

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FERNANDA PIRES NOGUEIRA

SECAGEM DE ABACAXI (*Ananas comosus* L.) POR RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

PATOS DE MINAS
2018

FERNANDA PIRES NOGUEIRA

SECAGEM DE ABACAXI (*Ananas comosus* L.) POR RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia de
Alimentos da Universidade Federal de
Uberlândia - *Campus* Patos de Minas .

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Corrêa de
Santana.

PATOS DE MINAS
2018

SECAGEM DE ABACAXI (*Ananas comosus* L.) POR RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado para obtenção do título de Bacharel no curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia - Campus de Patos de Minas (MG) pela banca examinadora formada por:

Patos de Minas, 08 de março de 2018.



Prof. Dr. Ricardo Corrêa de Santana, UFU/MG



Prof. Dr. Marta Fernanda Zotarelli, UFU/MG



Prof. Dr. Michelle Andriati Sentanin, UFU/MG

Dedico esse trabalho aos meus pais Luis e Fátima, e minha vó Maria Teodora (*in memoriam*),
com toda amor e gratidão, por tudo que fizeram por mim.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho só foi possível graças ao incentivo e apoio de muitas pessoas. Minha eterna gratidão a todos que de alguma forma se fizeram presentes e me ajudaram na realização desse trabalho.

Á Deus, eu agradeço pelo dom da vida, pela saúde, paciência e amor, e por ter permitido que chegasse tão longe.

Aos amores da minha vida, meus pais Luis e Fátima, por todo carinho, compreensão, amor e por terem me proporcionado mudar de cidade para estudar, fazer o curso que amo e hoje estar me formando.

A minha Nathalia por sempre ter me ajudado em tudo que sempre precisei, sem hesitar, por estar ao meu lado nos momentos em que precisei, e por compartilhar todo conhecimento que tem comigo, isso me ajudou bastante para eu ter chegado até aqui.

A minha Vó Maria Teodora, que sempre cuidou de mim, me apoiou e incentivou a estudar, sei que do céu olha por mim.

Aos meus familiares que mesmo distantes, nunca deixaram de me mandar energias positivas e sempre estarem na torcida por mim.

Nessa trajetória, fiz amigos que levarei por toda vida e que fizeram esses cinco anos passarem de uma forma leve e agradável. Igor, Lis, Sara obrigada por terem ficado ao meu lado, me ajudado em tudo que precisei, pela paciência que sempre tiveram e espero levar vocês para sempre comigo.

As minhas amigas de Ituiutaba, que mesmo não estando presentes, sei que sempre torceram pelo meu sucesso.

Aos professores da Engenharia de Alimentos e técnicos de laboratório da UFU Campus Patos de Minas, por todo conhecimento compartilhado, apoio dado e paciência que tiveram no decorrer desses cinco anos.

Ao grupo Pet Engenharia de Alimentos, em especial ao tutor Danylo, por tudo que ensinou nesses anos maravilhosos em que fui petiana. Esse grupo me tornou uma pessoa com foco nos meus objetivos e a trabalhar muito bem em grupo. Agradeço também a todos os petianos com que tive a oportunidade de trabalhar e dividir momentos e experiências incríveis.

A minha banca examinadora, Dr Michelle Sentanin e Dr^a. Marta Fernanda Zotarelli, por terem aceitado avaliar este trabalho.

Ao meu orientador Dr. Ricardo Corrêa Santana, por ter aceitado me orientar, pelos ensinamentos compartilhados, apoio, incentivo e paciência que teve comigo em todos os momentos.

Ter chegado até aqui foi uma grande conquista pessoal, um sonho que pude realizar e sem ajuda de todos que citei não teria sido possível.

Meu muito obrigada!

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.”

(Albert Einstein)

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de abacaxi. Entretanto, devido à elevada perecibilidade da fruta, grande parte dessa produção é perdida na pós-colheita decorrentes da sazonalidade da produção, dificuldades de armazenamento, transporte e ainda a distância dos mercados consumidores. Para reduzir essas perdas faz-se necessário o uso de operações que otimizem o processo, como é o caso das operações de secagem, que visa a redução de umidade e atividade de água dos produtos para prolongar sua vida útil. Sendo assim o objetivo deste trabalho foi analisar a secagem do abacaxi por radiação infravermelho, e através da aplicação dos princípios da técnica de planejamento fatorial de experimentos, estimar os efeitos de temperatura e espessura nas características do produto obtido. Os experimentos foram realizados utilizando variações na temperatura (97, 105 e 113 °C), e na espessura (2, 4 e 6 mm) avaliando a sua influência nas respostas de umidade, cinética de secagem, cor e atividade de água dos abacaxis secos. Os resultados mostraram que os abacaxis apresentaram relativamente uma baixa atividade de água, em torno de 0,43. A umidade foi influenciada pela espessura, evidenciando que em menores espessuras, mais rápido se chegaria a umidade de equilíbrio. A luminosidade do abacaxi seco foi alta, havendo uma redução nos valores do parâmetro a^* , demonstrando uma tendência a serem mais esverdeados e um aumento do parâmetro b^* da análise de cor, demonstrando uma tendência a serem mais amarelos. Além disso, aumentos na temperatura resultaram em redução no tempo de secagem e na umidade do produto final, e menores valores de espessura associados a altas temperaturas atingem o estado de equilíbrio de umidade mais rapidamente.

Palavras-chave: Abacaxi; secagem; radiação infravermelha.

ABSTRACT

Brazil is one of the world's largest producers of pineapples. However, due to the high perishability of the fruit, a great part of this production is lost in the postharvest due to the seasonality of the production, difficulties of storage, transportation and also the distance of the consumer markets. To reduce these losses, it is necessary to use operations that optimize the process, such as drying operations, which aims to reduce the moisture and water activity of the products to prolong their useful life. The objective of this work was to analyze the drying of the pineapple by infrared radiation and, through the application of the principles of the technique of factorial planning of experiments, to estimate the effects of temperature and thickness on the characteristics of the obtained product. The experiments were carried out using variations in temperature (97, 105 and 113 ° C), and thickness (2, 4 and 6 mm), evaluating their influence on moisture, drying kinetics, color and water activity of dry pineapples. The results showed that pineapples presented relatively low water activity, around 0.43. The humidity was influenced by the thickness, showing that the lower the thickness, the less time would reach equilibrium moisture. The luminosity of the dry pineapple was high, with a reduction in the values of parameter a^* , showing a tendency to be more greenish and an increase of parameter b^* of the color analysis, showing a tendency to be more yellow. In addition, increases in temperature resulted in a reduction in drying time and in moisture of the final product, lower thickness values associated with high temperatures reach the moisture equilibrium state more rapidly.

Keywords: Pineapple; drying; infrared radiation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração demonstrando o centro de origem do abacaxi, assinalado com o círculo, e diferentes rotas de dispersão da fruta para as outras regiões do mundo, demonstradas por meio das setas.	15
Figura 2 - Evolução do tempo (t), do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T) e da taxa de secagem (dX/dt), para um ar com propriedades constantes.	18
Figura 3 - Cortador cilíndrico do abacaxi.	22
Figura 4 - Amostra do abacaxi cortado.	23
Figura 5 - Analisador de Umidade por infravermelha (IV 2500, GEHAKA).	23
Figura 6- Superfície de resposta com a influência da temperatura e da espessura na umidade do abacaxi seco.	29
Figura 7 - Superfície de resposta com a influência da temperatura e da espessura na atividade de água do abacaxi seco.	30
Figura 8 - Superfície de resposta com a influência da temperatura e da espessura no parâmetro L^*	33
Figura 9–Superfície de resposta para a influência da temperatura e da espessura no parâmetro a^* dos abacaxis secos.	35
Figura 10 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes espessuras a 97°C.	37
Figura 11 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes espessuras a 105°C.	37
Figura 12 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes espessuras a 113°C.	38
Figura 13 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes temperaturas a 2 mm.	39
Figura 14 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes temperaturas a 4 mm.	39
Figura 15 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes temperaturas a 6 mm.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais regiões brasileiras produtoras de abacaxi na safra de 2015.....	16
Tabela 2 - Classificação dos Principais estados produtores de abacaxi na safra de 2015.	16
Tabela 3 - Planejamento experimental 3 ²	24
Tabela 4 - Caracterização físico-química do abacaxi <i>in natura</i>	27
Tabela 5 - Valores experimentais da caracterização do abacaxi seco.	27
Tabela 6 - Efeitos estimados e nível de significância para a resposta umidade do abacaxi seco.	28
Tabela 7 - Efeitos estimados e nível de significância para a resposta da atividade de água do abacaxi seco.	30
Tabela 8 - Efeitos estimados e nível de significância para para a resposta L*.	32
Tabela 9 - Parâmetro do modelo e significância estatística, para a resposta a*.	34
Tabela 10 - Parâmetro do modelo e significância estatística, para a resposta b*.	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	Abacaxi	14
3.1.1	<i>Definição</i>	14
3.1.2	<i>Histórico</i>	15
3.1.3	<i>Panorama atual da produção do abacaxi</i>	16
3.2	Secagem	17
3.2.1	<i>Conceito</i>	17
3.3	Secagem do abacaxi	19
3.4	Planejamento de Experimentos	20
3.5	Atividade de Água	20
3.6	Cor	21
3.7	Umidade	21
4	METODOLOGIA	22
4.1	Preparação da matéria-prima	22
4.2	Secagem por radiação infravermelha	23
4.3	Caracterizações Físico-químicas do abacaxi	24
4.3.1	<i>Umidade</i>	24
4.3.2	<i>Atividade de água (a_w)</i>	25
4.3.3	<i>Cor</i>	25
4.4	Cinética de Secagem	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1	Caracterizações Físico-químicas do abacaxi	27
5.1.1	<i>Umidade</i>	28

5.1.2. Atividade de Água	30
5.1.3 Cor	31
5.2 Cinética de Secagem.....	36
6 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, maior produtor mundial de frutas, produz 32 milhões de toneladas em 2,2 milhões de hectares, gerando 4 milhões de empregos diretos e indiretos. Entretanto, tem pouca participação na exportação mundial, com receita de US\$ 1,1 bilhão/ano, dos quais 90% são representados pelos frutos cítricos (IBGE, 2015).

A extensão do país e sua inserção, em grande parte, nas zonas de clima tropical e temperado possibilitam o cultivo de diferentes variedades de frutíferas nativas e exóticas, tais como o abacaxi, a manga, o abacate, o mamão, a banana, os citros, a goiaba, a melancia, o melão, o maracujá, a acerola e o caju-anão precoce (OLIVEIRA, 2001).

O abacaxi, símbolo de regiões tropicais e subtropicais, tem grande aceitação em todo o mundo tanto ao natural, quanto industrializado, na forma de sucos, doces e geleias e ainda pode ser usado como ingrediente na fabricação de vários tipos de produtos como balas, sorvetes, coberturas, bolos, entre outros, devido suas características marcantes de sabor e aroma. Porém, como a maioria das frutas, o abacaxi possui uma elevada atividade de água, é um produto extremamente perecível, sendo então, de grande importância a utilização de operações que proporcione uma vida útil maior, como os métodos de secagem.

Na operação de secagem de alimentos o objetivo primordial é a redução do teor de água, o que melhora a preservação do produto, reduz os custos do transporte, entre outros. A secagem é um processo de transferência de calor e massa ocorre, por exemplo, por meio da passagem forçada de ar aquecido (convecção), condução indireta do calor através de uma superfície metálica, e utilização de radiação infravermelha.

O fornecimento de calor por meio da aplicação de radiação no infravermelho distante em processos de secagem pode superar as características indesejáveis do método convectivo. Isso porque essa radiação aquece diretamente o produto exposto, com poucas perdas com aquecimento do ar circundante, o que favorece uma maior eficiência energética e, além disso, atinge altas taxas de aquecimento, promovendo redução do tempo de secagem. A convecção de ar aquecido, por sua vez, atua removendo a água evaporada e substituindo o ar saturado por ar seco, com maior volume específico (NASCIMENTO, 2014).

Swasdisevi *et al.* (2007) apontam para a radiação do infravermelho distante como técnica de secagem alternativa devido ao aquecimento rápido, à maior uniformidade e à característica da radiação ser transferida do elemento de aquecimento ao produto sem aquecer o ar que circunda o produto de interesse.

Em alimentos, a espessura e a absorção diferencial pelas proteínas, gorduras, carboidratos e água podem influenciar na uniformidade da secagem. Fatores como: características da superfície do material, composição espectral e direção da radiação incidente também determinam a absorção da radiação. As variáveis: espaçamento entre os aquecedores e distância entre a fonte de radiação e o produto também interferem na homogeneidade do aquecimento (NINDO e MWITHIGA, 2011).

O estudo da secagem do abacaxi por radiação infravermelha torna-se viável pois reduz a perecibilidade da fruta, devido a baixa atividade de água do produto seco, reduzindo custos com transportes e aumentando a vida útil do produto, juntamente com as vantagens da radiação infravermelha, que possibilita a utilização combinada com outros métodos de secagem (convecção, condução e micro-ondas), promove a economia de energia aplicando aquecimento intermitente e não requer contato com o material a ser seco.

2 OBJETIVO

O objetivo geral do presente trabalho é o estudo da secagem do abacaxi por radiação infravermelho. Os objetivos específicos são:

- Caracterização da cor, atividade de água e umidade do abacaxi após a secagem;
- Obtenção da cinética de secagem;
- Quantificar os efeitos de temperatura da operação e espessura nas características do produto obtido.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Abacaxi

3.1.1 Definição

O abacaxi é uma planta pertencente à família *Bromeliaceae*, que apresenta aproximadamente 2700 espécies herbáceas, epífitas ou terrestres, distribuídas em 56 gêneros, originárias das Américas, predominantemente neotropicais, com exceção da espécie *Pitcarniafeliciania* (A. Chevalier), que é encontrada na costa oeste africana (BENZING, 2000). Pertence à subfamília *Bromelioideae*, gênero *Ananas*, que compreende espécies cultivadas, bem como espécies silvestres (SIMÃO, 1998). A maioria das cultivares de abacaxizeiro pertence à espécie *Ananas comosus* (L.) Merrill, espécie diploide, havendo também variedades poliploides do gênero *Ananas* (COTIAS DE OLIVEIRA et al., 2000).

O fruto do abacaxi é caracterizado por um aglomerado de uma ou duas centenas de pequenos frutos (gomos) em torno de um mesmo eixo central, em que cada “olho” ou “escama” da casca do abacaxi é um fruto verdadeiro que cresceu a partir de uma flor, e estes se fundem em um grande corpo, chamado infrutescência, no topo do qual se forma a coroa (SILVA; TASSARA, 2001).

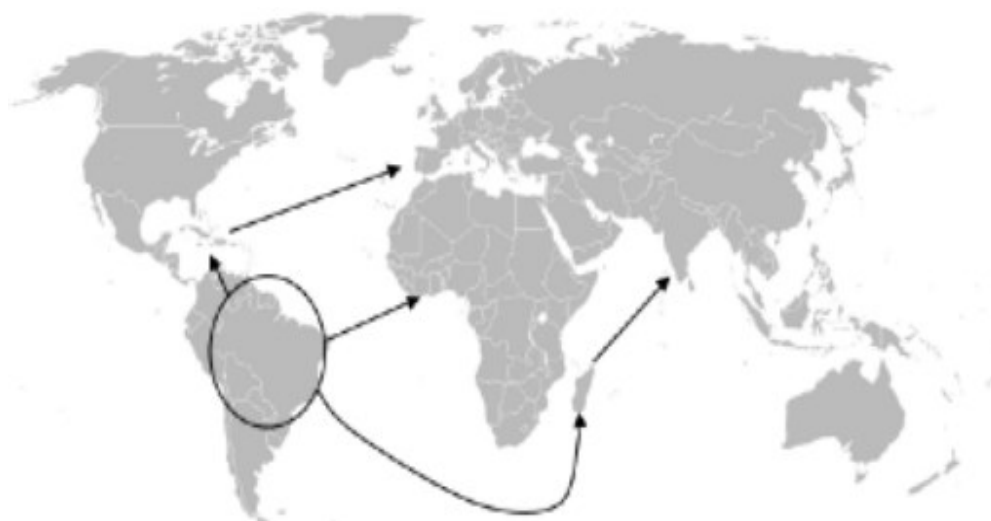
De acordo com Sampaio (1914), Giacomelli e Py (1981), o termo “abacaxi” é provavelmente oriundo da palavra “ibacaxi”, que significa fruto cheiroso, pois na língua guarani, “iba” representa fruto e “caxicati” representa cheiroso. Por outro lado, a designação “ananás” tem origem da palavra nana, substantivo no grau aumentativo, significando o aroma grande, o que cheira, da língua tupí, falada pelos índios tupis, nativos que habitavam o litoral do Brasil; enquanto a terminologia “comosus” significa empenachado e se refere às hastes das frutas.

Algumas outras espécies do gênero *Ananas* frequentemente são erroneamente chamadas abacaxi. A designação universal para a fruta abacaxi é “ananás” ou “piña”, sendo o nome “abacaxi” restrito ao Brasil e Paraguai (MEDINA, 1978). No Brasil, atualmente, somente são designados por “ananás” os frutos selvagens ou pertencentes a variedades não cultivadas, ou menos conhecidas ou frutos de qualidade inferior.

3.1.2 Histórico

O abacaxi é originário da América tropical e subtropical, muito provavelmente, do Brasil (MEDINA, 1978). Há indícios que sua domesticação ocorreu muitos séculos anteriores à era pré-colombiana (SIMÃO, 1998). Sua dispersão pelos vários países americanos iniciou com o intercâmbio entre tribos; contudo, com o descobrimento da América, se tornou conhecido mundialmente, quando foi levado para a Europa, Ásia e África e se disseminou pelos vários países rapidamente, como mostrado na Figura 1 (CTENAS; QUAST, 2000).

Figura 1 - Ilustração demonstrando o centro de origem do abacaxi, assinalado com o círculo, e diferentes rotas de dispersão da fruta para as outras regiões do mundo, demonstradas por meio das setas.



Fonte: Ctenas; Quast (2000).

O abacaxi já era cultivado pelos indígenas em extensas regiões do Novo Mundo, antes do descobrimento, inclusive no Brasil e na América Central. Provavelmente, as atuais variedades cultivadas descendem de abacaxizeiros silvestres ali existentes e, segundo Hays e Hays (1973), os índios sul-americanos reconheceram a fruta como comestível e começaram a domesticá-la por volta de 4000 a.C.

De acordo com Simão (1998), o primeiro encontro entre os europeus e o abacaxi ocorreu em 4 de novembro de 1493, quando Cristóvão Colombo, em sua segunda viagem para a região do Caribe, ancorou em Guadalupe, nas Pequenas Antilhas. Ao inspecionar a vila caribenha em terra, entre a rica flora, conheceu os frutos de abacaxi. Esse fruto foi oferecido aos invasores europeus pelos índios num gesto de hospitalidade e boas vindas (SILVA; TASSARA, 2001). Os navegadores espanhóis experimentaram o fruto, apreciaram muito o

novo alimento e associaram a morfologia do curioso fruto de exterior abrasivo e segmentado com uma pinha, batizando-lhe com o codinome piña, em espanhol, e *pineapple*, em inglês (MEDINA et al., 1978; HAYS; HAYS, 1973).

3.1.3 Panorama atual da produção do abacaxi

Segundo dados do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), o Brasil conta com uma área a ser colhida de 65.176 mil hectares de abacaxi, devendo alcançar a produção de 1.752.858 frutos. A Região Nordeste é a maior produtora de abacaxi do País - 23.151mil hectares, respondendo por 37,1% do total da área a ser colhida no Brasil. O estado do Pará é o maior produtor nacional: 11.303 mil hectares e a produção deverá atingir 353.721 mil - frutos. A maior produtividade (quilos por hectare) é a do Rio Grande do Norte. Isso, devido o uso do sistema de irrigação em grande parte do cultivo da lavoura, como mostra as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Principais regiões brasileiras produtoras de abacaxi na safra de 2015.

Região	Área (ha)	Produt. (kg/há)	Produção (mil frutos)	Part. (%)
Brasil	65.176	26.894	1.725.858	100
Nordeste	23.151	28.082	650.135	37,1
Sudeste	17.880	27.978	500.235	28,5
Norte	19.151	25.713	492.427	28,1
Centro-Oeste	4.683	22.398	104.889	6,0
Sul	311	16.572	5.154	0,3

Fonte: IBGE (2015).

Tabela 2 - Classificação dos Principais estados produtores de abacaxi na safra de 2015.

Classificação Estado	Área (ha)	Produt. (kg/ha)	Produção (mil frutos)
1° Pará	11.303	31.294	353.721
2° Paraíba	9.341	29.980	280.042
3° Minas Gerais	8.446	31.692	267.671
4° Bahia	4.990	26.342	131.445
5° Rio Grande do Norte	3.152	32.530	102.533
6° São Paulo	3.365	29.033	97.696

Fonte: IBGE (2015).

3.2 Secagem

3.2.1 Conceito

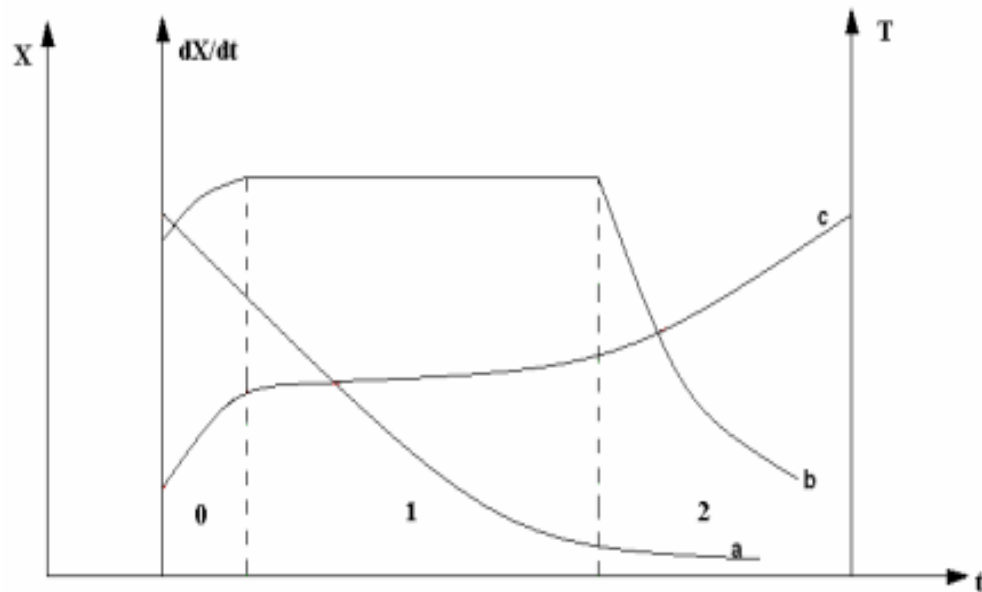
A secagem é uma operação na qual calor é fornecido a um dado material que contém água, a fim de remover certa quantidade de umidade, obtendo-se um produto sólido seco (com teor de umidade reduzido). Trata-se de processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase (BARBANTI et al., 1994).

Segundo Fortes e Okos (1980) os mecanismos de transporte de água no interior dos sólidos durante a secagem são:

- Difusão líquida devido ao gradiente de concentração;
- Movimento líquido devido às forças capilares;
- Fluxo de líquido ou vapor devido à diferença na pressão total, causada pela pressão externa, encolhimento, temperaturas altas e capilaridade;
- Escoamento por efusão que existe quando o caminho livre médio das moléculas de vapor for compatível com o diâmetro dos poros;
- Movimento líquido em consequência da força gravitacional.

As características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa que ocorrem entre o ar e o produto é fenômeno comum a qualquer condição de processo. Assim, a secagem pode ser dividida em três períodos, conforme apresentado na Figura 2 (BROD, 2003).

Figura 2 - Evolução do tempo (t), do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T) e da taxa de secagem (dX/dt), para um ar com propriedades constantes.



Fonte: Brod (2003).

Em que: a) evolução do conteúdo de umidade; b) taxa de secagem; c) evolução da temperatura do produto.

Na Figura 2, a curva (a) representa a diminuição do conteúdo de umidade do produto (X) em relação ao tempo (t) durante o processo de secagem. A curva (b) mostra a velocidade ou taxa de secagem do produto (dX/dt), isto é, a variação da umidade do produto por tempo, em relação à evolução do tempo (t). A curva (c) representa a variação da temperatura da amostra (T) com o tempo (t) (BROD, 2003).

3.3 Secagem do abacaxi

A secagem de frutas e vegetais é um excelente método para se obter a estabilidade de armazenamento evitando a adição de agentes químicos conservantes. Porém, durante o processo de secagem ocorrem mudanças nos parâmetros de qualidade. Atualmente, tecnologias têm sido desenvolvidas para a manutenção da qualidade de alimentos secos. Isso é atingido utilizando novos métodos de secagem, melhorando e otimizando os existentes, maximizando, assim, atributos de qualidade, como estrutura, cor, aroma, valores nutricionais e capacidade de reidratação (PERERA, 2005).

Nicoleti et al (2001) estudaram a cinética da secagem convectiva para abacaxi fresco e pré-tratado, a diferentes temperaturas e velocidades do ar, obtendo a taxa de secagem em função da temperatura e velocidade do ar, e a difusividade aumentando com o aumento da temperatura e velocidade. A amostra pré-tratada apresentou menor difusividade do que a amostra fresca, o que pode ser explicado pelo fato das amostras pré-tratadas terem umidade inicial menor.

A utilização combinada da radiação no infravermelho distante com convectivo por ar quente na secagem de rodela de abacaxi foi estudada por Ponkham et al. (2011). Intensidade de radiação de $1-5 \text{ kW m}^{-2}$, temperatura do ar de $40-60^\circ\text{C}$ e velocidade do ar de $0,5-1,5 \text{ m s}^{-1}$ foram as condições de secagem consideradas. Com maiores intensidades de radiação, a maior absorção de calor resultou em maior transferência de massa, acelerando a taxa de secagem e, conseqüentemente, reduzindo o tempo de secagem. O aumento da velocidade do ar, entretanto, resultou em decréscimo da temperatura do produto, devido ao efeito do resfriamento, mas não afetou significativamente a redução do teor de água.

Valente (2007) estudou a secagem de pedaços de abacaxi (*Ananás comosus* (L.) Merrill) variedade Pérola, com e sem pré-tratamento osmótico, utilizando um secador de bandejas convectivo. Este autor percebeu que embora a temperatura de 70°C do ar tenha aumentado a taxa de secagem e propiciado os maiores valores para a difusividade efetiva, a qualidade do produto final foi afetada negativamente, resultando em uma maior alteração da cor e em uma maior rigidez do produto.

3.4 Planejamento de Experimentos

A escolha da estratégia do planejamento experimental depende de alguns fatores, como do número de variáveis independentes, conhecimento inicial que têm-se sobre o processo e fatores que se deseja estudar (IEMMA e RODRIGUES, 2009).

A relação custo - benefício é muito importante para definir o tipo de planejamento fatorial. Ela é o diferencial para planejar criteriosamente e se chegar às condições otimizadas mais rapidamente, a um menor custo e com suporte estatístico na discussão dos resultados. Neste sentido, os delineamentos em esquema fatorial 3^k , ocorrem quando tem-se k fatores, todos com três níveis. São do tipo inteiramente casualizados, sempre que cada um dos 2^k tratamentos for atribuído aleatoriamente às unidades experimentais, sem a formação de blocos, de quadrados latinos e assim por diante. Delineamentos desse tipo são muito utilizados em laboratórios e/ou locais onde as fontes externas de variação são, geralmente, muito bem controladas. (IEMMA e RODRIGUES, 2009).

Então, a análise dos efeitos como informação inicial pode sequencialmente direcionar o estudo, por meio de novos planejamentos fatoriais até se atingir as condições otimizadas (IEMMA e RODRIGUES, 2009).

3.5 Atividade de Água

A água livre dos alimentos é a que está disponível para o crescimento de microrganismos, germinação de esporos, e para participação em vários tipos de reações químicas. Os alimentos desidratados são preservados por um tempo maior devido à atividade de água estar em um nível no qual não ocorre atividade microbiológica e as taxas de reações bioquímicas e químicas estão reduzidas ao mínimo (RAHMAN, 1995).

De acordo com Ordóñez et al. (2005) e Fellows (2006), atividade de água pode ser definida como a água disponível em um alimento para o crescimento de microrganismos, germinação de esporos e para que possam ocorrer reações químicas e bioquímicas.

A atividade de água é uma propriedade termodinâmica, e pode ser obtida por meio da razão entre a pressão de vapor da água no alimento e a pressão de vapor da água pura à mesma temperatura (T) (FELLOWS, 2006; ORDÓÑEZ et al., 2005).

3.6 Cor

A cor é uma importante característica relacionada com a identidade do produto, constituindo um dos critérios para aceitação por parte do consumidor. Manter a cor original e inicial de um alimento processado ou armazenado é muitas vezes difícil, devido às possibilidades de degradação e reações que vários tipos de pigmentos naturais têm (BOBBIO e BOBBIO, 1985).

De acordo com CHITARRA e CHITARRA (2005) os produtos vegetais apresentam três tipos principais de pigmentos: clorofila, carotenóides e antocianinas. As clorofilas são responsáveis pela coloração verde, sendo encontradas em frutos novos e nas folhas; os carotenóides, geralmente, indicam tons de cor do amarela ao laranja, predominante em frutos cítricos; e por último as antocianinas são os pigmentos com coloração vermelha, púrpura ou violetada maioria das frutas.

3.7 Umidade

A umidade é um indicativo da eficiência do processo de secagem, ou seja, quanto menor seu valor, maior é a eficiência de remoção da água, isso ocorre, principalmente, devido ao aumento da temperatura do ar de secagem, que promove uma maior taxa de transferência de calor, fornecendo maior força motriz para a evaporação de umidade (RAHMAN, 1995).

A umidade de equilíbrio é a umidade limite a que um sólido pode ser seco para uma determinada condição de temperatura e umidade do ar.

4 METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Análise de Alimentos e de Instrumentação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, *Campus* Patos de Minas. Os abacaxis do cultivar *Pérola* foram adquiridos no comércio local de Patos de Minas, Minas Gerais.

4.1 Preparação da matéria-prima

Os abacaxis foram higienizados e descascados manualmente até a remoção completa da casca com uso de faca de material inoxidável. Na sequência, foram cortadas rodela do mesmo, descartando o miolo, com a espessura variando entre: 2, 4 e 6 milímetros. Com o auxílio de um cortador, a polpa foi cortada em pedaços cilíndricos com 18 milímetros de diâmetro, como mostra a Figura 3. A Figura 4, mostra como ficou a amostra de abacaxi após ser cortada.

Figura 3 - Cortador cilíndrico do abacaxi.



Fonte: A autora.

Figura 4 - Amostra do abacaxi cortado.



Fonte: A autora.

4.2 Secagem por radiação infravermelha

O processo de secagem foi realizado utilizando-se um Analisador de Umidade por infravermelho (IV 2500, GEHAKA), instalado no Laboratório de Instrumentação da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Patos de Minas. A Figura 5 mostra o instrumento utilizado na realização da operação de secagem.

Figura 5 - Analisador de Umidade por infravermelha (IV 2500, GEHAKA).



Fonte: A autora.

Foi realizado um planejamento experimental completo do tipo 3^2 , onde foram testadas diferentes espessuras (2,4 e 6 mm) e diferentes temperaturas de entrada (97, 105 e 113 °C). A faixa experimental escolhida para cada variável foi definida a partir de testes preliminares.

Previamente à secagem, o equipamento era configurado, realizando uma configuração por tempo (sendo utilizado o tempo máximo de 180 min) e um pré-aquecimento até temperatura desejada. Assim, o secador fornecia ao longo do tempo a porcentagem de perda de massa.

A Tabela 3 mostra os ensaios previstos no planejamento experimental.

Tabela 3 - Planejamento experimental 3².

Ensaio	Variável Real		Variável Codificada	
	Temperatura (°C) (x ₁)	Espessura (mm) (x ₂)	(x ₁)	(x ₂)
1	97	2	-1	-1
2	97	4	-1	0
3	97	6	-1	1
4	105	2	0	-1
5	105	4	0	0
6	105	6	0	1
7	113	2	1	-1
8	113	4	1	0
9	113	6	1	1

Fonte: A autora.

4.3 Caracterizações Físico-químicas do abacaxi

Todas as análises de caracterização físico-química do abacaxi foram realizadas seguindo a metodologia descrita *Association of Official Analytical Chemists* (A.O.A.C., 2005), sendo cada análise descrita na sequência.

4.3.1. Umidade

A umidade das amostras de abacaxi foi determinada por método gravimétrico. Em cápsulas de porcelana previamente secas e com massa conhecida, foram pesados aproximadamente 5 g da amostra. Na sequência as cápsulas de porcelana contendo as amostras foram colocadas em estufa convectiva, a 105 °C por um período de 24 horas. Posteriormente, a amostra foi resfriada em dessecador até a temperatura ambiente e pesada em balança analítica (Shimadzu -AUW320, Brasil).

A umidade do produto (em base seca) é definida pela razão entre a massa de água e a massa de sólidos secos, conforme a Equação 1.

$$Umididade = \frac{m_o - m_f}{m_f} \quad (1)$$

em que m_o é a massa de sólido inicial (g) e m_f é correspondente a massa de sólidos final (g), após a secagem em estufa.

4.3.2. Atividade de água (a_w)

A atividade de água foi determinada usando o aparelho Aqualab Lite (Decagon Devices, EUA).

Para cada experimento foram realizadas análises em triplicada da atividade de água do abacaxi antes da secagem, e depois da secagem.

4.3.3. Cor

A cor das amostras do abacaxi *in natura* e seco foram analisadas por reflectância com um colorímetro (Konica Minolita CR-400/410, Osaka, Japão), com escala CIELab (L^* , a^* , b^*). As análises foram realizadas a 25 °C. As medidas de coloração foram expressas em termos da luminosidade L^* ($L^*=0$ preto e $L^*=100$ branco), e para o parâmetro a^* , valores positivos indicam a cor vermelha e valores negativos, a cor verde, já para o parâmetro b^* , os valores positivos representam o amarelo, enquanto que os negativos revelam o azul, também no intervalo.

4.4 Cinética de Secagem

A cinética de secagem do abacaxi foi realizada para o método de secagem por radiação infravermelha. As amostras foram colocadas em recipientes de alumínio, próprios para o equipamento, durante intervalos de tempos pré-determinados (0-180) min. O comportamento da variação da umidade em função do tempo foi avaliado para temperaturas de 97, 105 e 113°C e com espessuras de 2, 4 e 6 mm.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterizações Físico-químicas do abacaxi

Na tabela 4, estão apresentados os dados da caracterização físico-química do abacaxi *in natura*.

Tabela 4 - Caracterização físico-química do abacaxi *in natura*.

Análise		Valor médio ± Desvio padrão
Umidade		0,86±0,002
Atividade de água		0,90±0,066
Parâmetros de Cor	L*	44,23±0,71
	a*	-2,52±0,33
	b*	14,44±0,61

Os teores de umidade (bs) do abacaxi *in natura* estão próximos aos encontrados por Valente (2007) e resultados publicados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011). Seu alto teor de umidade e atividade de água, em média 87% e 0,98, respectivamente, o torna susceptível à deterioração tanto físico-química como microbiológica.

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados dos valores experimentais da caracterização do abacaxi seco.

Tabela 5 - Valores experimentais da caracterização do abacaxi seco.

Experimento	Variável Real		Respostas				
	Temperatura (°C) - X ₁	Espessura (mm) – X ₂	Umidade	Atividade de Água	Cor		
					L*	a*	b*
1	97	2	15,86	0,43	27,76	0,48	13,21
2	105	2	15,68	0,40	28,08	0,63	14,14
3	113	2	14,56	0,32	38,82	-1,40	15,84
4	97	4	16,29	0,44	23,46	0,26	12,52
5	105	4	16,02	0,41	26,72	0,44	14,30
6	113	4	15,89	0,37	28,05	0,77	17,49
7	97	6	16,64	0,51	36,88	-1,43	14,73
8	105	6	16,59	0,46	43,87	-1,56	15,02
9	113	6	15,99	0,39	46,74	-2,09	15,88

Pode-se observar na Tabela 5 os valores encontrados para caracterização do abacaxi seco. Os resultados das análises serão discutidos separadamente nos itens a seguir.

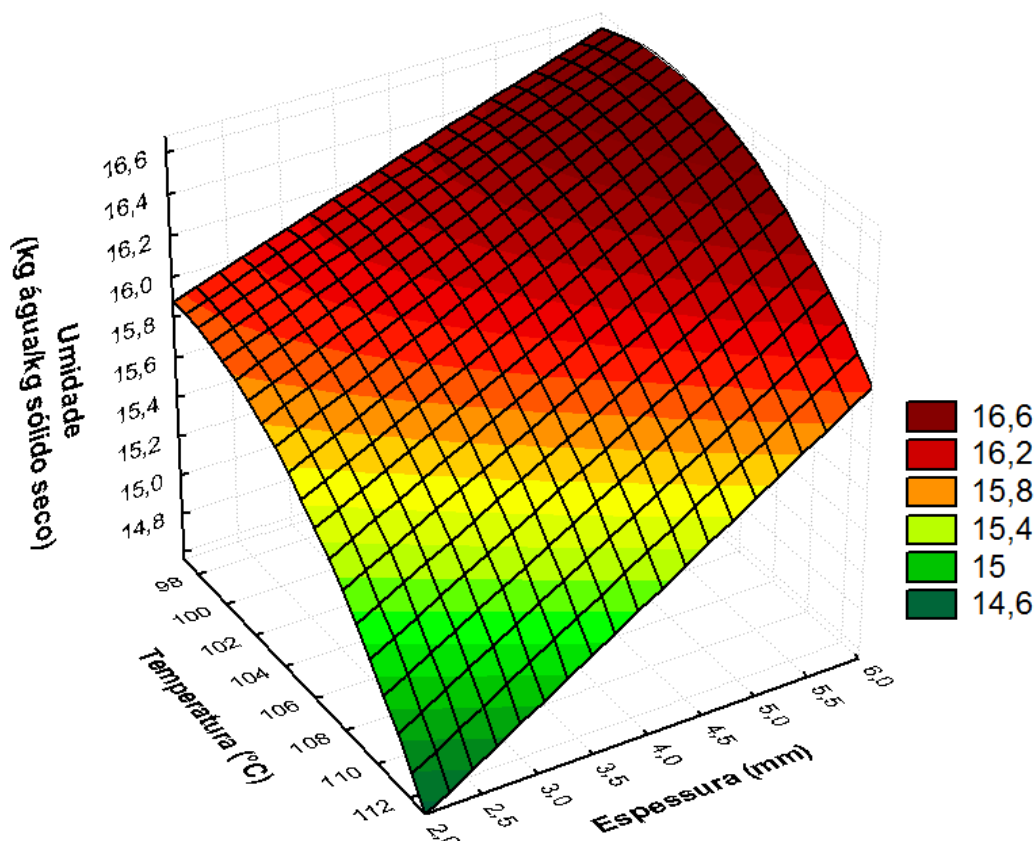
5.1.1 Umidade

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais de umidade obtidos na secagem do abacaxi, são apresentados na Tabela 6 em que T é temperatura, e E é espessura. Os efeitos dos fatores lineares e quadráticos e de interação, em negrito, são significativos para um nível de significância de 10 % ($p \leq 0,10$).

Tabela 6 - Efeitos estimados e nível de significância para a resposta umidade do abacaxi seco.

Fator	Efeito	Nível de Significância (p)
Média	16,07164	0,000027
Temperatura (linear)	-1,00292	0,009305
Espessura (linear)	1,04052	0,006315
Temperatura x Espessura	0,32876	0,083913
Temperatura (quadrático)	-0,66948	0,048249
Espessura (quadrático)	0,07474	0,712772

Figura 6- Superfície de resposta com a influência da temperatura e da espessura na umidade do abacaxi seco.



A espessura foi o fator que mais influenciou a umidade final dos abacaxis, seguida pela e temperatura, conforme se pode observar na Tabela 6 e na Figura 6. Nota-se que quando se utilizou maiores temperaturas obtêm-se abacaxis com menores valores de umidade. Já em relação à espessura, menores valores de está dimensão da partícula resultaram em abacaxis com menores valores de umidade.

O modelo proposto para representar a umidade resultante do processo de secagem do abacaxi, dentro dos limites de temperatura e espessura estudados, é descrito pela Equação 2:

$$Umidade = 16,07 - 0,50T + 0,52E + 0,16TE - 0,33T^2 \quad (2)$$

em que, T é a temperatura de secagem e E a espessura. O quadrado do coeficiente de correlação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,9931 indicando que o modelo explicou 99,31% da variabilidade dos dados observados.

Nascimento (2014) reportou um trabalho na literatura sobre secagem de maçã em fatias por radiação infravermelha, no qual foi investigado a intensidade de radiação, tamanho

de partícula e tempo de secagem, observando que o estudo mostrou que uma menor espessura do material resultou em maior velocidade na perda de umidade.

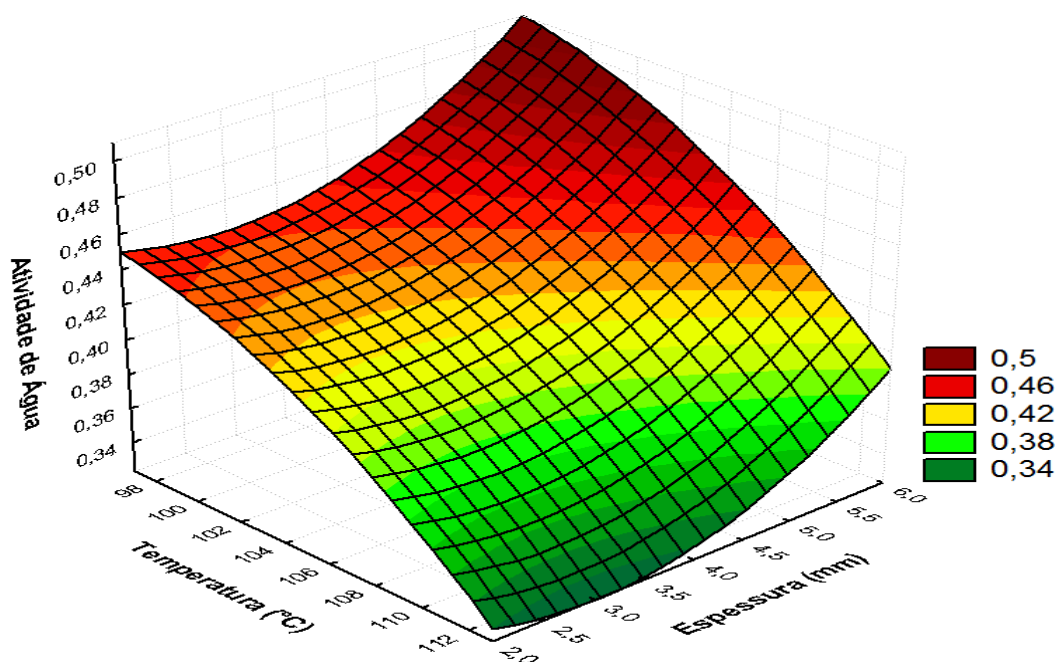
5.1.2. Atividade de Água

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais de atividade de água para os abacaxis obtidos na secagem, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Efeitos estimados e nível de significância para a resposta da atividade de água do abacaxi seco.

Fator	Efeito	Nível de Significância (p)
Média	0,407667	0,000274
Temperatura (linear)	-0,11317	0,004856
Espessura (linear)	0,068	0,009709
Temperatura x Espessura	-0,00433	0,652436
Temperatura (quadrático)	-0,04383	0,071540
Espessura (quadrático)	0,051666	0,068947

Figura 7 - Superfície de resposta com a influência da temperatura e da espessura na atividade de água do abacaxi seco.



A temperatura foi o fator que mais influenciou a atividade de água final dos abacaxis, seguida pela espessura, conforme mostra a Tabela 7 e a Figura 7. A temperatura apresentou de

forma isolada um efeito negativo significativo, ou seja, quando se utilizou maiores temperaturas obteve-se abacaxis com menores valores de atividade de água. Já para menores valores de espessura conduziram a uma atividade de água mais baixa.

Esse resultado era esperado visto que quando se tem menores espessuras a área para a atividade de água é menor, e com temperaturas mais elevadas em um abacaxi com uma fina camada a penetração de calor ocorre de maneira mais rápida reduzindo o tempo de secagem, e consequente a atividade de água.

O modelo proposto para representar a atividade de água resultante no abacaxi submetido ao processo de secagem, dentro dos limites de temperatura e espessura estudados, é descrito pela Equação 3:

$$Aw = 0,41 - 0,06T + 0,03E - 0,02T^2 + 0,03E^2 \quad (3)$$

em que, T é a temperatura de secagem e E a espessura. O quadrado do coeficiente de correlação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,9935, indicando que o modelo explicou 99,35% da variabilidade dos dados observados.

Celestino (2010) observou que uma baixa atividade de água em alimentos, em torno de 0,6, quase não se nota crescimento microbiano. Então, conclui-se que os abacaxis secos, podem ser armazenados de forma segura com a atividade de água de $0,43 \pm 0,09$, obtido nesses ensaios de secagem.

5.1.3 Cor

Os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* serão discutidos individualmente a seguir.

Parâmetro L^*

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais para o parâmetro de luminosidade do teste de cor para os abacaxis secos são apresentado na Tabela 8. Os efeitos dos fatores lineares e quadráticos, em negrito, são significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$).

Tabela 8 - Efeitos estimados e nível de significância para para a resposta L^* .

Fator	Efeito	Nível de Significância (p)
Média	26,84778	0,008069
Temperatura (linear)	10,38944	0,067489
Espessura (linear)	10,94444	0,045798
Temperatura x Espessura	-0,60166	0,858277
Temperatura (quadrático)	3,345	0,531269
Espessura (quadrático)	18,12334	0,072047

O termo quadrático da variável espessura teve grande influência na resposta de luminosidade, mostrando uma não linearidade no efeito deste fator. A temperatura do sistema de secagem e a espessura apresentaram um efeito positivo de forma que quando se passou do nível “-1” para o “+1”, tanto para temperatura quanto para espessura, obteve-se abacaxis com altos valores de L^* .

O modelo proposto para representar o parâmetro L^* dos abacaxis resultantes do processo de secagem, dentro dos limites de temperatura e espessura estudados, é descrito pela Equação 4:

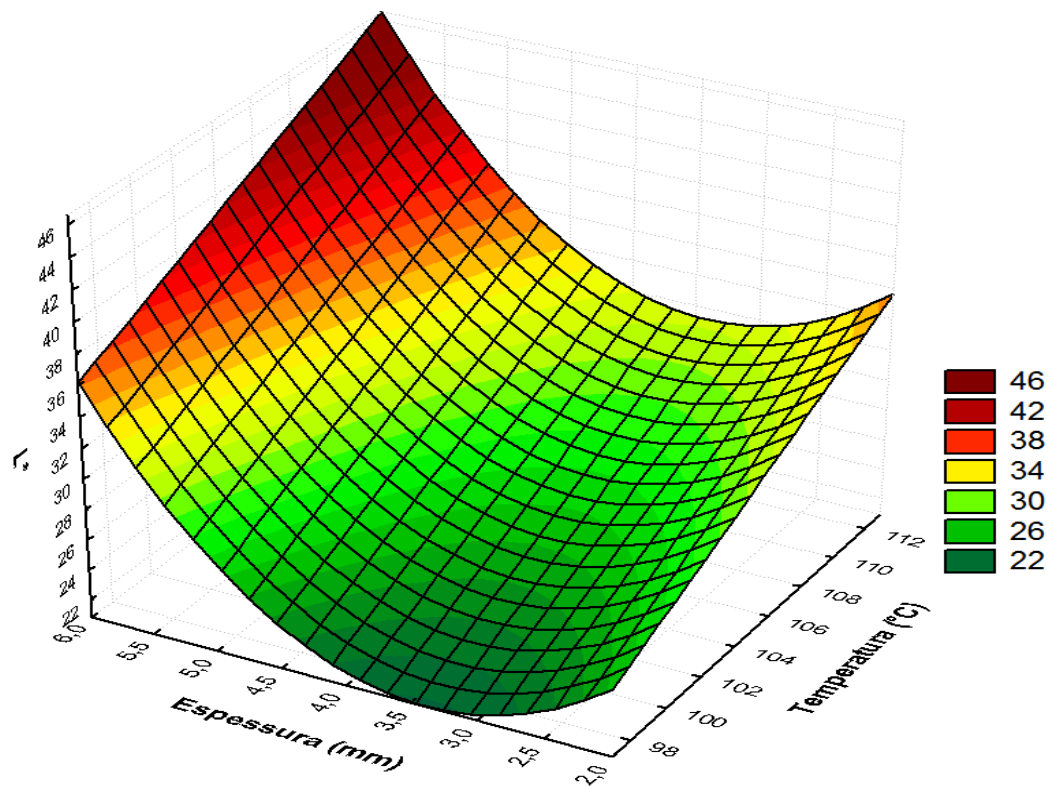
$$L^* = 26,84 + 5,19T + 5,47E + 9,06E^2 \quad (4)$$

onde T é a temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e E a espessura.

O quadrado do coeficiente de correlação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,9666, indicando que o modelo explicou 96,66% da variabilidade dos dados observados.

A Figura 8 mostra a superfície obtida através do modelo proposto para o parâmetro L^* .

Figura 8 - Superfície de resposta com a influência da temperatura e da espessura no parâmetro L^* .



Parâmetro a^*

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais para o parâmetro a^* do teste de cor para os abacaxis obtidos na secagem, são apresentados na Tabela 9. Os efeitos dos fatores lineares, em negrito, são significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$).

Tabela 9 - Parâmetro do modelo e significância estatística, para a resposta a^* .

Fator	Efeito	Nível de Significância (p)
Média	0,381667	0,332748
Temperatura (linear)	-1,24417	0,072016
Espessura (linear)	-1,59556	0,033850
Temperatura x Espessura	0,61	0,240089
Temperatura (quadrático)	-1,37083	0,131581
Espessura (quadrático)	-1,63833	0,124391

A temperatura do ar de secagem e a espessura apresentaram um efeito negativo, ou seja, quando se utilizou maiores temperaturas e espessuras obteve-se abacaxis com menores valores de a^* , apresentando tendência à cor verde.

O modelo proposto para representar o parâmetro a^* dos abacaxis resultantes do processo de secagem, dentro dos limites de temperatura e espessura estudados, é descrito pela Equação 5:

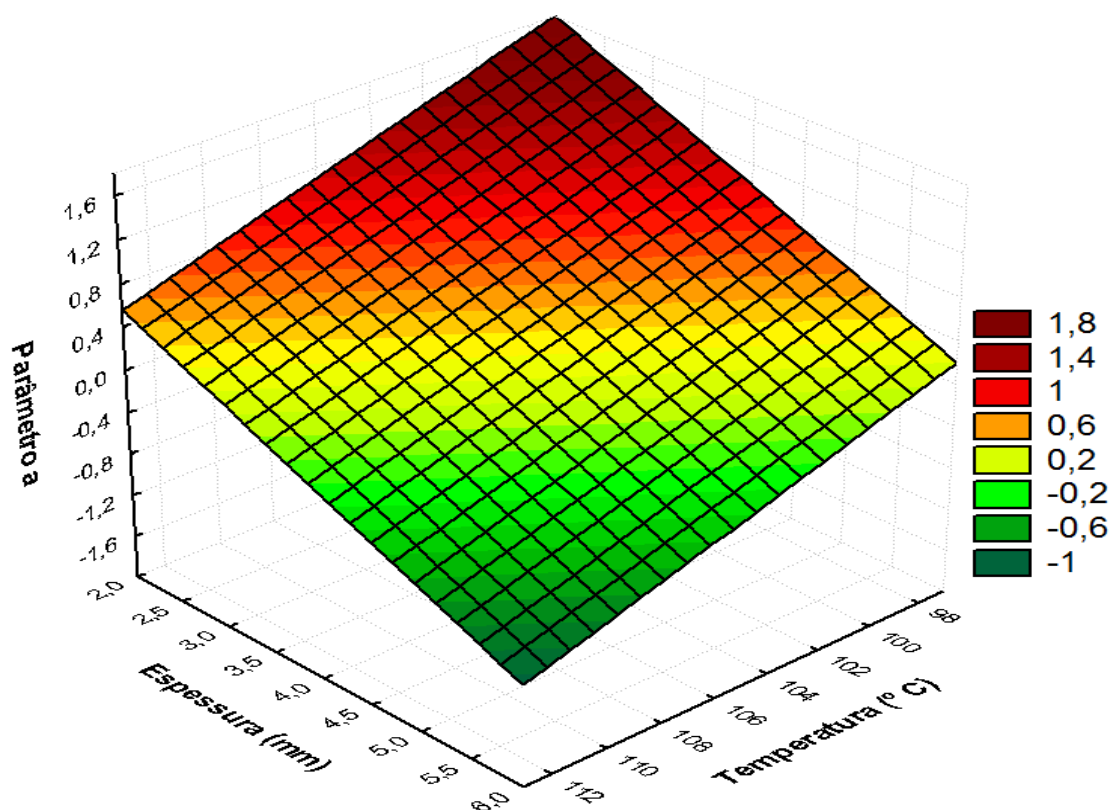
$$a^* = 0,38 - 0,62T - 0,80E \quad (5)$$

onde T é a temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e E a espessura.

O coeficiente de correlação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,9696, indicando que o modelo explicou 96,96% da variabilidade dos dados observados.

A Figura 9 mostra a superfície obtida através do modelo proposto para o efeito da temperatura e da espessura no parâmetro a^* dos abacaxis secos.

Figura 9–Superfície de resposta para a influência da temperatura e da espessura no parâmetro a^* dos abacaxis secos.



Para maiores temperaturas, observa-se um aumento nos tons de verde nos abacaxis secos (Figura 9). Resultados semelhantes foram obtidos na secagem da Amla (*Emblica officinalis*) no trabalho de Mishra, Mishra e Mahanta (2014), onde em maiores temperaturas houve uma redução no teor de tons avermelhados da fruta, ou seja, maior tendência ao verde, como o ocorrido neste trabalho.

Parâmetro b^*

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais para o parâmetro b^* dos abacaxis secos, são apresentados na Tabela 10. Os efeitos dos fatores lineares e quadráticos e da interação, em negrito, são significativos para um nível de significância de 10 % ($p \leq 0,10$).

Tabela 10 - Parâmetro do modelo e significância estatística, para a resposta b^* .

Fator	Efeito	Nível de Significância (p)
Média	13,91222	0,000796
Temperatura (linear)	2,08388	0,045515
Espessura (linear)	0,81334	0,174141
Temperatura x Espessura	-0,73834	0,264498
Temperatura (quadrático)	0,08166	0,920205
Espessura (quadrático)	1,73	0,173434

A temperatura do ar de secagem apresentou de forma isolada um efeito positivo, ou seja, quando se utiliza maiores temperaturas obtêm-se abacaxis secos com maiores valores de b^* . Os outros fatores não obtiveram efeitos significativos, ou seja, a espessura não influenciou de forma significativa este parâmetro relacionado à cor.

5.2 Cinética de Secagem

A cinética de secagem possibilita que a quantidade de água removida, o tempo da operação de secagem, o gasto energético, dentre outros parâmetros, sejam calculados e determinados em grande escala pelas propriedades físico-químicas da matéria (STRUMILLO e KUDRA, 1986), sendo essencial para a modelagem da operação e o projeto dos equipamentos.

Nas Figuras 10, 11 e 12 estão apresentadas as curvas de secagem do abacaxi, por infravermelho, para as temperaturas de 97, 105 e 113°C, respectivamente. Em todas as condições estudadas observou-se um comportamento típico para a variação da umidade com o tempo de secagem, ou seja, um período linear (taxa constante) e outro com velocidade decrescente. A partir das curvas apresentadas, pode-se verificar que a espessura possui grande influência na cinética de secagem para o abacaxi.

Figura 10 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes espessuras a 97°C.

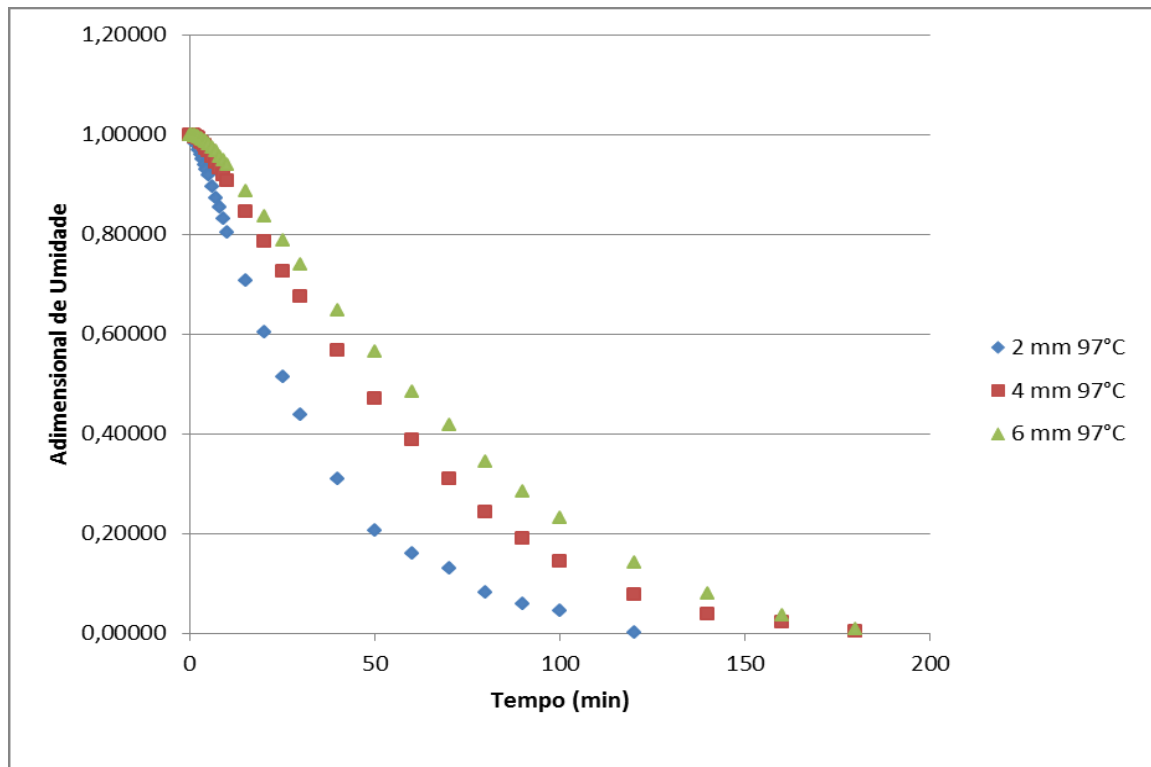


Figura 11 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes espessuras a 105°C.

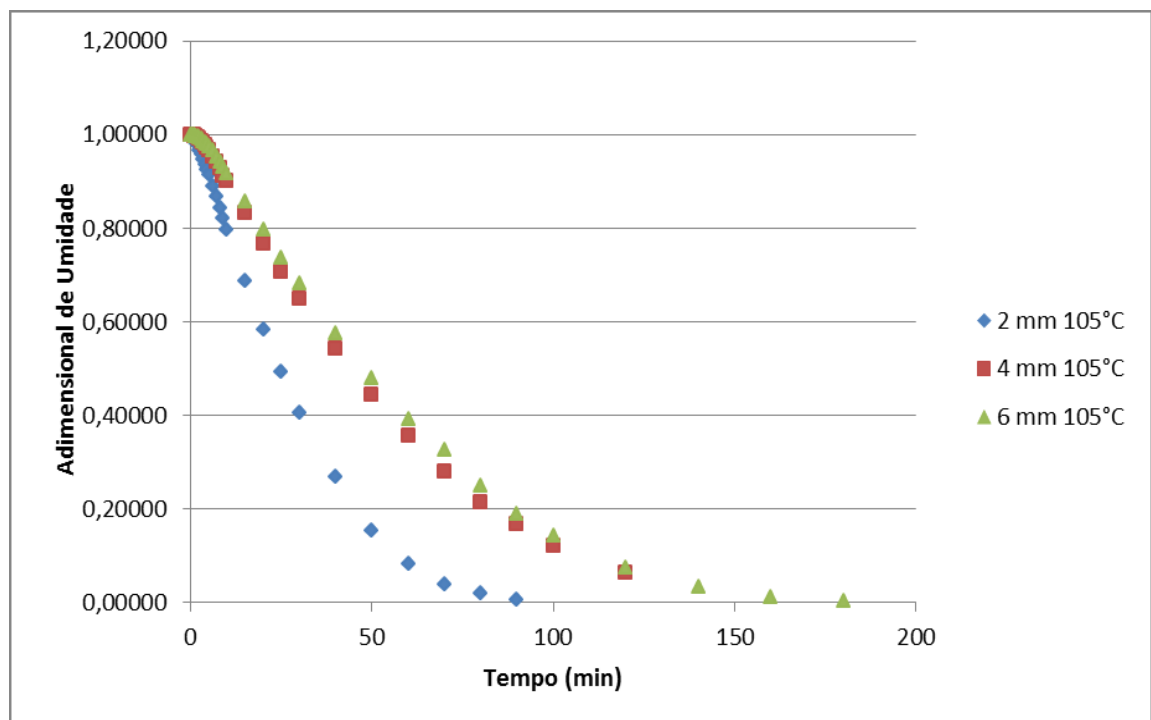
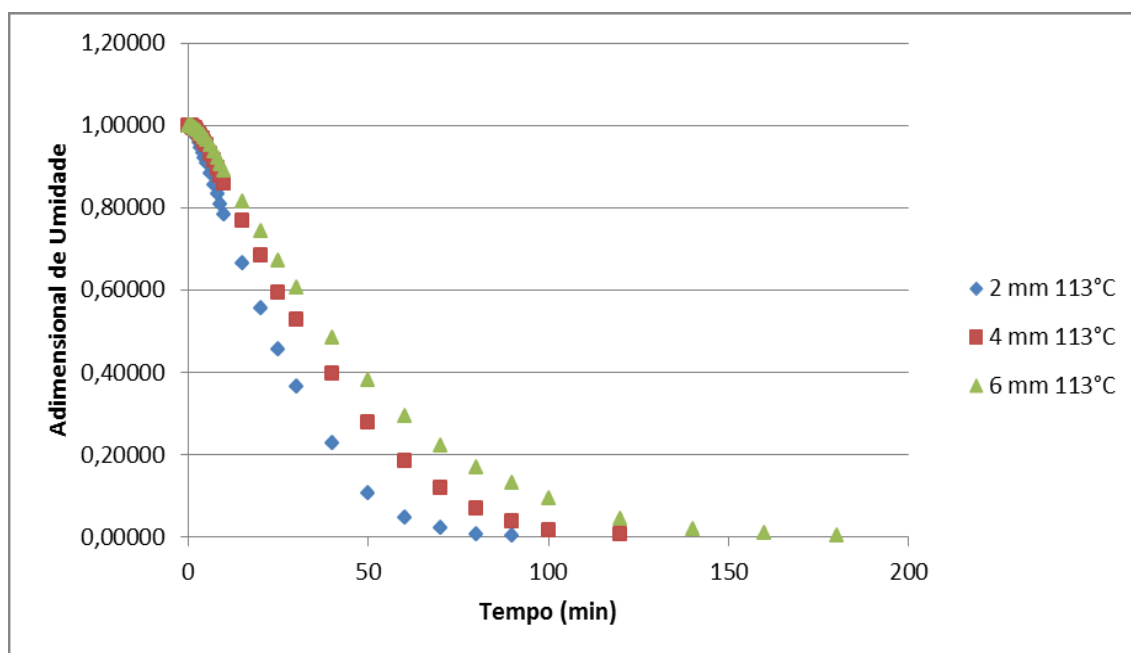


Figura 12 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes espessuras a 113°C.



As curvas de secagem permitem avaliar o comportamento variação da umidade do abacaxi ao longo do processo de secagem até que a massa da amostra permaneça constante, ou seja, até que se atinja a umidade de equilíbrio para as condições de secagem operadas. A cinética de secagem é influenciada diretamente pela temperatura sendo que ao operar com valores mais elevados ocorre redução do tempo total de secagem, o que pode ser interessante por reduzir custos e resultar em um tempo de residência menor do alimento no secador, significando um menor período de exposição em altas temperaturas. Por outro lado, maiores temperaturas podem levar à perda na qualidade do produto.

Nas Figuras 13, 14 e 15 estão apresentadas as perdas de umidade em relação ao tempo para as espessuras de 2, 4 e 6 mm.

Figura 13 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes temperaturas a 2 mm.

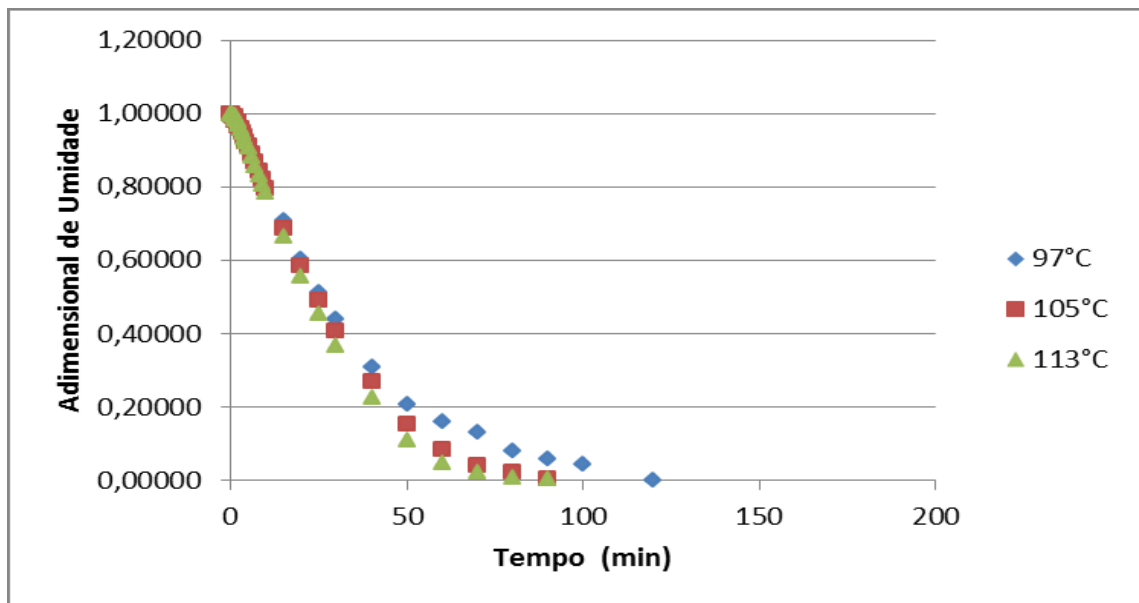


Figura 14 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes temperaturas a 4 mm.

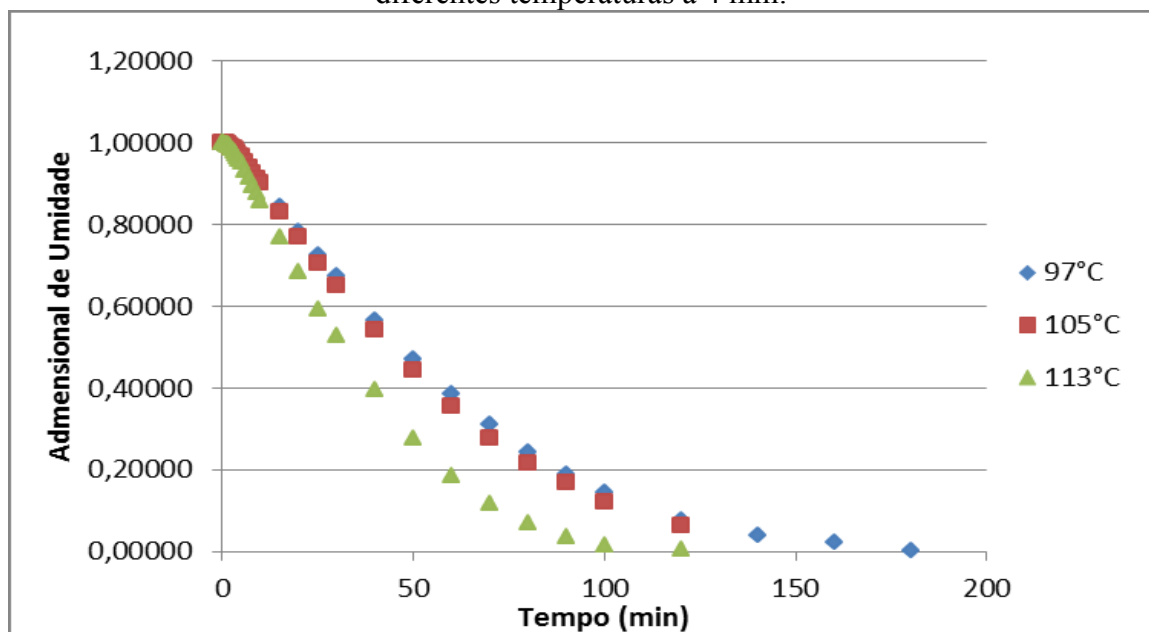
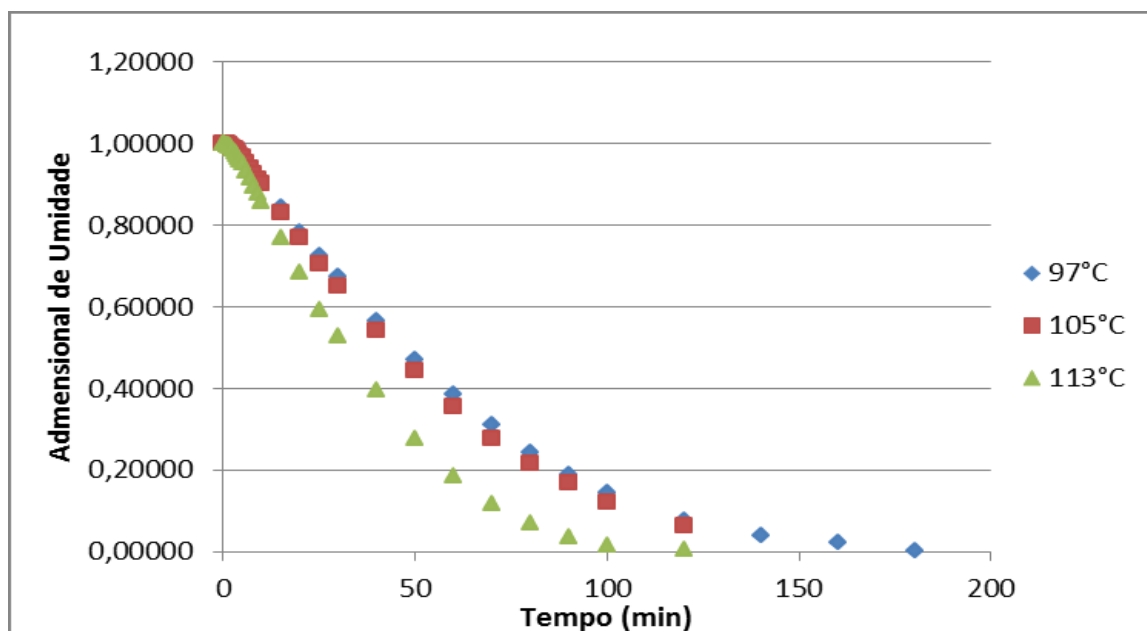


Figura 15 - Evolução da perda de umidade do abacaxi em relação ao tempo para diferentes temperaturas a 6 mm.



De acordo com curvas de secagem apresentadas na Figura 13, Figura 14 e Figura 15, nota-se que temperaturas mais elevadas resultaram em um menor tempo para se atingir um determinado nível de conteúdo de água e para se atingir o equilíbrio, o que leva a um menor tempo de secagem.

E em relação a espessura, como mostrado na Figura 13, por se tratar de uma espessura menor, atingiu-se o equilíbrio em um tempo menor quando comparado com a Figura 14 e Figura 15, de espessura 4 mm e 6 mm respectivamente. Isso se deve ao fato da transferência de calor ser maior em finas camadas propiciando assim uma redução de umidade em um menor tempo. Para as espessuras de 4 mm e 6 mm elas apresentaram comportamento semelhantes, atingindo o equilíbrio em ambas faixas de temperatura quase ao mesmo tempo.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que foi possível a produção de abacaxi seco, por radiação infravermelha, com características satisfatórias. As temperaturas e espessuras avaliadas influenciaram significativamente nas propriedades-físico químicas dos mesmos.

A temperatura do infravermelho apresentou influência significativa sobre a atividade de água, um aumento nessa variável fez com que fossem obtidos abacaxis com menores valores de atividade de água logo, reduzindo a possibilidade de crescimento microbiano. A espessura teve influencia significativa na umidade, evidenciando que quanto menor a espessura, mais rápido se chegaria a umidade de equilíbrio.

A luminosidade do abacaxi seco foi alta, havendo uma redução nos valores do parâmetro a^* , demonstrando uma tendência a serem mais esverdeados e um aumento do parâmetro b^* da análise de cor, demonstrando uma tendência a serem mais amarelos.

A cinética de secagem mostrou que a aumentos na temperatura resultaram em redução no tempo de secagem e na umidade do produto final e menores valores de espessura associados a altas temperaturas atingem o estado de equilíbrio de umidade mais rapidamente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - A.O.A.C.. **Official Methods of Analysis**, 18 ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.

BARBANTI, D.; MASTROCOLA, D.; SEVERINI, C. Air drying of plums. A comparison among twelve cultivars. **Sciences des Aliments**, n. 14, p. 61-73, 1994.

BENZING, D.H. **Bromeliaceae: profile of an adaptive radiation**. New York: Cambridge University, 2000. 690p

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P. A. **Introdução a química dos alimentos**. 2 ed. São Paulo: Vereda, 1992. 223 p., 1985.

BROD, F.P.R. **Avaliação de um secador vibro-fluidizado**. 2003. 335p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

CELESTINO, S.M.C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 51p. 2010. ISSN online 2176-5081.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 785 p. 2005.

COTIAS-DE-OLIVEIRA, A.L.P. et al. Chromosome numbers in Bromeliaceae. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirao Preto, v.23, n.1, 173-177, 2000.

CTENAS, M.L.B.; QUAST, D. Abacaxi. (Ed.). **Frutas das terras brasileiras**. São Paulo: C2, 2000. p.41-45.

DINCER, I.; DOST, S. An analytical model for moisture diffusion in solid objects during drying. **Drying Technology**, 13:425-435, 1995.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FORTES, M.; OKOS, M. R. Drying theories: their bases and limitations as applied to foods and grains. **Advances in Drying**, v.1, p.119-153, 1980.

GIACOMELLI, E.J.; PY, C. **O abacaxi no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1981. 101p

HAYS, W.P.; HAYS, R.V. The pineapple. In: HAYS, W.P.; HAYS, R.V. **Foods the Indians gave us**. New York: Ives Washburn, 1973. p.40-47.

IBGE. **Dados de safra de abacaxi no Brasil**, 2015.

IEMMA, A.F ;RODRIGUES, M.I. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**.Campinas: Unicamp, 2009.

MEDINA, J.C.**Frutas tropicais 2**.São Paulo: Canton, 1978. p.06-68.

MISHRA, P.; MISHRA, S.; MAHANTA, C.L. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla(*Emblicaofficinalis*) juice powder. **Food and bioproducts processing**, v. 92, p. 252-258, 2014.

MUJUMDAR, A. S.; MENON, A. S. Drying of solids: principles, classifications andselection of dryers. In: Mujumdar, A. S. **Handbook of industrial drying**, Vol. 1, 2nd Ed. New York: Marcel Dekker,Inc, p. 899-920.,1995.

NASCIMENTO, V. R. G. **Secagem convectiva com radiação infravermelha de grãos de Moringa oleifera Lam**. Dissertação de Mestrado, Campinas/SP, Unicamp, 2014.

NICOLETI, J. F.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics. **Drying Technology**, v. 19, n. 9, p. 2175-2191, 2001.

NINDO C.; MWITHIGA G., Infrared Drying. In: PAN, Z.; ATUNGULU, G. G. **Infrared Heating for Food and Agricultural Processing**.New York: CRC Press, Cap. 5, p. 89 – 97, 2011.

OLIVEIRA, Dalmo. **Nova técnica aumenta produção de abacaxi**. Banco de notícias da EMBRAPA,2001.

ORDÓÑEZ, J. A; RODRIGUES, M. I. C.; ÁLVARES, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G.F; PERALES, L. H; CORTECERO, M. D. S. **Tecnologia de Alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 2 v. em 1.

PERERA, C. O. Selected quality attributes of dried foods. **Drying Technology**, v. 23, p. 717-730, 2005.

PONKHAM, K.; MEESO, N.; SOPONRONNARIT, S.; SIRIAMORNPUN, S. Modeling of combined far-infrared radiation and air drying of a ring shaped-pineapple with/without shrinkage.**Food and Bioproducts Processing**, doi:10.1016/j.fbp.2011.02.008, 2011.

RAHMAN, S. **Food Properties Handbook**. CRC Press, 1995.

SAMPAIO, T. **O tupi na geographia nacional**. São Paulo: “O Pensamento”, 1914. 285p.

STRUMILLO, C.; KRUDA, T. **Drying: principles, applications and design**. Gordon and Beach. New York, 1986.

SWASDISEVI T.; DEVAHASTIN, S.; NGAMCHUM, R.; SOPONRONNARIT, S. Optimization of a drying process using infrared vacuum drying of Cavendish banana slices. **Songklanakarin Journal Science Technology**, v.29, n.3, p.809-816, 2007.

SILVA, S.; TASSARA, H. Abacaxi. In: SILVA, S.; TASSARA, H. **Frutas no Brasil**. São Paulo: Nobel, 2001. p.25-27.

SIMÃO, S. O abacaxizeiro. In: SIMÃO, S. **Tratado de fruticultura**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p.249-288.

Taco - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. Campinas: NEPA/UNICAMP, 2011. 164p. Disponível em <<http://www.unicamp.br/nepa/taco/>>.

Valente, P. P. S. da S. (2007). **Desidratação osmótica e secagem de abacaxi (ananás comosus (L.) Merrill), variedade pérola**. Tese (Mestrado em Engenharia Alimentos) – Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 165p.

VILLA-CORRALES, L.; FLORES-PRIETO, J.J.; XAMÁN-VILLASEÑOR, J.P.; GARCÍAHERNÁNDEZ, E. Numerical and experimental analysis of heat and moisture transfer during drying of Ataulfo mango. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 198–206, 2010.

ZHU, Y.; PAN, Z. Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating. **Journal of Food Engineering**, v.90, p.441–452, 2009.