

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

RAFAEL FERREIRA PACCA

**CINÉTICA DE SECAGEM E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE ABACAXI
DESIDRATADO**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

RAFAEL FERREIRA PACCA

**CINÉTICA DE SECAGEM E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE ABACAXI
DESIDRATADO**

Relatório final, apresentado à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

Orientadora: Renata Cássia Campos

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

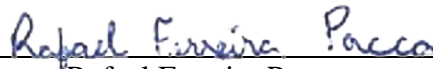
RAFAEL FERREIRA PACCA

**CINÉTICA DE SECAGEM E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE
ABACAXI DESIDRATADO**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 09 de dezembro de 2022.

Assentimento:



Rafael Ferreira Pacca
Autor



Renata Cassia Campos
Orientadora

**“É sempre mais fácil empurrar com a barriga e
deixar o abacaxi para os netos,
mas enquanto o mundo continua parolando,
o termômetro e a água, vão subindo.”
(Jose-Manuel Thomas Arthur Chao)**

RESUMO

O beneficiamento de frutas e verduras é feito a milênios a fim de se preservar os alimentos aumentando sua durabilidade e facilitando o transporte. Dentre as técnicas de beneficiamento destaca-se a desidratação, processo que consiste na retirada de água do produto através do calor, sem que haja o cozimento. A desidratação de alimentos é uma grande aliada contra o desperdício de recursos e aproveitamento integral de frutas, sendo ainda pouco explorada no Brasil, principalmente no que diz respeito ao processamento de frutas locais. Das frutas tropicais o abacaxi Pérola, *Ananas comosus*, é uma das mais consumidos no Brasil, sendo um fruto nativo das Américas. Assim objetivou-se através do presente trabalho descrever a cinética de secagem do abacaxi, além de determinar características físico-químicas do abacaxi desidratado e analisar os custos envolvidos na produção. Para determinar a quantidade de água presente em diferentes colorações de frutos foi aplicado método da secagem em estufa a 105 °C/24h, chegando a 88 % de água em base úmida para o abacaxi in natura. Para análise da cinética de secagem, a desidratação foi conduzida nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, determinando-se a curva de secagem e perda de água, para cada temperatura. O tempo transcorrido para se alcançar 20 % de teor de água em base úmida foi de 11, 10 e 6,3 horas para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C respectivamente. Para desidratação a temperatura de 50, 60 e 70 °C foi levantado o custo de produção levando-se em conta os custos com energia elétrica, matéria prima e mão de obra. A caracterização nutricional, umidade final e atividade de água foram obtidas para o abacaxi desidratado produzido a 60 °C. O produto final dos processos de remoção de água a diferentes temperaturas apresentou características semelhantes visualmente e sensorialmente. Em relação ao tempo necessário para a desidratação, uniformidade do produto e manutenção de vitamina C, observou-se que a temperatura de 60 °C foi a que proporcionou melhor resultado.

Palavras-chave: *Ananas comosus*. Curva de secagem. Desidratação. Taxa de secagem.

ABSTRACT

Fruit and vegetable processing is an ancient technology, to increase food durability and facilitate transportation. Dehydration is one of the most applied techniques, it consists of water removal from a product without it being cooked. Food dehydration can be a viable alternative to reduce fruit waste and possibilities the allocation of leftovers and extra products on the fruit distribution and production chain, local fruits dehydration is not much explored in Brazil. One of the most consumed tropical fruits in Brazil is the pineapple, Perola variety, native to the American continent. The main objective with this work is the analysis of the drying kinetics of the pineapple, analyse the chemical and fiscal properties of the dried pineapple and the costs involved to dehydrate. To know the water rate of the fresh fruit the greenhouse method was applied, drying the slices until constant weight at 105°C, obtaining the result of 88% water content in humid base. For drying kinetics analysis, dehydration was applied, using an electrical equipment, at different drying air temperatures 50, 60, 70 °C, determining the curve of moisture ratio and water loss, for each temperature, and the time took to reach 20% of water content on a humid base of 11, 10 and 6.3 hours, respectively. For dehydration at the temperature of 50, 60 and 70°C, the cost of production was raised considering electrical energy, raw material and labour. The nutritional characterization and analysis of water activity and content in the finished product was analysed for the pineapple dehydrated at 60 °C. The final product of the water removal processes, at different temperatures, presented similar characteristics visually and sensorially, but considering how long took each production, uniformity of the product and maintenance of vitamin C, it was observed that the temperature of 60 °C generates a final product that meets the production standards of the partner company, being indicated operation setup.

Keywords: *Ananas comosus*. Dehydration. Drying curve. Drying rate.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1 Caracterização da Matéria Prima e Desidratadora	9
2.2 Preparação do Abacaxi e Processo de Desidratação	11
2.3 Determinação Teor de Água Abacaxi in natura	12
2.4 Cinética de Secagem	13
2.5 Análise Nutricional	16
2.6 Análise Econômica e Energética	17
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1 Teor de Água e Matéria Seca	18
3.2 Remoção de Água em Diferentes Temperaturas	19
3.3 Análise da Cinética de Secagem	24
3.4 Análise Econômica e Energética	26
3.5 Avaliação do Abacaxi Desidratado	28
4 CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Os hábitos alimentares vêm modificando e adaptando-se ao modo de vida contemporâneo. Com o cotidiano cada vez mais intenso nos centros urbanos, alimentos industrializados, com alta durabilidade e de consumo rápido vem se tornando populares, gerando uma preocupação com a qualidade da alimentação. Consumidores tem demandado por alimentos mais saudáveis como frutas, porém seu alto teor de água impossibilita que sejam armazenadas por muito tempo, abrindo espaço para os processados (SANTOS; SILVA, 2008).

Outra questão presente no Brasil nos dias atuais é a fome, em um dos países que mais se produz alimentos, a má distribuição e o desperdício são alguns dos responsáveis por este cenário. Só na comercialização o Brasil desperdiça alimentos suficientes para satisfazer a demanda nutricional de 11 milhões de pessoas (FAO, 2016). Na produção, beneficiamento e transporte ocorre a perda de alimentos, já o desperdício acontece no momento de consumo ou de vendas em varejo (MAPA, 2019)

O beneficiamento em agroindústrias familiares atende as demandas contemporâneas, resgatando práticas tradicionais, sem o uso de componentes artificiais atualmente empregados em massa na indústria alimentícia, além de possibilitar o aproveitamento de frutas e vegetais que possivelmente seriam desperdiçados. Existem diversas formas de beneficiamento de alimentos aplicadas por agroindústrias, se destacando a desidratação, por gerar produtos estáveis com boas características sensoriais e nutricionais (TIRADO et al., 2017).

A desidratação é um processo que consiste na remoção de água do produto, isto diminui a ação de microrganismos e reações enzimáticas (CELESTINO, 2010). A desidratação se difere da secagem a medida em que a secagem em geral é feita para reduzir a umidade em poucos pontos percentuais, objetivando-se a conservação do produto sem grandes alterações no aspecto físico. Por sua vez a desidratação, busca remover a maior parte da água presente no produto, concentrando-se assim sabor e nutrientes, alterando cor, forma e textura, modificando as características físicas para além da necessidade de conservação.

Uma das formas de conservação de alimentos mais antigas consiste na diminuição da atividade de água (BOURDOUX, et al., 2016). Frutos e vegetais têm sido desidratados buscando-se maior tempo de prateleira, além de um menor consumo de embalagens o que

implica em facilidades no transporte, reduzindo o desperdício de recursos (SAGAR; SURESH KUMAR, 2010).

As frutas tropicais têm sido bastante consumidas em seu centro de origem e são ricas em sabor e vitaminas, sendo de grande importância para a população desta região (LOPÉZ-MALO et al., 1994). Uma das preferidas pelos clientes de frutas desidratadas que buscam pelo equilíbrio entre sabores doces e ácidos é o abacaxi. O fruto é uma fonte de carboidratos, fibras, minerais como, cálcio, fósforo, sódio, ferro e potássio, além de vitaminas A, B1, B2, B3, B5, B6, B9 e C (PICADO, 2017).

O abacaxi, *Ananas comosus*, é uma planta tropical nativa da América do Sul e América central (CHAUDHARI et al., 2015). O Brasil é o segundo maior produtor mundial e tem a maior parte de sua produção absorvida pelo mercado interno, gerando uma receita que supera 2 bilhões de reais anualmente (Embrapa, 2022).

Levando em consideração o cenário desafiador no que diz respeito a uma produção sustentável, garantia por alimentos de qualidade e soberania alimentar, faz-se necessário o estudo da cadeia de produção e distribuição nas diferentes esferas, desde o planejamento, gestão, execução e comercialização, sempre considerando os processos econômicos, sociais e ambientais envolvidos.

Com o desenvolvimento da produção de frutas desidratadas, diversas são as descobertas e demandas a serem atendidas. É necessário o aprimoramento de técnicas de produção, análises físico-químicas da matéria prima e produto final, adequação a legislação, melhorias no processamento, inovações na criação de novos produtos e aproveitamento integral de alimentos.

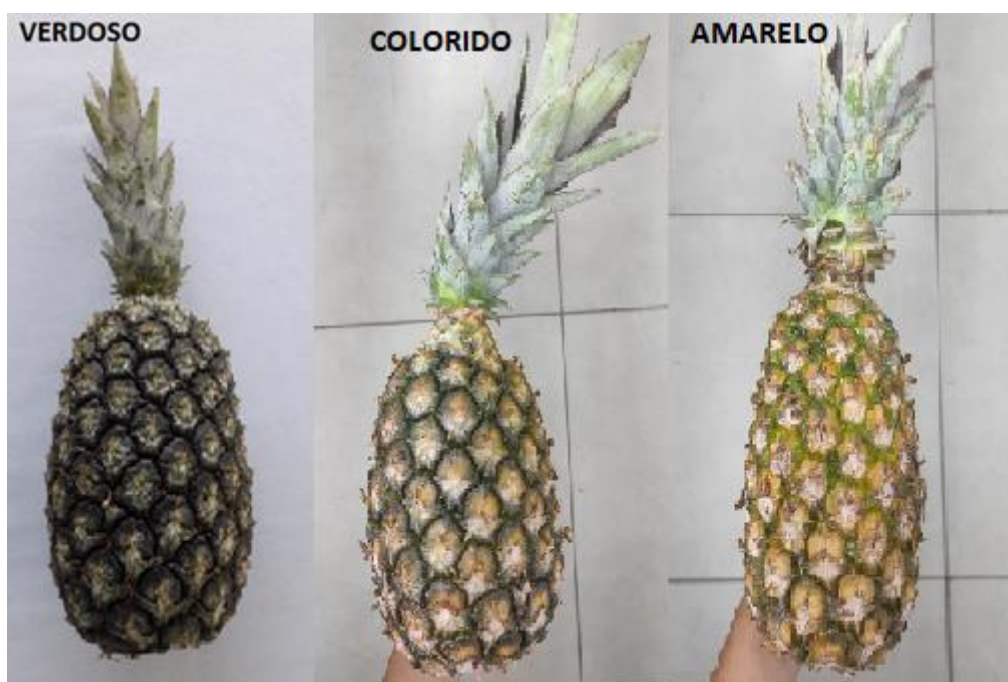
Atrvés do presente trabalho tem-se o intuito de descrever a cinética de secagem do abacaxi, *Ananas comosus*. Determinar as características físico-químicas e composição nutricional do abacaxi desidratado. Realizar uma análise econômica e energética do processo de desidratação do abacaxi.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da Matéria Prima e Desidratadora

O abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill), variedade Pérola, utilizado na pesquisa foi adquirido em comércios de hortifruti na região de Viçosa-MG. Na Zona da Mata mineira existe oferta abundante do fruto durante todo ano, por estar localizada próximo a grandes centros produtores nos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro. Para a realização do estudo foram adquiridos frutos em estádios de coloração distintos (Figura 1). A cor da casca do abacaxi varia de verdoso a amarelo (EMBRAPA, 2013). Sendo possível analisar a diferença na quantidade de água presente em cada abacaxi e seu teor de matéria seca.

Figura 1- Imagens de abacaxi com diferentes colorações, classificados conforme manual EMBRAPA (2013)



Fonte: Autor.

Os frutos não-climatéricos, como o Abacaxi, devem ser colhidos em estágio de maturação plena, pois não seguem se desenvolvendo após colhidos (COSTA, 2011). Por ser um fruto que após colhido não se diferencia em termos de maturação, uma forma de classificação é a cor de sua casca, uma maneira eficiente de apontar suas características e

possível tempo desde a colheita. No presente estudo foram utilizados abacaxis verdosos, coloridos e amarelos, mostrados na Figura 1. Para comercialização em relação a cor da casca o abacaxi é classificado como amarelo, quando a casca está 50% ou mais amarela, colorido quando está com a casca entre 25% e 50% amarela, pintado com até 25% da casca amarela e o verdoso fruto de coloração verde (EMBRAPA, 2013).

O equipamento utilizado para a desidratação conforme apresentado na Figura 2, trata-se da desidratadora Cerrado 10, marca Pleno Sol. Possui capacidade para 10 bandejas com tela de inox de dimensões de 50cm x 50cm, a fonte de energia é unicamente elétrica conectada em 220V. O aquecimento é feito através de 4 resistências helicoidais presentes em seu interior que tem uma potência de 375W cada. O equipamento conta com dois sistemas de aeração, sendo um de exaustão constante e outro de ventilação. A ventilação pode ser ativada de forma manual através de botão e também automática controlada pelo higrostatato (ZL-7816A), onde pode ser feito o setup de temperatura e umidade relativa na qual deseja-se acionar o ventilador. Já o controle de temperatura é comandado pelo controlador PID (PT100), que atua sobre as resistências elétricas, sendo inserida a temperatura desejada pelo usuário entre 20°C e 70 °C.

Figura 2 – Desidratadora Cerrado 10 Pleno Sol, elétrica 220V

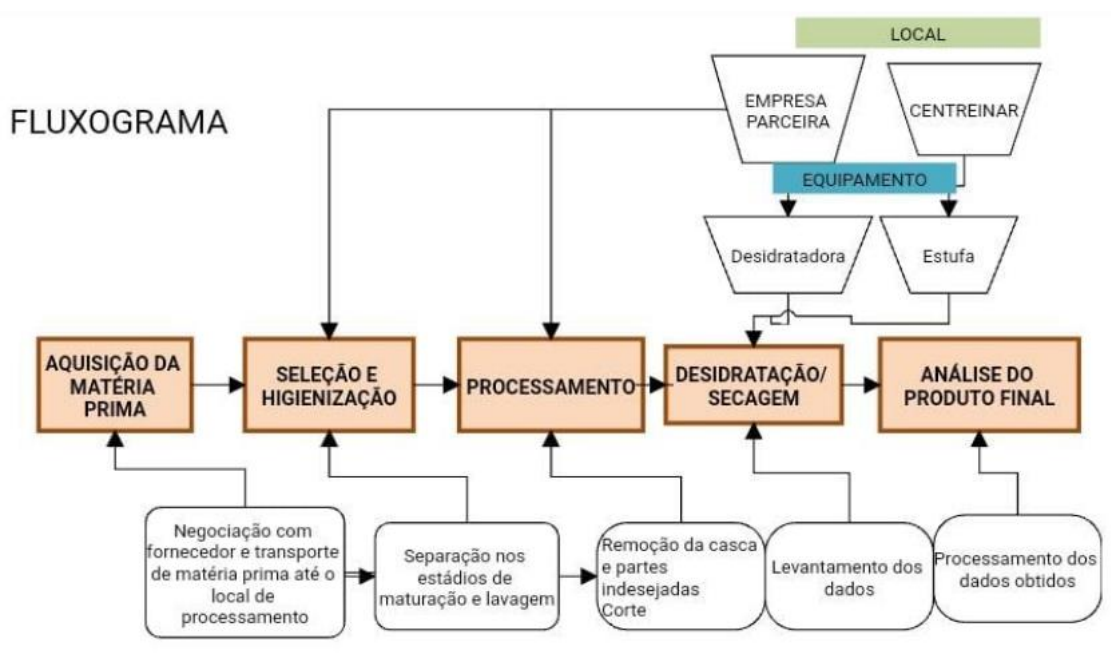


Fonte: Autor.

2.2 Preparação do Abacaxi e Processo de Desidratação

O processo produtivo do abacaxi desidratado produzido comercialmente foi reproduzido nos experimentos realizados no trabalho conforme o fluxograma apresentado na Figura 3, onde é detalhada cada uma das etapas do processo além de separar onde foi realizado cada um dos processos e o equipamento utilizado.

Figura 3- Processo e etapas realizadas no trabalho: secagem, desidratação e estufa

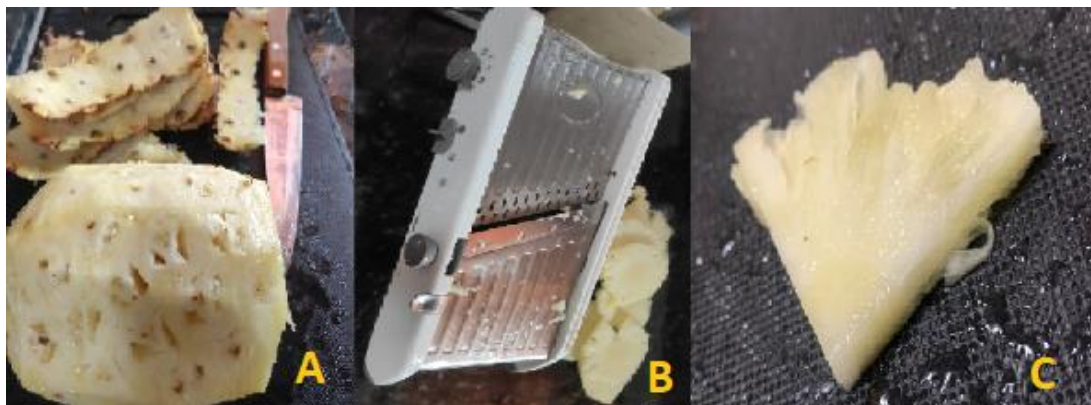


Fonte: Autor.

O abacaxi depois de adquirido, foi transportado até o local de produção, em seguida iniciou-se o processo de produção com a limpeza dos frutos, sendo colocados em contato com água corrente e mantidos em solução contendo 1% de água sanitária durante 30 minutos, em seguida foram novamente enxaguados em água corrente.

Após o processo de higienização os frutos foram descascados (Figura 5a) e cortados na transversal em seção circulares que foram divididas em quatro partes, criando fatias (Figura 5c) de 5mm de espessura com uso do mandoline (Figura 5b). O mandoline consiste num equipamento que padroniza a espessura das fatias através da regulagem da lâmina de corte, assim foi possível ter uma matéria prima uniforme o que é necessário para o bom resultado do processo de desidratação.

Figura 5 – Imagens de Abacaxi descascado (a), mandoline (b) e fatia de abacaxi (c)



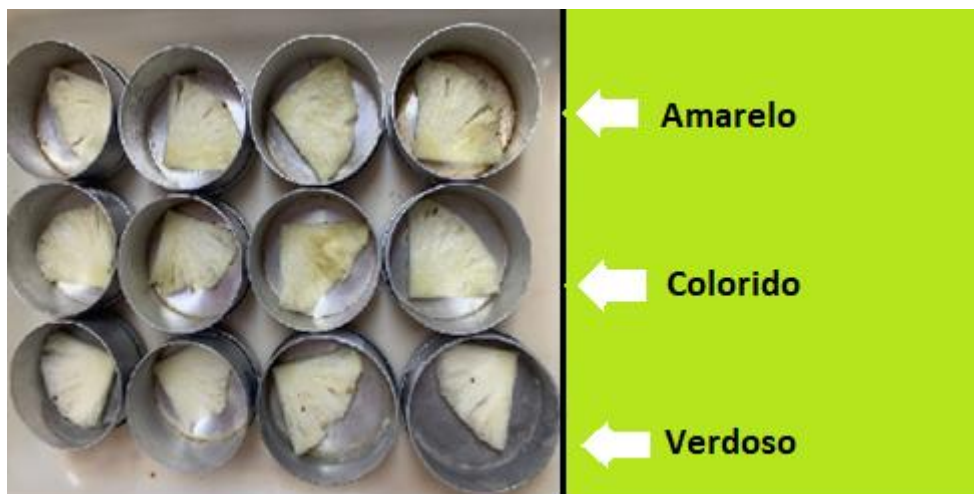
Fonte: Autor.

2.3 Determinação Teor de Água Abacaxi in natura

No Laboratório de Propriedades Físicas de Produtos Agrícolas, localizado no Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR) no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), foi realizado o experimento para determinação do teor de água e matéria seca dos frutos. A secagem foi feita em estufa a temperatura de 105 °C/24h, com as fatias do fruto cortadas na transversal em um quarto de seção circular e espessura de 5 mm.

Foram feitas quatro repetições para cada tipo de coloração do abacaxi: verdoso, colorido e amarelo. Inicialmente foram pesados os cadinhos em balança analítica e posteriormente colocada uma das fatias em cada um destes (Figura 4) e pesados novamente, totalizando 12, sendo identificados. Após 24h em estufa, tempo suficiente para manterem-se em peso constante, as amostras secas foram novamente pesadas em balança analítica.

Figura 4 – Imagens dos cadinhos com fruta in natura e com quatro amostras para cada coloração de casca de abacaxi



Fonte: Autor.

Assim foi possível determinar a matéria seca e a massa de água ao subtrair a massa inicial da final. A razão entre massa de água e massa inicial fornece o teor de água em base úmida, já a razão entre massa de água e massa de matéria seca representa o teor de água em base seca. A determinação do teor de água base úmida e base seca são importantes para compreender melhor a composição do fruto em relação a quantidade de água e determinar quanto de água necessita ser removida pra se obter abacaxi desidratado.

2.4 Cinética de Secagem

A partir da determinação do teor de água do abacaxi e conhecimento da forma como é conduzida a desidratação a nível comercial, a investigação da cinética do processo de secagem foi feita com uso da desidratadora elétrica de 10 bandejas com frutos de abacaxi maduros amarelos, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

As etapas do experimento seguiram a mesma dinâmica de produção que é praticada em empresas de processamento e produção de frutas desidratadas. Isto foi desejável para que os resultados do experimento pudessem refletir ao máximo a realidade do processo produtivo realizado a nível comercial.

As fatias foram distribuídas de maneira uniforme conforme a Figura 6 por todas as bandejas cobrindo toda área, sem que houvesse sobreposição entre pedaços e o mínimo de espaços vazios.

Figura 6 – Imagem da bandeja da desidratadora Cerrado 40 com abacaxi fatiado



Fonte: Autor.

Os três experimentos para as diferentes temperaturas (50, 60 e 70°C) foram conduzidos a partir da mesma preparação das bandejas e frutas, com diferenças apenas na configuração de temperatura e ventilação. O controlador PID, foi definido para manter temperaturas de secagem desejadas em cada experimento. A ventilação, foi programada para ativação automática quando a temperatura interna da desidratadora atingisse 2°C abaixo da temperatura estabelecida para o experimento e umidade relativa do ar de secagem acima de 23%. O sistema de ventilação era desativado quando a temperatura atingisse 3°C abaixo da temperatura desejada no experimento ou umidade relativa do ar de secagem inferior a 21%.

Foram pesadas três das dez bandejas inseridas no desidratador, estas foram distribuídas em 3 posições distintas, conforme apresentado na Figura 7, o que possibilitou realizar uma análise a respeito do funcionamento da desidratadora e a uniformidade do processo de secagem.

Figura 7 – Imagem da desidratadora com as bandejas analisadas numeradas



Fonte: Autor.

As bandejas utilizadas no experimento foram inicialmente pesadas sem o produto e posteriormente com as fatias de abacaxi, dispendo-se as bandejas na desidratadora e iniciando-se o processo de desidratação nas temperaturas de 50, 60, e 70 °C.

A partir do processo iniciado foi feita pesagem das bandejas seleccionadas a cada 5 minutos, na fase inicial, onde ocorre maior perda de água, passando para 10 minutos na fase intermediária, gradativamente até a fase final, onde as pesagens foram feitas com intervalos entre 20 minutos e meia hora. Cada fase foi definida à medida que cada intervalo de pesagem representasse uma remoção de água de aproximadamente 10 gramas por bandeja.

Cada um dos experimentos se encerrou no momento em que o abacaxi desidratado, de todas as bandejas analisadas, encontrou-se desidratado, sendo determinado a partir da análise visual e sensorial, em comparativo com produções comerciais.

Com a pesagem em intervalos de tempo conhecidos, foi possível processar as informações a fim de obter dados a respeito do processo de secagem. Além disso através

da secagem em estufa e determinação do teor de água para o fruto amarelo, foi calculada a massa de matéria seca de abacaxi presente em cada uma das bandejas analisadas.

A massa de água em cada momento do experimento pôde ser determinada subtraindo o peso do abacaxi na bandeja, em determinado tempo, da matéria seca contida na porção. Consequentemente é possível a determinação do teor de água em base seca e base úmida, conhecendo-se o peso inicial e no momento de pesagem, além da massa de matéria seca.

Buscando compreender melhor o processo de desidratação determinou-se a taxa secagem apresentada na equação 1, sendo definida ponto a ponto a fim de se obter uma curva característica de secagem.

$$TS = \frac{U - U_f}{U_i - U_f} \quad (1)$$

Em que:

TS = taxa de secagem no tempo t , que tem valores entre 0 e 1;

U = umidade em base seca no tempo t ;

U_f = umidade final em base seca; e

U_i = umidade inicial em base seca.

2.5 Análise Nutricional

Para análises nutricionais foi feito o pedido e envio de amostra de 500g de abacaxi desidratado a 60 °C para o Laboratório de Análises de Produtos Alimentícios – LAPA localizado no Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFV. Sendo feitas análises nutricionais de carboidratos (método da diferença), proteína (métodos físico-químicos para análise de alimentos, Instituto Adolf Lutz), fibra bruta (métodos físico-químicos para análise de alimentos, Instituto Adolf Lutz) e sódio (métodos físico-químicos para análise de alimentos, Instituto Adolf Lutz). Além disso foi determinada a atividade de água através do equipamento Aqualab e teor de água pelo método da secagem em estufa.

2.6 Análise Econômica e Energética

A fim de se obter uma análise econômica e energética para a desidratação de abacaxi, foi determinado o consumo de energia e seus encargos, considerando a instalação que alimenta a unidade de beneficiamento e equipamento utilizado. Sendo assim calculou-se a demanda de energia elétrica exigida durante o processo, conhecendo-se a potência e tempo de funcionamento, assim foi possível determinar a energia necessária para remover cada litro de água do abacaxi, além do custo gerado com energia elétrica por quilograma de abacaxi desidratado.

Além da análise da demanda por energia foram avaliados outros custos diretos envolvidos na produção, mão de obra e quantidade de matéria prima requerida. Durante o processamento do abacaxi para os experimentos foi levantada a quantidade e peso dos frutos utilizados, também foi determinado o tempo necessário para realizar as tarefas de organização do espaço, preparação e remoção das fatias das bandejas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teor de Água e Matéria Seca

A determinação da massa de matéria seca para as diferentes colorações do abacaxi gerou os resultados apresentados no Quadro 1, sendo definido o percentual de matéria seca para cada amostra e a média para cada tipo.

Quadro 1 – Componentes água e matéria seca em base úmida para abacaxi com diferentes colorações de casca, secagem em estufa 105 °C/24h

Maturação	Amostra	Matéria seca	Água
Verdoso	Variância	0,773452018	
	Média	12,16%	87,84%
Colorido	Variância	0,7757582911	
	Média	11,74%	88,26%
Amarelo	Variância	0,7704895682	
	Média	12,21%	87,79%

Fonte: Autor.

De acordo com Quadro 1, pode-se perceber que o abacaxi tem um teor de água médio em torno de 88 % em base úmida, variando pouco para as diferentes cores de casca. Aplicando-se o teste de Tukey para as médias observa-se que são estatisticamente iguais a um nível de significância de 5 %, sendo assim não existe diferença significativa no teor de água dos diferentes estádios de coloração.

Um teor de água similar nos diferentes frutos é esperado visto que são todos colhidos maduros, existindo variações notáveis em relação ao sabor, aroma e coloração com o passar do tempo após a colheita, indo de verde para amarelo. Pensando na cadeia de produção o abacaxi produzido quando comercializado distante do local de cultivo é colhido verdoso para que seja menos susceptível a danos mecânicos e dure por mais tempo, porém encontrando-se idealmente em seu estágio pleno de desenvolvimento e maturação.

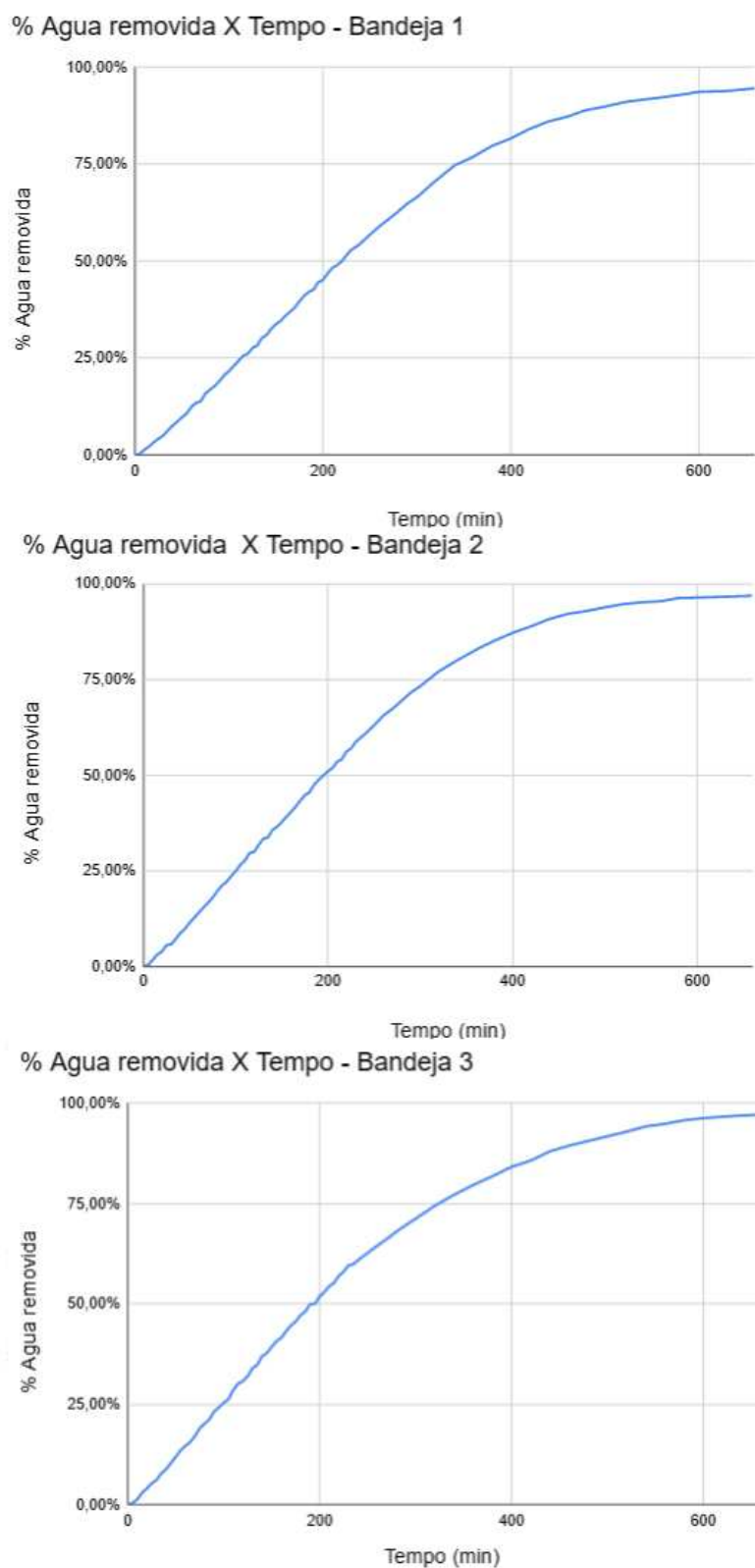
Como apresentado no Quadro 1, não existe diferença significativa no tocante ao teor de água dos diferentes frutos, porém com o passar do tempo a casca passa a ficar mais amarela além de outras alterações de sabor. O armazenamento do abacaxi, após colhido, gera um aumento no teor de açúcares e valor de pH, além de uma diminuição no teor de água e vitamina C (SHAH et al., 2015).

3.2 Remoção de Água em Diferentes Temperaturas

Considerando a compilação dos dados gerados pelos experimentos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, foi medida uma massa de 1000g para uma unidade de abacaxi amarelo. Após descascado e picado em rodela divididas em seções de um quarto este peso diminuiu para metade. Cada uma das bandeja de 50cm x 50cm foi ocupada, em média, por 930g de abacaxi processado, o que corresponde a dois frutos inteiros. Ao final do processo chega-se a 140g de produto final desidratado em cada bandeja, uma perda de 790g de líquido. O total de água removido pelo equipamento foi de 7900g de água durante todo processo de secagem, que durou de 6 a 11 horas a depender da temperatura do equipamento.

Para a temperatura de 50 °C a perda de água em relação ao tempo para cada uma das bandejas utilizadas no experimento é apresentada na Figura 8. Em todas as bandejas a remoção de água durante o processo foi superior a 94 %, sendo que houve uma maior remoção na bandeja inferior e diminuição nas bandejas superiores o que evidenciou a formação de um gradiente de umidade, de baixo para cima, com diferença percentual de 3 % na água removida. O tempo para se chegar no ponto de desidratação foi de 11 horas, sendo o teor de água médio em base úmida de 20,95 % o que pode caracterizar o produto como desidratado de acordo com as exigências e padrão de produção.

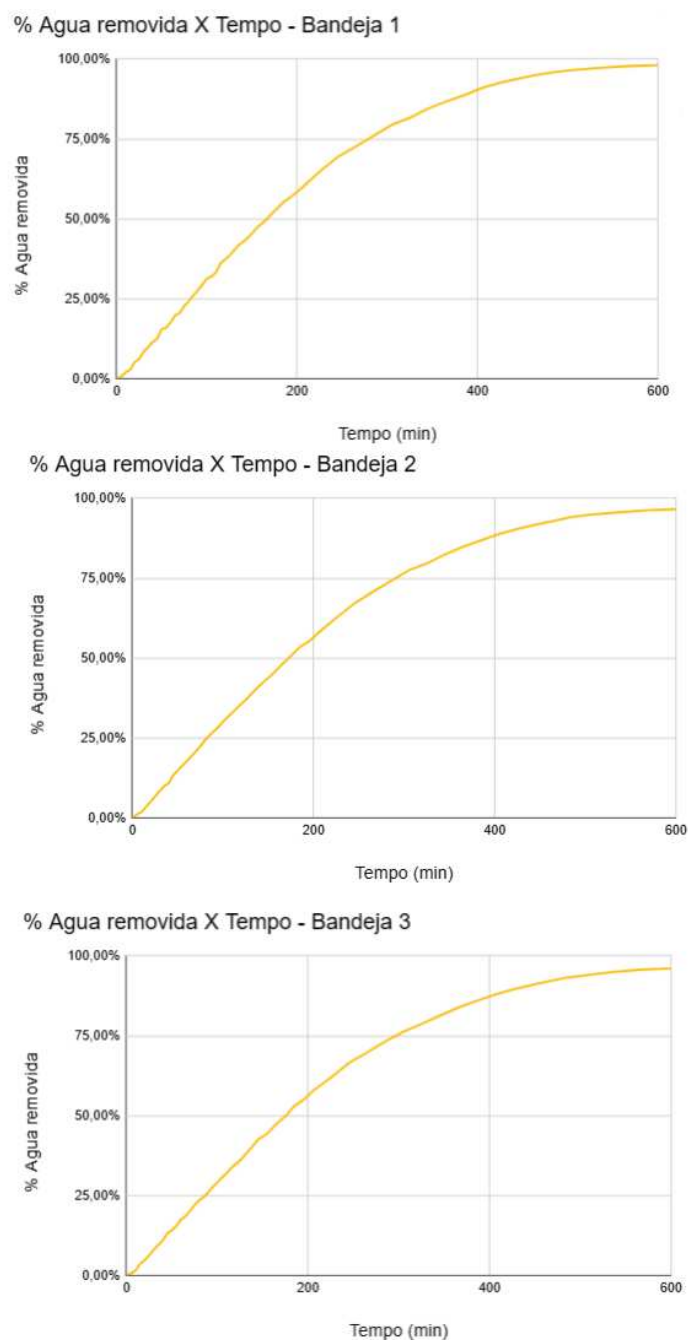
Figura 8 – Curvas de remoção de água em base úmida, desidratação a 50°C



Fonte: Autor.

Para temperatura de 60 °C conforme mostrado na Figura 9, a remoção de água nas diferentes bandejas analisadas foi bastante similar, demonstrando a boa eficiência e padronização do equipamento, sendo a temperatura usual de desidratação utilizada por produtores de abacaxi desidratado. O tempo para se chegar no produto usualmente produzido, foi de 10 horas, chegando a um teor de água m base úmida média de 17,90 % o que pode caracterizar o produto como desidratado.

Figura 9 – Curvas de remoção de água em base úmida, desidratação a 60 °C

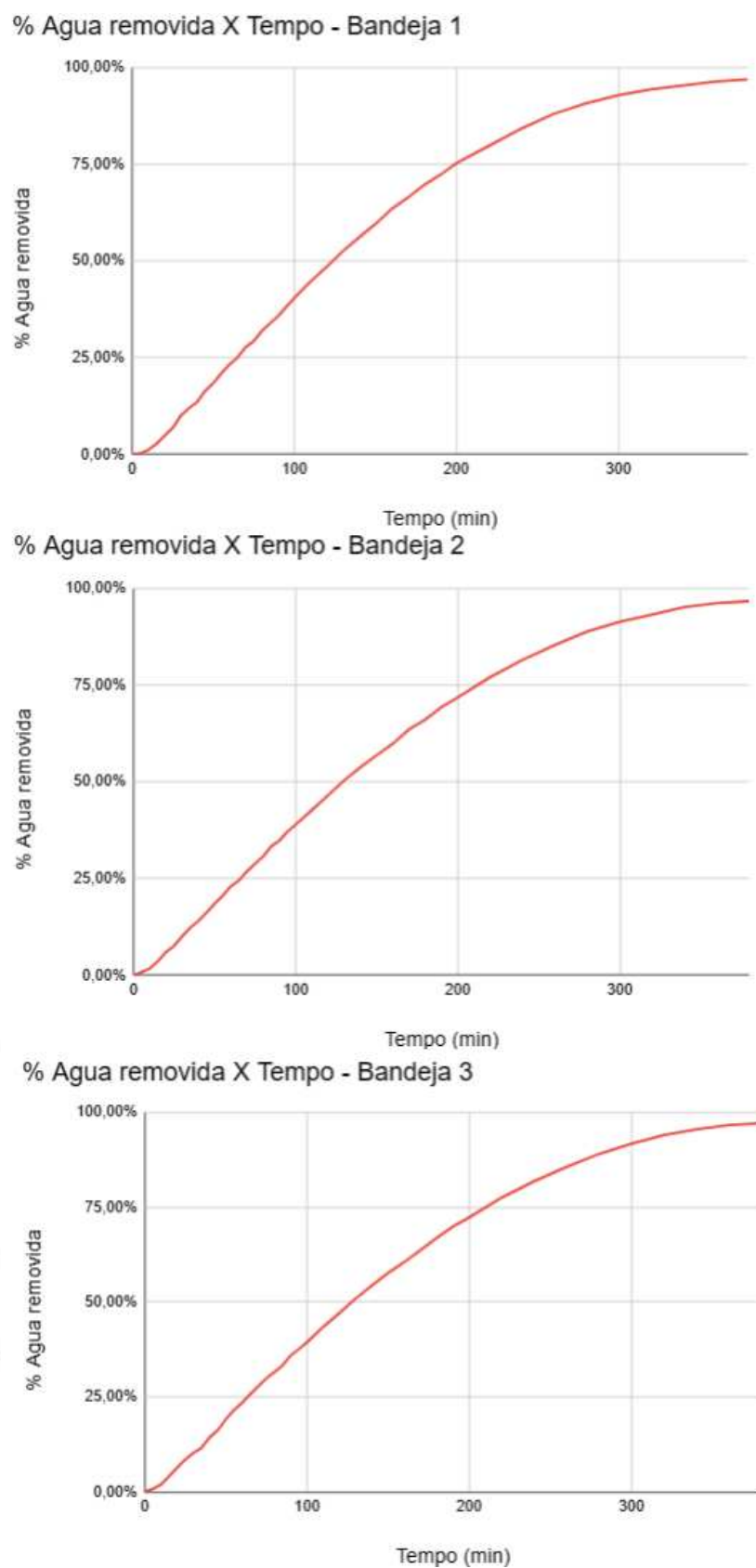


Fonte: Autor.

O gradiente de remoção de água na desidratação a 60 °C foi o inverso do que o utilizando-se 50 °C, ocorreu uma maior remoção nas bandejas superiores diminuindo nas inferiores, uma diferença de 2 %. A inversão com a mudança de temperatura se explica pela atuação do higróstato que atingiu a temperatura de acionamento da ventilação por um tempo muito maior no experimento de 50 °C do que no de 60 °C, sendo assim quando acionado a tendência é de uma maior mistura do ar e distribuição nas bandejas, diferente do que ocorre quando a ventilação é menos acionada e o ar mais quente tende a se acumular na parte superior do equipamento.

Para temperatura de 70 °C o tempo para atingir o nível de secagem usual da foi de 6 horas e 20 minutos, bastante inferior aos demais experimentos e a remoção de água foi similar entre as bandejas (Figura 10) de cerca de 97 %, com variação inferior a 1% , sendo assim a desidratação a 70 °C mostrou-se bastante uniforme do ponto de vista das bandejas como um todo.

Figura 10 - Curvas de remoção de água em base úmida. desidratação a 70 °C



Fonte: Autor.

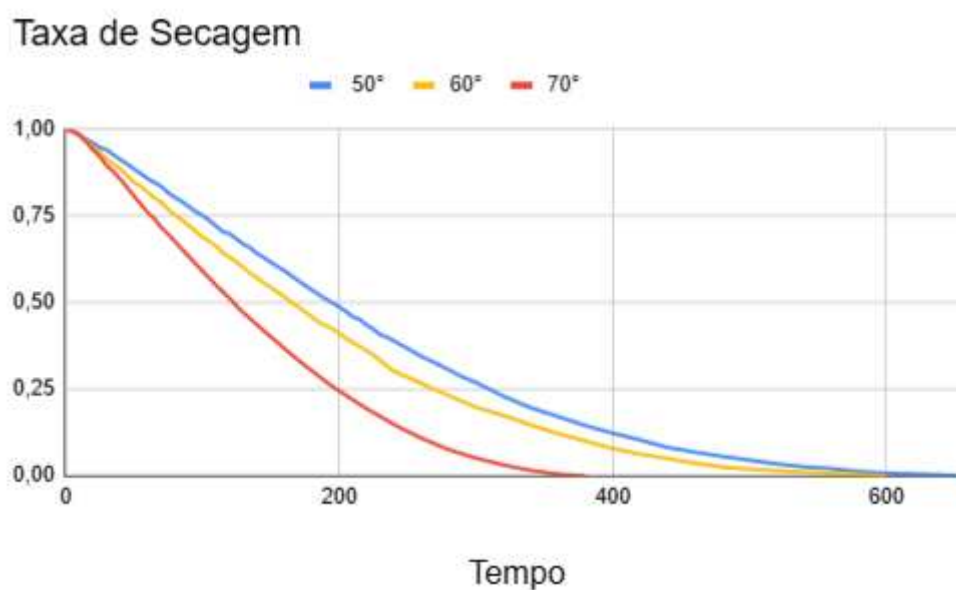
Na temperatura de 70 °C, diferente das demais, ao se fazer uma análise mais criteriosa do processo observando as bandejas individualmente pôde se perceber que as fatias mais do centro perderam menos água do que as da extremidade. Isto se deve a dificuldade em manter a temperatura no centro da bandeja, pois as fatias de abacaxi localizadas nesta região estão mais afastadas das resistências que aquecem o ar. Outro fator foi dificuldade do ar de secagem entrar em equilíbrio com as resistências que produzem calor, o que fez com que o higróstato não chegasse temperatura de acionamento da ventilação, fazendo com que houvesse um fluxo de ar mais concentrado no centro, criado a partir do exaustor, do que nas extremidades onde se encontra a fonte de calor.

Após o processo de desidratação as fatias foram mantidas nas bandejas com a porta da desidratadora fechada e o equipamento desligado, até que chegassem a temperatura ambiente, sendo assim removidas e embaladas em caixas plásticas herméticas.

3.3 Análise da Cinética de Secagem

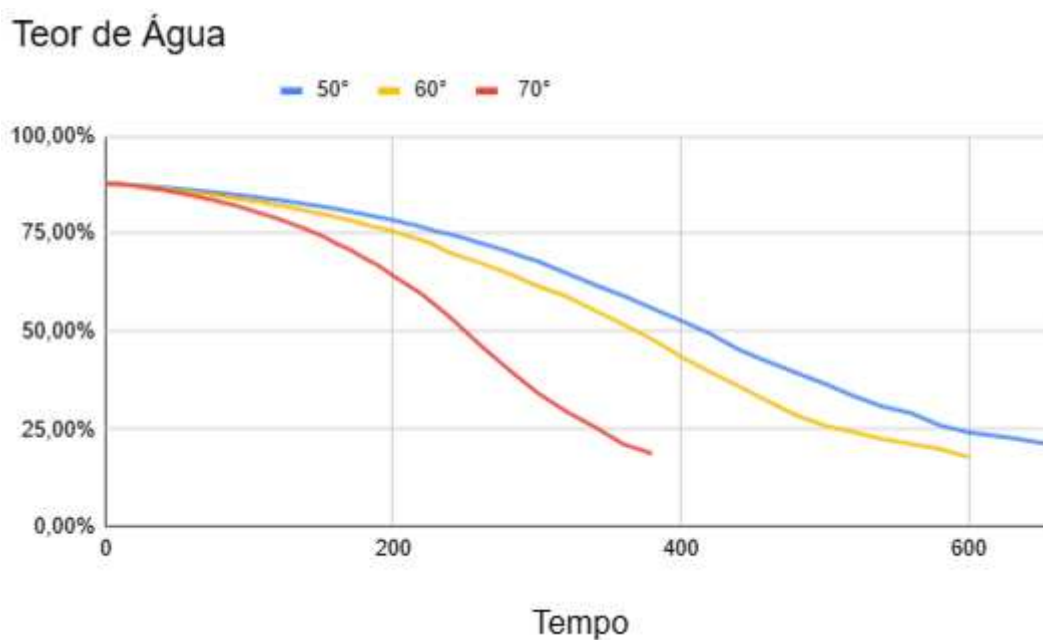
A partir dos dados de massa das bandejas com frutos durante o processo de secagem pôde ser realizada a análise do processo de secagem através da média entre as 3 bandejas para cada uma das temperaturas estudadas. Além disso é possível ainda comparar os processos no que tange a razão de umidade (Figura 11) e a diminuição da umidade base úmida do produto (Figura 12).

Figura 11 - Gráfico da taxa de secagem para diferentes temperaturas durante o processo de desidratação



Fonte: Autor.

Figura 12 - Gráfico do teor de água em base úmida para diferentes temperaturas durante o processo de desidratação



Fonte: Autor.

De acordo com os gráficos 11 e 12, foi possível perceber que inicialmente a temperatura de secagem não gera grande diferença na remoção de água do produto. A

partir do momento em que ocorre o equilíbrio térmico entre o abacaxi e o ar de secagem a inclinação da curva aumenta, de maneira a refletir uma remoção de água mais intensa. A diferença entre as temperaturas é nítida, a velocidade da perda de água é diretamente proporcional a temperatura, porém não de forma linear. É possível através dos gráficos perceber uma semelhança entre o comportamento a 50 e 60 °C, porém no segundo acréscimo de 10 °C resultando em 70 °C o processo é bastante acelerado diminuindo o tempo de secagem em 4 horas.

Uma análise comparativa entre as diferentes temperaturas de desidratação analisadas, deve considerar que a cinética de secagem, ilustrada nas Figuras 11 e 12, não deve ser o único fator a ser levado em conta na determinação da temperatura de secagem ideal, visto que objetiva se remover água do produto preservando se características de sabor, cor e nutricionais. Para um mesmo teor de água final do abacaxi desidratado o aumento na temperatura acelera o processo, porém também aumenta a degradação do ácido ascórbico (RAMALLO; MASCHERONI, 2012).

Do ponto de vista logístico e prático é de grande interesse do produtor diminuir o tempo de desidratação a fim de se reduzir custos e possibilitar uma maior produtividade, porém no que diz respeito a padronização do produto e teor de vitaminas há um decréscimo na qualidade com o aumento da temperatura, assim deve se ponderar quais aspectos são mais relevantes para o produtor e que tipo de produto deseja se alcançar com o processo.

3.4 Análise Econômica e Energética

Um fator importante a ser levado em conta pensando na produção de frutas desidratadas é o custo para realizar o beneficiamento, desta forma foi realizada a análise do ponto de vista energético considerando as características do equipamento e sua utilização nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados energéticos e custos gerados para desidratação do abacaxi

Grandezas	Temperatura de desidratação (°C)		
	50	60	70
Potência (W)	1500	1500	1500
Abacaxis por bandeja (unidade)	2	2	2
Peso fruta inicial por bandeja (g)	944	953	894
Peso fruta final por bandeja (g)	146	142	134
Água removida por bandeja (g)	798	811	760
Bandejas (un)	10	10	10
Tempo (min)	660	600	380
Água removida total (litros)	7,98	8,11	7,60
Trabalho (Mega Joule)	59,4	54,0	34,2
Energia para remoção de água (kJ/l)	7443	6658	4500
Energia por fruta fresca (kJ/kg)	6292	5666	3825
Consumo de energia (kWh)	16,5	15,0	9,5
Tarifa energia rural	R\$ 0,70 /kWh		
Custo total com eletricidade	R\$ 11,55	R\$ 10,50	R\$ 6,65
Custo eletricidade do abacaxi desidratado	R\$ 7,91 /kg	R\$ 7,41 /kg	R\$ 4,96 /kg

Fonte: Autor.

Para os resultados apresentados na Tabela 1 considerando-se a potência nominal do equipamento e a tarifa de energia rural do município de Viçosa, foi possível calcular o custo com energia elétrica por quilograma de abacaxi desidratado a diferentes temperaturas, sendo uma métrica importante para precificação do produto.

Outra métrica calculada através dos resultados apresentados na Tabela 1 é a quantidade de abacaxis in natura necessária para se produzir um quilograma da fruta desidratada (Figura 13). Considerando que cada abacaxi com casca tem torno de 1000g e que após descascado esse peso cai pela metade, foram necessários 14 abacaxis para se produzir 1kg de abacaxi desidratado.

Observando os resultados da Tabela 1 o menor custo e tempo para desidratação é obtido trabalhando com a temperatura de 70 °C , porém devem ser realizados estudos envolvendo o controlador PID para comprovar o tempo exato de atuação das resistências elétricas para uma precificação mais precisa.

O custo com mão de obra, foi determinado como sendo de 4h de serviço e utilização com carga completa da desidratadora de 10 bandejas de 50x50 cm. Para produção do abacaxi desidratado foi necessária a realização das seguintes tarefas: preparar o local de trabalho (30 min), higienizar e lavar os abacaxis (30 min), descascar e fatiar (1 hora), dispor nas bandejas (30 min), limpar local de trabalho e descartar resíduos (30min) e por fim remover das bandejas e embalar o produto (1 hora). Na Tabela 1 é apresentada a produção por bandeja, considerando-se 10 bandejas, um ciclo de desidratação de abacaxi gera cerca de 1400g de produto final, assim é possível determinar que para se produzir 1kg de abacaxi desidratado são necessárias 3 horas de serviço.

Figura 13 – Imagem do abacaxi desidratado



Fonte: Autor.

3.5 Avaliação do Abacaxi Desidratado

Para estar em conformidade com o artigo 4º da RDC Nº 429 de 2020, alimentos embalados em ausência do consumidor, devem obrigatoriamente conter uma tabela nutricional no rótulo do produto (ANVISA, 2020). Sendo assim os resultados das análises nutricionais e físicas em laboratório apresentadas na Tabela 2 são relevantes pois possibilitam conhecimento a respeito do produto e oportunidade de regularização da produção junto aos órgãos competentes.

Tabela 2 - Análise nutricional, teor e atividade de água para abacaxi desidratado a 60 °C

Análise	Resultado
Atividade de água	$0,553 \pm 0,005$
Teor de carboidratos	$81 \pm 2\text{g} / 100\text{g}$
Teor de proteínas	$3,1 \pm 0,1\text{g} / 100\text{g}$
Teor de água	$11 \pm 1\text{g} / 100\text{g}$
Teor de fibra bruta	$3,1 \pm 0,2\text{g} / 100\text{g}$
Teor de sódio	$70 \pm 6\text{ mg} / 100\text{g}$

Fonte: LAPA - Laboratório de Análises de Produtos Alimentícios.

O resultado para teor de água do abacaxi desidratado em laboratório apresentado na Tabela 2, difere do resultado apresentado na Figura 12, para a temperatura de desidratação de 60 °C. No final do processo de desidratação ainda existe água acumulada na superfície das fatias e na bandeja. Desta forma o produto só alcança estabilidade em seu teor de água após o resfriamento e armazenamento, com isso o produto final da forma em que é comercializado contém cerca de 11 % de água, em base úmida, e ao desligar o equipamento de desidratação, estando ainda na bandeja e quente, possui 20 % de água em base úmida.

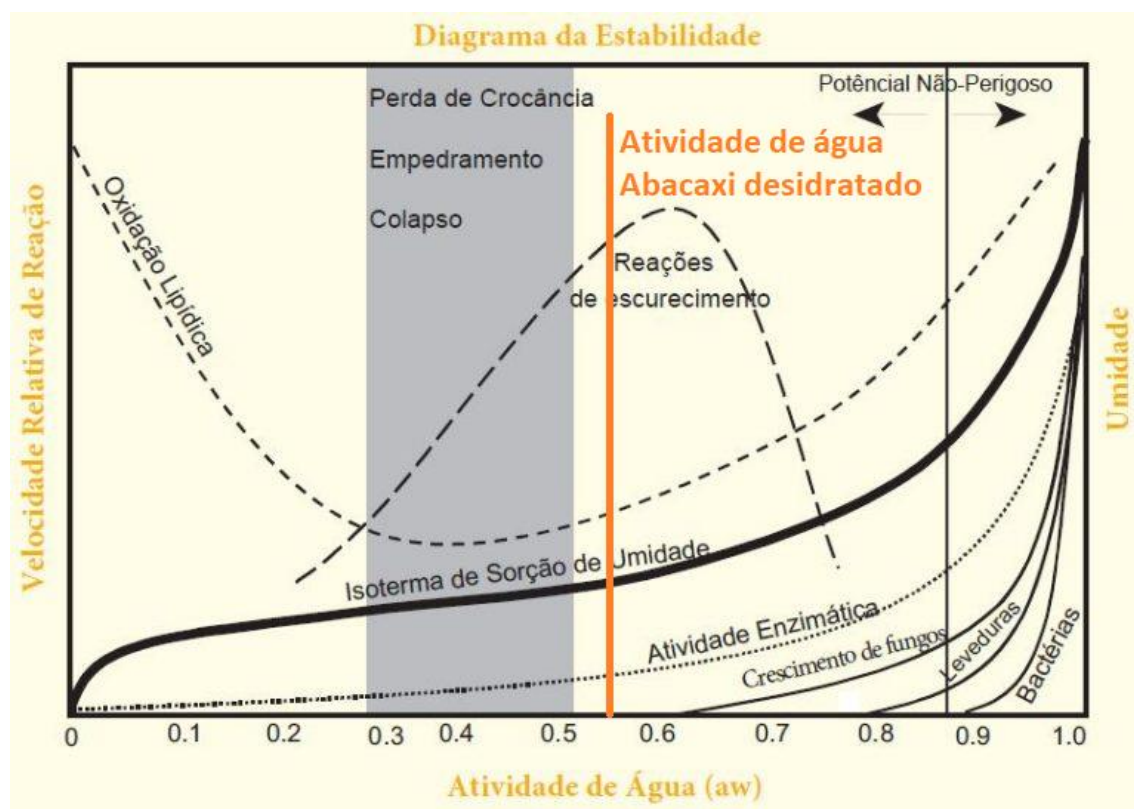
O produto final, ilustrado na Figura 13, assim como esperado mostrou-se uma fonte interessante de fibras e carboidratos apresentada na Tabela 2, contendo teores baixos de proteína e sódio. Uma análise que envolve a determinação do teor de vitaminas em especial a Vitamina C é muito interessante do ponto de vista comercial. Apesar de não ser obrigatória a informação do conteúdo de vitaminas no rótulo, isto pode ser um atrativo para o consumidor que busca por alimentos saudáveis e fontes de vitaminas.

Além da preocupação com vitaminas e minerais, propriedades químicas, físicas e microbiológicas, o produtor de frutas desidratadas deve estar atento a legislação vigente. Os produtores de agroindústria de pequeno porte, artesanais, microempreendedores individuais e agricultores familiares tem até 9 de outubro de 2024 para se adequar a norma RDC Nº 429 (ANVISA, 2022).

Para determinação do tempo de prateleira do produto e sua durabilidade, que são aumentados ao se aplicar o processo de desidratação, são feitas análises microbiológicas, com o passar do tempo, no produto embalado. Um indicador que pode contribuir para uma projeção a respeito da aptidão ao desenvolvimento de

microorganismose e determinação da estabilidade do produto quanto a água disponível, é a atividade de água representada na Figura 14.

Figura 14 – Atividade de água e reações

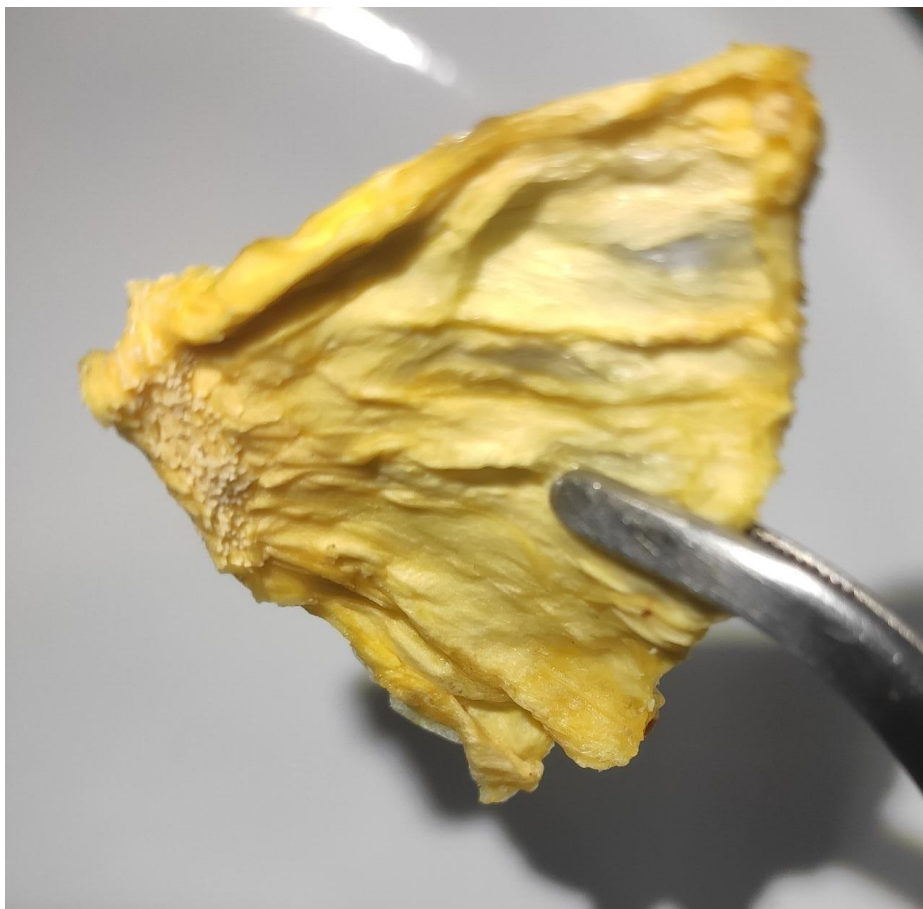


Fonte: Adaptado MeterFood (2022).

Na Figura 14, a atividade de água de 0,55 para o abacaxi desidratado a 60 °C é representada pelo traço laranja. De acordo com as curvas da Figura 14 um produto com essas características tem uma baixa atividade enzimática e desenvolvimento de fungos, leveduras e bactérias próximo de zero. Apesar disso, deve-se considerar que o produto absorve água presente no ambiente, sendo assim deve se priorizar a embalagem do produto após a desidratação. A maneira mais eficiente de aumentar a durabilidade do produto é reduzir ao máximo a absorção de água e consequentemente manter a atividade de água baixa.

O abacaxi desidratado nas diferentes temperaturas resultou em um produto final bastante similar, ilustrado na Figura 15, com redução de espessura de 5mm para 1mm, além de uma diminuição de peso de sete vezes.

Figura 15 – Imagem de fatia de abacaxi desidratado



Fonte: Autor.

O abacaxi desidratado produzido manteve a coloração do fruto, aumentando a intensidade do amarelo, com sabor similar ao abacaxi in natura, porém mais intenso, com acidez e doçura concentradas, tendo potencial de ser comercializado como alternativa saudável a produtos industrializados, além de possível opção para aproveitamento de abacaxis excedentes e fora do padrão no comércio.

4 CONCLUSÃO

O produtor de desidratados pode optar por adquirir o fruto de vez e estocar por alguns dias a fim de alcançar um produto final com sabor mais adocicado, tendo perdas apenas no teor de ácido ascórbico.

O processo de desidratação do abacaxi pode ser realizado de forma a produzir um produto de qualidade nas temperaturas de 50 a 70 °C, removendo a água presente até atingir um teor de água em base úmida de cerca de 11 % e atividade de água 0,55.

Devem ser levados em conta os efeitos positivos e negativos de alteração na temperatura, sendo assim a temperatura de 60 °C mostrou-se eficiente ao gerar um produto uniforme em um tempo de funcionamento intermediário e é a mais indicada para produção de abacaxi desidratado.

Através da desidratadora utilizada com capacidade para aproximadamente 10 kg de fruta picada, o custo de produção, para um quilograma de abacaxi desidratado, pode ser calculado através da demanda energética (10,5kW), matéria prima (14 unidades de abacaxi in natura com peso médio de 1 kg) e mão de obra (3 horas).

O beneficiamento através da desidratação com utilização de equipamento elétrico se mostrou eficiente com remoção de água significativa do produto, a um custo baixo, gerando um abacaxi desidratado de alta durabilidade, valor agregado e boa fonte de carboidratos. O estudo busca incentivar a produção de frutas desidratadas por parte de pequenos produtores e agroindústrias familiares, sendo uma alternativa rentável para aproveitamento de frutas em diferentes momentos da cadeia de distribuição, aumentando seu tempo de prateleira e promovendo a segurança alimentar.

Pensando em futuros trabalhos pode ser feita uma análise energética mais completa levando em conta diferentes fontes de calor, considerando o tempo exato de funcionamento de cada equipamento e matriz energética.

REFERÊNCIAS

- ANVISA. **Resolução de diretoria colegiada - RDC nº 429, de 8 de outubro de 2020**, 2020.
- ANVISA. **Rotulagem nutricional: novas regras entram em vigor em 120 dias**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2022/rotulagem-nutricional-novas-regras-entram-em-vigor-em-120-dias>. Acesso em: 31, out. 2022.
- BOURDOUX, SIMÉON; LI, DAN; RAJKOVIC, ANDREJA; DEVLIEGHIERE, FRANK; UYTENDAELE, MIEKE. **Performance of Drying Technologies to Ensure Microbial Safety of Dried Fruits and Vegetables**. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2016.
- CANO-CHAUCA, MILTON & RAMOS, AFONSO & STRINGHETA, PAULO & MARQUES, JOSÉ & SILVA, POLLYANNA. **Curvas de secagem e avaliação da atividade de água da banana passa**. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, 2005.
- CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.
- CHAUDHARI, A; DHAKE, KUSHAL; MANISHA, MISS. **Osmotic dehydration of pineapple**, 2015.
- CORRÊA, PAULO; MACHADO, PATRÍCIA; ANDRADE, EDNILTON. **Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca**, 2001.
- COSTA, ALINE; RIOS, LINDINEIA; KOBLITZ, MARIA. **Uso de atmosfera controlada e modificada em frutos climatéricos e não-climatéricos**. SITIENTIBUS série Ciências Biológicas. 11, 2011.
- EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Abacaxi - Portal Embrapa**. (2022). Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/abacaxi>. Acesso em: 21, out. 2022.
- EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **O produtor pergunta, a Embrapa responde – Abacaxi**, 2013.
- FAO- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (2016). **Perdas e desperdícios de alimentos na América Latina e no Caribe**. Disponível em: <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/239394/>. Acesso em: 25, out. 2022.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**, 1985.

LÓPEZ-MALO, A., PALOU, E., WELTI, J., CORTE, P., & ARGAIZ, A. **Shelf-stable high moisture papaya minimally processed by combined methods.** *Food Research International*, 27(6), 545–553, 1994.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Perdas e Desperdício de Alimentos**, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/perdas-e-desperdicio-de-alimentos>. Acesso em: 30, nov. 2022.

METERFOOD. **Atividade de Água**, 2022. Disponível em: <https://metergroup.com.br/aqualab/produtos/atividade-de-agua-aqualab/>. Acesso em: 29, nov. 2022.

PICADO, APOLINAR; ALFARO, STEVE; GAMERO, RAFAEL. **Energy and Exergy Analyses of Thin-Layer Drying of Pineapple Slices**, 2017.

PLENO SOL. **Desidratadores Ecoeficientes**, 2022. Disponível em : <https://plenosol.com/>. Acesso em: 27 nov. 2022.

RAMALLO, LAURA; MASCHERONI, RODOLFO. **Prediction and determination of ascorbic acid content during pineapple drying**, 2004.

RAMALLO, LAURA; MASCHERONI, RODOLFO. **Quality evaluation of pineapple fruit during drying process.** Food and Bioproducts Processing - FOOD BIOPROD PROCESS, 2012.

SAGAR, V.R; SURESH KUMAR, P. **Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review.** Journal of food science and technology, p.15, 2010.

SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. **Retention of Vitamin C in Drying Processes of Fruits and Vegetables—A Review**, *Drying Technology*, 2008.

SHAH, ALI; AHIDUZZAMAN, M.; AKHTER, SHARMIN; MATIN, MD; IQBAL, NAFIS; ONIK, JAKARIA CHOWDHURY; RAHMAN, MD. HAFIZUR. **Comparative effects on storage period of varieties Pineapple fruits.** Research in Agriculture Livestock and Fisheries, 2015.

TIRADO, DIEGO; GONZALEZ-MORELO, KEVIN; PUERTA, MARIANO; AHUMADA, OSCAR; ACEVEDO CORREA, DIOFANOR. **Osmotic Dehydration and Hot-Air Drying of Pineapple (*Ananas comosus*).** International Journal of Engineering and Technology, 2017.