descreve o calor total de sorção com relação ao conteúdo de umidade, ou seja, é a soma da entalpia diferencial (Δh_d) e o calor latente de vaporização da água (λ), em função do conteúdo de umidade. Também pode-se observar na Figura 10 que a energia requerida para a dessorção é inversamente proporcional ao conteúdo de umidade de equilíbrio, isto ocorre devido a presença de ligação forte entre as moléculas de água com o material absorvente. A medida que aumenta a umidade do produto a interação da água com os sítios polares da molécula diminui (MARCINKOWSKI, 2006). Assim como se observa no gráfico a partir de 20% de base seca a entalpia diferencial fica assintótica.

Figura 10 - Calor total de dessorção para polpa de banana verde



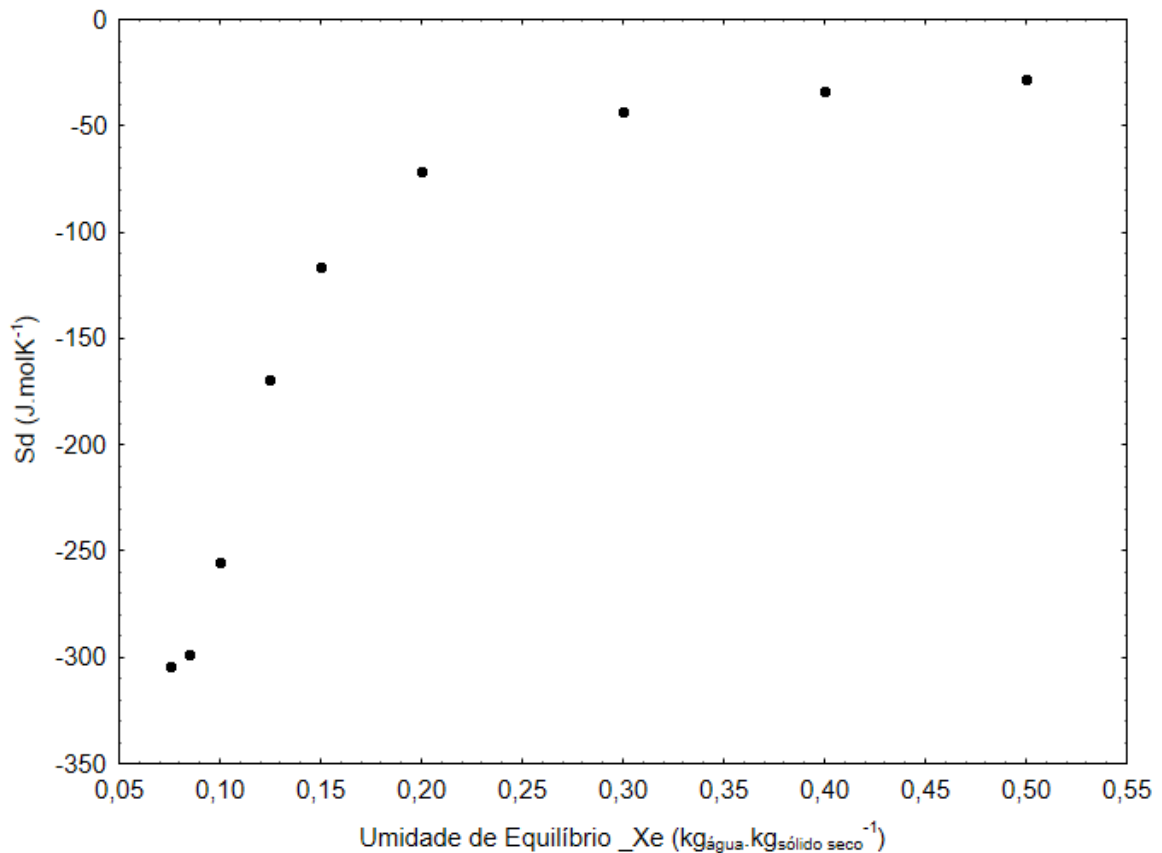
Fonte: Autora (2022).

Estudos realizados com alimentos tiveram resultados de entalpia diferencial similares ao do presente estudo, fazendo com que esteja na faixa esperada para alimentos, tais estudos como: microalga *Spirulina platensis* ($Q_{st} \cong 97\text{kJ/mol Xe}=0,1$)(OLIVEIRA *et al.*, 2009); alho ($Q_{st} \cong 50\text{kJ/mol Xe}=0,1$), maçã ($Q_{st} \cong 100\text{kJ/mol Xe}=0,1$)(MORAES *et al.*, 2008); Batata doce ($Q_{st} \cong 62,5$ a $90\text{kJ/mol Xe}\leq 0,1$)(MCMINN e MAGEE, 2003).

A entropia diferencial é proporcional ao número de sítios de sorção disponíveis num nível energético e de acordo como acontece a adsorção do produto. (MARCINKOWSKI, 2006). Ao aumentar a entropia de um sistema se aumenta os microestados acessíveis às partículas que compõem. Segundo Marcinkowski (2006) ao associar sítios ativos livres diminui a quantidade de entropia

A Figura 11 apresenta as relações entre a variação da entropia diferencial de dessorção e a quantidade de umidade na polpa da banana verde.

Figura 11 - Variação da entropia diferencial para polpa de banana verde em função da umidade de equilíbrio



Fonte: Autora (2022).

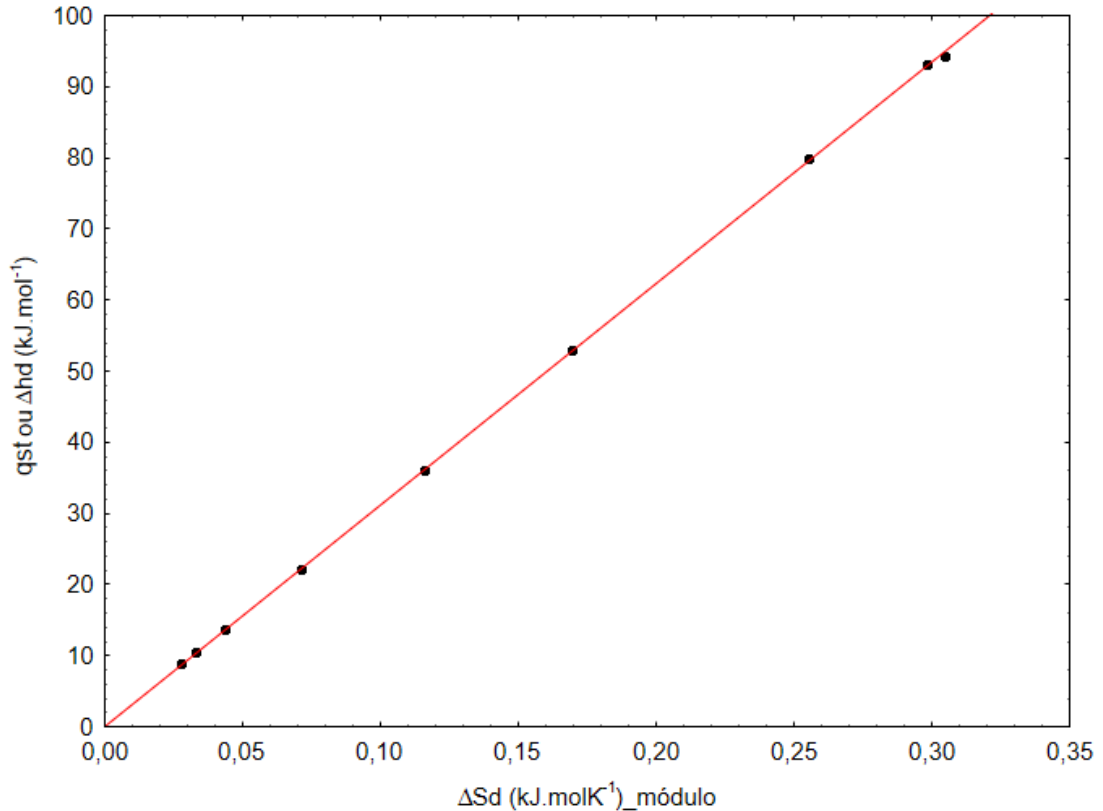
Ao analisar a Figura 11, observa-se que os valores negativos de entropia diminuem com o aumento do teor de umidade. Onde é atribuído valores negativos de entropia a existência de adsorção química (IGLESIAS et al.,1976). Assim pode-se dizer que é um indicativo de compensação termodinâmica na relação calor diferencial e entropia diferencial da polpa da banana verde.

Quando o valor da umidade é baixo, as moléculas de água estão ligadas com força da superfície adsorvente da polpa da banana verde, tendo baixa entropia de adsorção. No entanto, em teores elevados de umidade as moléculas de água estão ligadas nas multicamadas da polpa sendo o nível de liberdade é maior e, conseqüentemente, aumenta a entropia de sorção. Estudos realizados com proteína texturizada de soja, maçã e alho e microalgas, respectivamente, mostraram perfis semelhantes ao presente estudo. (MARCINKOWSKI, 2006, MORAES et al., 2008 e OLIVEIRA et al., 2009)

A teoria da compensação entalpia-entropia é empregada para diversas reações de sorção química, esta teoria propõe uma relação entre entalpia e entropia para uma reação em específico e tem que ser linear (MARCINKOWSKI, 2006).

A Figura 12 apresenta a relação linear entre Δh_d (entalpia) e ΔS_d (entropia), onde os parâmetro T_β (temperatura isocinética) e ΔG (energia livre), foram obtidos a partir da regressão linear (Equação (19)) tendo como resultado $T_\beta = 311,2 \text{ K}$ e $+0,0832 \text{ kJ/mol}$ e o coeficiente de determinação de $R^2 \geq 0,999$, comprovando que existe teoria da compensação (MCMINN et al., 2003). Para confirmar a teoria utilizou-se o teste de Krug onde T_β deve ser comparada com T_{hm} (Equação (20)) (MARCINKOWSKI, 2006), sendo assim $T_\beta \neq T_{hm}$. O valor de T_{hm} do presente estudo foi de $332,9 \text{ K}$, sendo superior ao valor de T_β , assim se diz que processo foi controlado somente pela entropia.

Figura 12 - Entalpia diferencial em função da entropia diferencial para polpa de banana verde



Fonte: Autora (2022).

Em estudos de batatas e outros amidos McMinn et al. (2007) afirmam que a temperatura isocinética depende da composição do material, já em temperaturas mais baixas, apenas um mecanismo foi evidente em toda a temperatura e faixa de umidade estudada, associando assim que a microestrutura como a responsável de deixar estável a sorção da umidade.

A energia de Gibbs é um parâmetro fundamental que designa se o processo realizado é espontâneo ou não (MARCINKOWSKI, 2006), assim o seu sinal fornece um critério sobre a sorção de água, sendo um processo espontâneo ($-\Delta G$) ou não espontâneo ($+\Delta G$) e (MCMINN et al., 2007; CLADERA-OLIVEIRA et al., 2008; OLIVERIA et al., 2009). Como se obteve o valor positivo de + 0,0832kJ/mol indica-se que é um processo não espontâneo de dessorção de umidade, representando assim a afinidade entre o adsorvente e a água.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, a partir dos resultados obtidos pode-se concluir que os dados encontrados estão de acordo com os publicados na literatura científica. Assim sendo, as isotermas de dessorção da polpa da banana verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, apresentaram forma sigmoidal do tipo II, sendo que o conteúdo da umidade de equilíbrio diminuiu com o aumento da temperatura em uma dada atividade de água.

O modelo GAB foi que se adaptou melhor aos dados experimentais no intervalo de atividade de a_w (0,055 – 0,890) e nas temperaturas estudadas ($R^2 \cong 0,99$ e DRM < 9%). Os valores da umidade de monocamada, nas temperaturas estudadas variaram de 0,06-0,11 kg/kg sólido seco, não apresentando diferença entre as temperaturas de 60 e 70 °C devido a modificação da estrutura do amido nessas temperaturas. O valor da área superficial variou de 235 a 402 m²/g, aumentando com a temperatura, isto ocorre devido a gelatinização do amido da banana verde.

Em relação as propriedades termodinâmicas têm-se que a entalpia diferencial, e consequente, calor total de sorção, mostraram uma forte relação com o conteúdo de umidade, alcançando valores próximos 136 kJ/mol em baixos conteúdos de umidade. No entanto, com aumento do teor de umidade, os valores negativos de entropia. Portanto, pode se dizer que a teoria da compensação pode ser aplicada com sucesso para o comportamento da umidade de dessorção da polpa de banana verde, sendo ela um processo controlado pela entropia, e não é espontâneo.

REFERENCIAS

- A.O.A.C **Official Methods of Analysis of A.O.A.C International**, 17th Edition, Maryland EUA, 2000.
- ABERC - **Associação Brasileira das Empresas de Refeições Coletivas**, 2003. Disponível em: <http://www.aberc.com.br/noticias>. Acesso em: 18 de maio 2021
- ADÃO, R. C.; GLÓRIA, M. B. A. Bioactive amines and carbohydrate changes during reaping of Prata banana (*Musa acuminata* × *M. balbisiana*). **Food Chemistry**, v.90, n. 4, p. 705-711, 2005. Disponível em : <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.020>. Acessado em 15 de maio de 2022
- AGUERRE, R.J SUAREZ, C., VIOLLAZ, PZ. New BET type multi-layer sorption isotherms. – Part II: Modelling water sorption in food. **In: Lebensm- wiss u. tech.**v. 22, p. 192-195, 1989,
- ALI, M., BUTH ANI, K. K., ATAL, C. K. Chemical constituents of banana. **Journal of Scientific and Industrial Research**, 43(6), p.316-323, 1984.
- ALMEIDA, L. F. Amidos: Fontes, estruturas e propriedades funcionais. **Aditivos Ingredientes**. Editora Insumos, n. 63, 2009
- ALMEIDA, Maria Climene Bezerra de Medeiros. **Estudo para fins industriais das propriedades funcionais do amido nativo e modificado hidrotermicamente, provenientes de banana verde, variedade ‘prata’**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2013. Disponível em: <https://docplayer.com.br/80541409-Universidade-federal-de-campina-grande-centro-de-ciencias-e-tecnologia-agroalimentar-programa-de-pos-graduacao-em-sistemas-agroindustriais.html>. Acesso em: 27 jun. 2022.
- AL-MUHTASEB, A. H., MCMINN, W. A. M., MAGEE, T. R. A. (2004). Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, n. 61, 297–307, 2004a. Disponível em : [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00133-X) Acessado em 10 de jun. 2022.
- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. **Food and bioproducts processing**, v. 80, n. 2, p. 118-128, 2002., Disponível em : <https://doi.org/10.1205/09603080252938753> , Acessado em 9 de maio 2022
- AL-MUHTASEB, A.H., MCMINN, W.A.M., MAGEE, T. R.A.; Water sorption isotherms of starch powders, Part 2. Thermodynamic characteristics. **Journal of Food Engineering**, n. 62, p.135-142, 2004b.disponivel em : [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00202-4). Acessado em 10 de jun. 2022
- ALVES T.P., FÓZ, H. D., NICOLETI, J. F. Isotermas de dessecção de pimentão verde e energia envolvida no processo. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 18, n. 2, pp. 137-145. 2015, Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.6114>. Acessado em: 09 de jun. 2022.
- ALVES, S. B. Estudo teórico e experimental do processo de secagem do abacate (Persea americana Mill). 2014. 140f. **Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)** - Universidade

- Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014. Disponível em <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/7576>, Acessado em: 09 de jun. 2022
- ANYASI, T.A.; JIDEANI, A.I.O.; MCHAU, G.R.A. Functional Properties and Postharvest Utilization of Commercial and Noncommercial Banana Cultivars. **Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.** **2013**, **12**, 509–522.
- ARRUDA, A. Banana para dar e vender! Heloísa de Freitas Valle revela que a fruta nacional tem muito mais utilidades do que a gastronômica; **Folha de São Paulo**, 22 de maio de 2002
- BARBOSA, H. M., JOHANN, G., PEREIRA, E. A. Obtenção de isotermas de dessecção da erva-mate. In: Congresso De Engenharia De Produção, 10., 2020, Parana. **Anais**. Parana: Combipro, 2020.p.1-10. Disponível em: <https://aprepro.org.br/combipro/2020/anais/arquivos/092720201509225f70de76647ca.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- BI, Y., ZHANG, Y., JIANG, H., HONG, Y., GU, Z., CHENG, L., LI, C. (2017). Molecular structure and digestibility of banana flour and starch. **Food Hydrocolloids**, **72**, 219–227. Disponível em : <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.003>. Acesso em 23 de maio de 2021
- BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v.37, p. 911-917, 1959.
- BORGES, A. L. et al. **A cultura da banana**. 2. ed. rev. e aum. Brasília, DF: **Embrapa**, SPI. 94 p. (Coleção Plantar, 38), 1998.
- BORGES, Ana Lúcia *et al.* BANANA: fitossanidade. Brasília- Df: **Embrapa** Comunicação Para Transferência de Tecnologia, 2000.
- BORGES, Antonia de Maria; PEREIRA, Joelma; LUCENA, Eliseu Marlônio Pereira de. Caracterização da farinha de banana verde. **Food Science and Technology**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 333-339, jun. 2009. FAP UNIFESP (SciELO).
- BORGES, M. T. M. R., GODOY, H. T. Identificação e confirmação da presença de vitaminas do complexo B em banana verde. XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Anais de Resumos**. Fortaleza. Agosto, 2000.
- BORGES, Maria Teresa Mendes Ribeiro. Potencial vitamínico da banana verde e produtos derivados. 2003. 137p. **Tese (doutorado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/254301>
- BROUNS, F.; ARRIGONI, E.; LANGKILDE, A. M.; VERKOOIJEN, I.; FÄSSLER, C.; ANDERSSON, H.; KETTLITZ, B.; VAN, N. M.; PHILIPSSON, H.; AMADO, R. Physiological and metabolic properties of a digestion resistant maltodextrin, classified as type 3 retrograded resistant starch. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v.4, n. 55, p.1574-1581, 2007
- BRUNAUER, S., DEMING, L.S., DEMING, W.E., TROLLER, E. On the theory of Van der Waals adsorption of gases. **Journal American Chemical Society**, v. 62, p. 1723-1732, 1940.
- CAIRES, Leonardo; BARBIERI, Marcela (org.). Anuário 2020 | 2021: retrospectiva 2020 e perspectiva 2021. **Hortifruti Brasil: Cepea**, Piracicaba, p. 32-33, maio 2020. Disponível em: hfbrasil.org.br. Acesso em: 11 maio 2021.

CANÇADO JUNIOR, F. L., SOBRINHO, R. R., MAIA, D. M. M., GERALDO, L. G. Aspectos económicos da cultura da bananeira em Minas Gerais. **In: banana Produção, Colheita e Pós-colheita**. Informe Agropecuário. Belo Horizonte. 20(196), p5-9, 1999.

CARDENETTE, G. H. L. **Produtos derivados de banana verde (Musa spp) e sua influencia na tolerância à glicose e na fermentação colônica**. 2006. p. 180. Tese: (Tese em Nutrição Experimental), Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006

CARMO, A. F. dos S. **Propriedades funcionais da biomassa e farinha de banana verde**. 2015. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2015.

CASSINI, A.S., MARCZAK, L.D.F e NOREÑA, C.P.Z. Water adsorption isotherms of texturized soy protein. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 194-199, 2006.

CASTELO-BRANCO, Vanessa Naciuk et al. The use of green banana (*Musa balbisiana*) pulp and peel flour as an ingredient for tagliatelle pasta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

CELESTINO, S.M.C. Princípios de secagem de alimentos. **Embrapa Cerrados**. Planaltina, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77765/1/doc-276.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

CHAVES, M. C. V et al. Caracterização físico-química do suco da acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v. 4, n. 2, 2004

CHAYJAN, Reza Amiri; ESNA-ASHARI, Mahmood. Modelado del calor isostérico de la soja para la estimación de la energía de desorción utilizando el enfoque de red neuronal: modelación de calor i sostérico de soya para estimación de energía de desorción usando red neural.. **Revista Chilena de Investigaciones Agropecuarias**, Hamedan, Irán., v. 70, n. 4, p. 616-625, 12 out. 2010. Disponível em: <http://www.bioline.org.br/request?cj10069>. Acesso em: 09 maio 2022

CIACCO, C.F.; CHANG, Y.K. Fabricação de amido e sua utilização. São Paulo: Secretaria de Indústria e Comércio, **Ciência e Tecnologia**, 1982 (Tecnologia Agroindustrial).

CLADERA-OLIVEIRA, Florencia. **Estudos tecnologicos e de engenharia para o armazenamento e processamento do pinhão**. 2008. 200 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Escola de Engenharia., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/15396> . Acesso em: 10 jun. 2022.

CORDOBA, L. d., DA SILVA, R.G., GOMES, D. d. et al. Brazilian green banana. **JTherm Anal Calorim** 134, 2065–2073 (2018). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7374-9>. Acesso em: 23 de maio de 2021

CORREA, Isabel Cristina Machado. **Propriedades termodinâmicas de dessorção de água de farelo de soja**. 2011. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5609>. Acesso em: 24 abr. 2021.

CUNHA., Humberto Vinícius Faria da. A diferença entre Atividade de Água (A_w) e o Teor de Umidade nos alimentos. 2016. **Food safety brazil**. Disponível em:

<https://foodsafetybrazil.org/diferenca-entre-atividade-de-água-aw-e-o-teor-de-umidade-nos-alimentos>. Acesso em: 24 maio 2021.

DA MOTA, R. V., LAJOLO, F. M., CORDENUNSI, B. R., & CIACCO, C., Composition and functional properties of banana flour from different varieties. **Starch-starke**, 52(2e3), 63-68,2000

DAIUTO, E.R. Características de féculas de tuberosas e suas relações com resistências dos géis sob condições de estresse aplicada na industrialização de alimentos. 2005, 146f. **Tese (Doutorado em Agronomia)**, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

DANTAS, L. L.; SHEPHERD, K.; OLIVEIRA E SILVA, S. de; SOARES FILHO, W. dos S. Classificação botânica, origem, evolução e distribuição geográfica. In: ALVES, E. J. (Org.). **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília, DF: Embrapa SPI; Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, 1997. 587 p

DE GOUVEIA, Josivanda PG et al. Modelos matemáticos para ajuste das isotermas de dessecção da polpa de banana da variedade prata. **Engenharia Agrícola**, 2004.

DE MOURA, Rodrigo Sérgio Ferreira et al. Modelagem matemática para isotermas em polpa de caju, **Revista De Biologia E Ciências Da Terra**, v.4, n. 2, 2004. Disponível em: <http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/modelagem-5156431941169.pdf>. Acessado em 10 de jun. 2022.

DIAS, J. do S. A.; BARRETO, M. C. (Ed.). Aspectos agronômicos, fitopatológicos e socioeconômicos da sigatoka-negra na cultura da bananeira no Estado do Amapá. Macapá: **Embrapa Amapá**, 2011. 95 p. 1 CD-ROM. ISBN 978-85-61366-14-8

DOMINGUES, Andrea Ribeiro. Produção de banana 'Nanicão' (Musa sp. AAA) em clima Cwa. 2011. 79 f. **Dissertação (Mestrado)** - Curso de engenharia agrônômica, área de concentração: fitotecnia, Escola Superior de Agricultura, Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-08022012-092250/publico/Andrea_Ribeiro_Domingues_revisada.pdf. Acesso em: 16 maio 2021.

EERLIGEN, R.C., DELCOUR, J.A. Formation, analysis, structure and properties of Tipe III enzyme resistant starch. **Journal of Cereal Science**, London, v.22, p.120-130, 1995

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Base de dados de Produção brasileira de banana. Cruz das Almas: **EMBRAPA**, 2019. Disponível em: http://www.cnpmpf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/banana/b1_banana.pdf. Acesso em: 20 abr. 2021

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Processamento da banana. Brasília, DF: **EMBRAPA**, 2008. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/arvore/AG01_47_41020068055.html Acesso em: 20 abr. 2021

FALCOMER, Ana Luisa et al. Health benefits of green banana consumption: A systematic review. **Nutrients**, v. 11, n. 6, p. 1222, 2019.

FASINA O.O. Thermodynamics properties of sweetpotato. **Journal of Food Engineering**, v. 75, p. 149-155, 2006.

FASOLINI, L.H., et al , R. Biscoitos produzidos com farinha de banana: avaliações química, física e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. V. 27, n.3, p. 524-529, 2007.

FÁVARO, T. Ano bom para a banana. O Estado de São Paulo. **Suplemento Agrícola**. n. ° 2465, p.6-7, 5 de fev. 2003.

FEIBER, L. T.; CAETANO, R. Teores de cálcio em polpas de couve. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v. 23, n. 1, p. 141-145, jan./mar. 2012. Disponível em : < ISSN 2179-4448> acessado em 14 de julho de 2022

FELLOWS, Peter. **Tecnologia de processamento de alimentos: princípios e práticas**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p

FENNEMA, O.R. **Química de los alimentos**, 2ª ed. Editorial Acribia, 1993. 549p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION– FAO. Consumo. **Rome: FAO**, 2011b. Disponível em : <http://www.fao.org/faostat/en/#data/CC> Acessado em: 24 de maio de 2021

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Dados de produção mundial bananas em 2004-FAOSTAT**. Disponível em <http://faostat.fao.org/site/336/default.aspx>. Acesso em 18 de maio 2021

FOUST, A.S.; WENZEL, L.A.; CLUMP, C.W.; MAUS, L.; ANDERSON, L.B. **Princípios das Operações Unitárias**. 2ª ed. LTC, Rio de Janeiro, 1983

FURMANIAK, S.; TERZYK, A.P.; GOŁEMBIEWSKI, R.; GAUDEN, P.A.; CZEPIRSKI, L. Searching the most optimal model of water sorption on foodstuffs in the whole range relative humidity. **Food Research International**, v.42, p. 1203-1214, 2009.

GODOY, R.C.B., WASCZYNSKYJ, N. Estudo das variáveis de processo em doce de banana de corte elaborado com variedade resistente à sigatoka-negra. Curitiba, PR **Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)** -Universidade Federal do Paraná, 256 p.2010.

GOMES, Vânia Thais Silva et al. Benefícios da biomassa de banana verde à saúde humana. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 655, 2017. disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/RE_1176_1364_01.pdf. Acessado em: 18 de abril de 2021

GONELLI, A. L. D. Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) Durante a secagem e o armazenamento. 2008. 186 f. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)** – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

GUERRA-DELLAVALLE, D. et al. Efecto del tiempo de reacción en la acetilación de almidón de plátano. **Revista mexicana de ingeniería química**, v. 7, n. 3, p. 283-291, 2008.

GURGEL, C. E. M. R. Secagem da polpa de graviola (*annonamuricata* L.) em camada de espuma - desempenho do processo e características do produto. 2014. 66 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)** – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014

HADRICH, B.; BOUDHRIOUA, N.; KECHAOU, N. Drying of Tunisian sardine (*Sardinella aurita*) experimental study and three-dimensional transfer modeling of drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, v.84, p. 92-100, 2008

HAN, Luiz Henrique. Determinação de compostos bioativos de casca de moranga cabotiá in natura e desidratada. 2019. 61 f. **TCC (Graduação)** - Curso de Ciencia e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Cruz Alta, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1721>. Acesso em: 21 set. 2021.

IBGE. TABELA 5457: Área colhida e produção de banana. Brasília-DF: **IBGE Produção Agrícola Municipal**, 2018.

IGLESIAS, H. A., & CHIRIFE, J. (1976). Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food material. **International Journal of Food Science & Technology**, 11(2), 109–116. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1976.tb00707.x>. Acesso em 10 de junho de 2022

ITAL. **Banana**. Instituto De Tecnologia De Alimentos. Campinas. Série Frutas Tropicais, n.3.1990. 89p.

IZIDORO, D. R. **Influência do pré-tratamento com ultrassom e da secagem nas propriedades químicas, físicas e funcionais do amido da banana verde**. 2011. p. 201. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

IZIDORO, Dayane Rosalyn. **Influência da polpa de banana (musa cavendishii) verde no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão**. 2007. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/8456>. Acesso em: 20 maio 2021.

JIANG, H.; ZHANG, Y.; HONG, Y.; Bi, Y.; GU, Z.; CHENG, L.; LI, Z.; LI, C. Digestibility and changes to structural characteristics of green banana starch during in vitro digestion. **Food Hydrocoll**. 2015, 49, 192–199.

KARATHANOS, V. T.; BELESSIOTIS, V. G.. Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 74, n. 4, p. 355-361, 1999.

KAYA, S.; KAHYAOGU, T. Moisture sorption and thermodynamic properties of safflower petals and tarragon. **Journal of Food Engineering**, v.78, p, 413-421, 2007.

KAYMAK, F.E.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **LWT – Food Science and Technology**, 37(4), 429-438, 2004.

LABUZA, T. P.; TANNEMBAUM, S. R.; KAREL, M. Water content and stability of low moisture and intermediate-moisture foods. **Food Technology**. p .543-550, 1970

LABUZA, T.P.,. Interpretation of Sorption Data in Relation to the State of Constituent Water, in: **Water Relations of Foods**. Elsevier, p. 155-172. Doi:10.1016/B978-0-12223150-6.50014-61975

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Bases Científicas e Tecnológicas para Produção de Alimentos Funcionais a Partir de Plátano/banana verde**. São Paulo, 2009.

LEACH, H.W.; McCOWEN, L.D.; SCHOCH, T.J. Structure of starch granule. I Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v. 36, n.6, p.534-544, 1959.

LEHMANN, U.; JACOBASCH, G.; SCHMIEDL, D. Characterization of resistant starch type III from banana (**Musa acuminata**). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 18, p. 5236-5240, 2002. PMID:12188636. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0203390>

LEHNINGER, A.L. **Biochemistry**, New York, N.Y. Worth Publishers, Inc.1970.

- LEONEL, M. **Desenvolvimento de Produtos Funcionais à Base de Mandioca**. CERAT/UNESP, Botucatu, 2009. Disponível em: <https://www.cerat.unesp.br/Home/compendio/palestras/palestra8.pdf>. Acesso em 18 de abril de 2021.
- LEONEL, Magali et al. Extração e caracterização do amido de diferentes genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 33, n. 1. 599-605, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500082>>. Acessado em: 09 de jun. 2022.
- LEWICKI, P. P. (1997). The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. **International Journal of Food Science & Technology**, 32(6), 553–557.
- LINDEBOOM, N.; CHANG, P. R.; TYLER, R. T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: are view. **Starch/Stärke**, v. 56, n. 1, p. 89-99, 2004.
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H., BUCKLE, K.A. Enthalpy-Entropy compensation models for sorption and browning of garlic. **Journal of Food Engineering**, v. 28, p. 109-119, 1996.
- MARCINKOWSKI, E.A.. Estudo da cinética de secagem, curvas de sorção e predição de propriedades termodinâmicas da proteína texturizada de soja. 2006.128f, **Dissertação (mestrado)** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, escola de engenharia, departamento de pós graduação engenharia química. 2006. Disponível em : <http://hdl.handle.net/10183/13433> . Acesso em 10 de jun. 2022.
- MASTRO, NELIDA L. del; TAIPINA, MAGDA S.; COHEN, VICTOR H. Avaliação crítica da polpa de banana (*Musa spp.*) verde. **Higiene Alimentar**, 2007. Disponível em : <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/5130>. Acesso em 18 de abril de 2021
- MCCORMICK, P. Y.; PORTER, H.F.; LUCAS, R.L.; WELLS, D.F. Solids drying fundamentals. In: Perry, R.H. and Chilton, C.H. **Chemical engineer's handbook**. McGraw Hill Book Company, 5.ed., section 20:1-16, 1983.
- MCMINN, W.A.M.; MAGEE, D.J.; MAGEE, T.R.A. Moisture adsorption behavior of oatmeal biscuit and oat flakes. **Journal of Food Engineering**, v.79; p. 481–493, 2007. , Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.009>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- MCMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. **Journal of Food Engineering**, v. 60, p. 157-165, 2003. Disponível em : [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00036-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00036-0) . Acesso em 10 de jun. 2022.
- MEDINA, J. C., BLEINROTH, E.W., MARTI, Z. J. D., TRAVAGLINI, D.A.; OKADA, M., QUAST, D.G., HASHIZUME, T., MORETTI, V.A., BICUDO NETO, L.C., ALMEIDA, L. A. S. B., RENESTO, O. V. **Banana**. Campinas, ITAL Frutas Tropicais 3, 1995, 2ed., 302 p.
- MORAES, Kelly de. **Descobrimo a ciência nas ciências dos alimentos**. Cruz Alta: Programa de Iniciação em Ciências, Matemática, Engenharias e Tecnologias Criativas e Letras – Picmel., 2015. 53 p.
- MORAES, Kelly de. **Secagem de anchoita (Engrazulas anchoita) nas formas de filé e pasta modificada enzimaticamente: propriedades termodinâmicas e características do produto**. 2011. 209 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do

Rio Grande, Rio Grande, RS, 2011. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/6067> . Acesso em: 20 abr. 2021.

MORAES, M.A.; ROSA, G. S.; PINTO, L.A.A.; Moisture sorption isotherms and thermodynamics properties of apple Fuji and Garlic. **International Journal of Food Science and Technology**. V. 43, p.1824-1831, 2008.

MOREIRA, R.S. **Banana: teoria e prática de cultivo**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 335 p.

MOREIRA, Teresinha B. et al. Comportamento das isoterms de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093-1098, 2013. Disponível em : <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/qwbHXbQRwBFjVg5dnmcpXyw/?format=pdf&lang=pt> Acessado em 10 de jun. 2022.

MUSSOI, Cristiano Salah. Determinação de isoterms de sorção d'água a partir da composição química de alimentos.2015.48f. **Diplomacia- curso de engenharia química**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre- RS,2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/131334>. Acesso em: 24 de maio de 2021.

OLIVEIRA, E.G.; ROSA, G.S.; MORAES, M.A; Pinto L.A.A. Moisture sorption characteristics of microalgae *Spirulina Platensis*. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.26, p.189-197, 2009.

OLIVEIRA, João Alison Alves; BRUCKNER, Cláudio Horst; SILVA, Danielle Fabíola Pereira da. **Estado atual da bananicultura em minas gerais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2018. Disponível em: <https://www.todafruta.com.br/wp-content/uploads/2018/05/BANANA.pdf>. Acesso em: 20 maio 2021.

ORDÓÑEZ, Pereda, J.A. **Tecnologia de Alimentos e Processos**. Porto Alegre: Artmed, 294 p. v.1, 2005.

ORTIZ, R. Musa genetics. In: GOWEN, S. Ed. Bananas and plantains. **London: Chapman & Hall**, p.84 109, 1995.

PARK, Kil Jin; BIN, Adriana; BROD, Fernando Pedro Reis. Obtenção das isoterms de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Food Science and Technology**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612001000100016> . Acesso em 25 de maio de 2021

PEREDA, J.A.O.; RODRÍGUEZ, M.I.C.; ÁLVAREZ, L.F.; SANZ, M.L.G.; MINGUILLÓN, G.D.G.F.; PERALES, L.H.; CORTECERO, M.D.S. Carboidratos. **Tecnologia de Alimentos – componentes dos alimentos e processos**. V 1. Artmed; 2005. p. 64-80.

PERRY, R.H. **Chemical engineers' handbook** (6th ed). New York: McGraw-Hill, cap. 3 p. 43-80, 1984.

PEZZUTI, A.; CRAPISTE, G.H. Sorption equilibrium and drying characteristic of garlic. **Journal of Food Engineering**, 29, 75-79, 1997.

PINTO, L. A. A. Cinética de secagem de filés de peixe: uso de um modelo difusivo com variação de volume. UFSCAR, São Carlos, SP, 1996. 154p. Tese de Doutorado.

POLATGLU, B., BEŞE, A.V.; KAYA, M., AKTAŞ, N. Moisture adsorption isotherms and thermodynamics properties of sucuk (Turkish dry-fermented sausage), **Food and Bioproducts Process**, doi:10.1016/j.fbp.2010.06.003, 2010.

PUMACAHUA RAMOS, Augusto. Extração e caracterização de amido de quinoa, cañihua e *Mirabilis jalapa*. 2014. 126 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/128118>>. Acessado em: 09 de jun. 2022.

RAMOS, D. P.; LEONEL, M.; LEONEL, S. amido resistente em farinhas de banana verde **Alim. Nutr.**, Araraquara v.20, n.3, p. 479-483, 2009.

RANIERI, Lucas Menezes; DELANI, Tiele Carina de oliveira. Banana verde (*musa spp.*): obtenção da biomassa e ações fisiológicas do amido resistente. *Revista uningá review*, [s.l.], v. 20, n. 3, dez. 2014. Issn: 2178-2571. Disponível em: <http://34.233.57.254/index.php/uningareviews/article/view/1602>. Acesso em: 23abr. 2021.

RIBEIRO, Ana Paula Loura. Efeito das modificações químicas (acidificação e oxidação) sobre as propriedades funcionais do amido de mandioca (*manihot esculenta*, crantz). 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2006. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp044903.pdf>. Acesso em: 24 maio 2021.

RIBEIRO, Eliana Paula; SERAVALLI, Elisena A.G. Água. In: RIBEIRO, Eliana Paula; SERAVALLI, Elisena A.G. *Química de alimentos*. 2. ed. São Paulo -SP: Blucher, 2007. Cap. 1. p. 1-30.

RIZVI, S.S.H. Thermodynamics properties of foods in dehydration. In: Rao M.A., Rizvi S.S.H. (eds), **Engineering properties of foods**. New York: Academic Press. P. 223-309, 1995.

ROBERT, L.J. *Dietary use of banana in health and disease*. New York, United Fruit Co., 1942.

ROSA, G.S., MORAES, M. a., PINTO, L. a. a. Moisture sorption properties of chitosan. *LWT-Food Sci. Technol.* 43, 415-420, 2010. Doi: 10.1016/j.lwt.2009.09.003.

ROSALES, F. E.; SHARROCK, S.; TRIPON, S. La importancia de las Musáceas en el Mundo. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE SIGATOCA-NEGRA, 1998, Manzanillo. Memorias. Manzanillo: SAGAR: INIBAP, 1998. p. 1-10.

SEYMOUR G.B. (1993) Banana. In: Seymour G.B., Taylor J.E., Tucker G.A. (eds) *Biochemistry of Fruit Ripening*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1584-1_3

SILVA, A.S.; MELO, K.S., ALVES, N.M.C., FERNANDES, T.K.S., FARIAS, P.A. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.11, n.2, p. 129-136, 2009.

SILVA, Cíntia de Souza et al. Avaliação econômica das perdas de banana no mercado varejista: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal (SP)*, v.25, n.2, ago. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v25n2/a12v25n2.pdf>. Acesso em: 20 de abr. 2021

SILVA, F.; PARK, K. J.; MAGALHÃES, P. M. Isotermas de dessorção de *Calendula officinalis* L.: determinação experimental e modelagem matemática. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 9, n. 1, p. 21-28, 2007. Disponível em: https://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/RBPMRevistaBrasileiradePlantasMediciniais/artigo4v9_n1.pdf . Acessado em: 09 de jun. 2022.

SILVA, Jéssica Alane Silvano de Lima. DESIDRATAÇÃO DE ERVAS CONDIMENTARES: ANÁLISE DO PROCESSO DE SECAGEM. 2018. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Nutrição, Centro Acadêmico de Vitória, Universidade Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29010>. Acesso em: 23 maio 2021.

SINGH, R.B.B.; RAO, K.H.; ANJANEYULU, A.S.R.; PATIL, G.R. Water desorption characteristics of raw goat meat: Effect of temperature. *Journal of Food Engineering*, v.75, p. 226-236, 2006.

SOARES, Giovana Ceolin; PERES, Letícia Aguzzi. SECAGEM DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) EM ESCALA PILOTO: avaliação de parâmetros do processo. 2012. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, A Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2012. Disponível em: <http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/riu/3034>. Acesso em: 25 maio 2021.

TEIXEIRA, LUCIANA P.; ANDRADE, E. T.; FIGUEIRA, VITOR G. Determinação do equilíbrio higroscópico dos grãos de abóbora (*Cucurbita moschata*). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Campo Grande, MS, 2014. Disponível em: <http://conbea14.sbea.org.br/2014/anais/R0572-1.pdf>. Acessado em: 09 de jun. 2022.

TEIXEIRA, M. A. V.; CIACCO, C. F.; TAVARES, D. Q.; BONEZZI, A. N. Ocorrência e Caracterização do Amido Resistente em Amidos de Milho e de Banana. **Cienc. Tecnol. Aliment.**, v. 18, n. 2, 1998

TESTER, R. F. et al. Starch composition, fine structure and architecture. **J Cereal Sci**, v.39, p.151-165, 2004.

THYS, Roberta Cruz Silveira. **Caracterização e avaliação de amido nativo e modificado de pinhão mediante provas funcionais e térmicas**. 2009. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química., Escola de Engenharia., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/18598>. Acesso em: 10 jun. 2022.

TIMMERMANN E.O. et al. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters. **Journal of Food Engineering**. Buenos Aires, p. 19-31. abr. 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00139-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00139-4). Acesso em: 01 jun. 2021.

TUNÇ, S. e DUMAN, O. Thermodynamic properties and moisture adsorption isotherms of cottonseed protein isolate and different forms of cottonseed samples. *Journal of Food Engineering*, v.81, p. 133-143, 2007.

VALLE, H. F. e CAMARGOS, M. **Yes, nós temos banana**. Editora Senac. São Paulo, 2003. Disponível em : <https://www.editorasenacsp.com.br/portal/produto.do?appAction=vwProdutoDetalhe&idProduto=19899>. Acesso m 18 de abril de 2021

VAN DEN BERG, C., BRUIN, S. Water Activity: Influences on Food Quality, Water Activity: Influences on Food Quality. Elsevier. 1981. Disponível em: doi:10.1016/8978-0-12-5913508.50007-3

VILAS BOAS, E. V. B. et al. Características da fruta. In: MATSUURA, F. C. A. U.; FOLEGATTI, I. S. (Eds.). **Banana: pós-colheita**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 15-19.

VILAS BOAS, E.V.B.; CHITARRA, A. B. CHITARRA, M. I. F. Modificação pós-colheita de banana 'Prata' y-irradiada. **Pesq. Agrop. Bras.**, v. 31, n. 9, p. 599-607, 1996.

VIVA MAIS. Uma banana para o desperdício. **Revista Viva Mais**, abril de 2002.
Von LOESECKE, H. W. **Bananas** (2nd ed). New York: Interscience Publishers (pp. 52-66), 1950

YAN, H., CAI, B., CHENG, Y., GUO, G., LI, D., YAO, X., NI, X., PHILLIPS, G.O., FANG, Y., JIANG, F., Mechanism of lowering water activity of konjac glucomannan and its derivatives. *Food Hydrocoll.* 26, 383-388. 2012. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.02.018.

YANNIOTIS S.; BLAHOVEC, J. Moisture analysis of sorption isotherms. *LWT – Food Science and Technology*, v. 42, p. 1688-1695, 2009.

YUYAMA, Lucia K.O. et al. Perfil nutricional das diversas formas de consumo de Banana (*Musa parasidiaca*, variedade pacovã) da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, 2000, v. 30, n. 4 pp. 677. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-43922000304680>>. Acessado em: 9 de junho 2022.

ZAMORA, A. **Carbohydrates - Chemical Structure**. Disponível em: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>. Acesso em: 23 de maio de 2021.

ZANDONADI, R.P.; BOTELHO, R.B.A.; GANDOLFI, L.; GINANI, J.S.; MONTENEGRO, F.M.; PRATESI, R. Green Banana Pasta: An Alternative for Gluten-Free Diets. **J. Acad. Nutr. Diet.** 2012, 112, 1068–1072.