



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE AGRONOMIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CAMPUS DE POMBAL - PB**

**CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA
FARINHA DA BANANA PRATA VERDE (*Musa spp.*)**

POMBAL - PB

2014

JOSIMÁRIA DANTAS COSTA

**CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA
FARINHA DA BANANA PRATA VERDE (*Musa* spp.)**

Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal de Campina Grande - *Campus* Pombal, PB como requisito para obtenção do diploma de Engenharia de Alimentos.

Orientadora:

Prof^a. MSc. Georgiana Maria Vasconcelos Martins

Co – Orientador:

Prof^o Dr. Adriano Sant'Ana Silva

POMBAL - PB

2014

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA SETORIAL
CAMPUS POMBAL/CCTA/UFCG**

MON
C837c

Costa, Josimária Dantas.

Cinética de secagem e caracterização físico-química da farinha da banana prata verde (*Musa spp.*) / Josimária Dantas Costa. - Pombal, 2014.
65fls.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) –
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia
Agroalimentar, 2014.

"Orientação: Profa. Ma. Georgiana Maria Vasconcelos Martins".

"Co-orientação: Prof. Dr. Adriano Santana da Silva".

Referências.

1. Banana Prata Verde - Propriedades Funcionais. 2. Farinha de Banana. I.
Martins, Georgiana Maria Vasconcelos. II. Silva, Adriano Santana da. III. Título.

UFCG/CCTA

CDU 582.548.21

TERMO DE APROVAÇÃO

JOSIMÁRIA DANTAS COSTA

CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA FARINHA DA BANANA PRATA VERDE (*Musa* spp.)

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Alimentos submetido à Banca Examinadora designada pela Universidade Federal de Campina Grande - *Campus* Pombal, PB, como requisito para a obtenção do diploma.

Pombal - PB, _____ de _____ de 2014.

Banca Examinadora:

Profa. MSc. Georgiana Maria Vasconcelos Martins - UFCG
(Orientadora)

Prof. Dr. Adriano Sant'ana da Silva - UFCG
(Co-orientador)

Profa. Dra Morgana Fabíola Cunha Canuto - UFCG
(Avaliadora interna)

Pesquisadora Dra Severina de Sousa - UFCG
(Avaliadora externa)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às pessoas que fazem parte da minha vida:

Aos meus pais, Maria do Rosário e José Ludugério;

Aos meus irmãos, José Carlos, Josiane, Jaciara e Jussara;

Aos meus sobrinhos, Iara Sofia e Eduardo;

A meu companheiro António Monteiro;

Aos parentes, aos amigos, cunhada e a todos que me acompanharam e me ajudaram nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo carinho, atenção e, principalmente, pela paciência em todos esses anos da minha criação.

Aos meus irmãos que, por meios distintos, me deram apoio e suporte nas horas difíceis.

A minha orientadora Prof^a. MSc. Georgiana Maria Vasconcelos Martins e ao meu Co- Orientador Prof. Dr. Adriano Sant'Ana Silva, pela dedicação que tiveram na elaboração deste trabalho. Os elogios, incentivos e críticas, sempre bem fundamentadas, foram vitais para a sua realização.

Aos amigos, que me acompanharam e incentivaram a seguir o meu curso, com o foco necessário para completá-la no sucesso.

As colegas Fabiana Lunguinho, Marcela e Maria José, pessoas que são mais que futuros colegas de profissão.

A professora Dr^a Josilene Cavalcante e ao professor Dr. Osvaldo Soares da Silva por me dar oportunidade na carreira científica.

As técnicas do Laboratório da UFCG Wélida, Fabíola e Sabrina, pelo acolhimento e pelo auxílio durante a realização dos experimentos.

Ao amigo Andrew Calisthenes Lacerda pela paciência em me ajudar a encontrar o material para experimento.

Aos amigos "Metals" que absorvi durante o curso, Aline, Ingrid, Lucineide, Lizaiane, Thaísa, Dani, Ricardo, Yohanne, Tadeu, Tiago, Diógenes e Saulo, Jéssica, Dory, Albanete e Jaciara.

A amiga irmã Jaízia, por ter o privilégio de conviver um tempo nessa jornada.

A Universidade Federal de Campina Grande *Campus* Pombal-PB, por permitir a minha formação como profissional.

Muito Obrigada!!

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se estudar a secagem em camada fina da farinha de banana verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C em estufa com circulação forçada de ar. Para a representação da cinética de secagem em camada fina foram empregados os modelos matemáticos de dois termos, aproximação da difusão, Page (1949) e Midilli et al. (2002). Como critério de avaliação destes utilizou-se o coeficiente de determinação e o desvio quadrático médio. O presente trabalho também apresentou como objetivo caracterizar e avaliar a farinha da banana prata verde. Utilizou-se um planejamento experimental 2² com 3 pontos centrais para avaliar a influência das variáveis independentes temperatura e espessura sobre as respostas: proteína, acidez total titulável, pH, teor de água e vitamina C. Mediante os resultados obtidos observou-se que o aumento da temperatura diminuiu o tempo de secagem da farinha de banana verde. Dentre os modelos aplicados o de Midilli et al. (2002) e o de Aproximação da difusão apresentaram os maiores valores de coeficiente de determinação R² e os menores valores de DQM para a faixa de temperatura estudada. Com relação à análise estatística, verificou que para as variáveis de respostas não houve influência estatisticamente significativa para as variáveis de entrada: temperatura e espessura da camada. Por outro lado, a caracterização físico-química indicou que a banana 'Prata' verde é viável para o processo de obtenção da farinha de banana, tendo em vista que, proteína, o pH, teor de água, a acidez total titulável e a vitamina C estão compatíveis com os valores encontrados em outras farinhas similares.

Palavras – chave: Banana; Secagem; Modelos Matemáticos; Físico - química.

ABSTRACT

This work was developed with the aim of studying the thin layer drying of green banana flour at temperatures of 50, 60 and 70 °C in an oven with forced air circulation. To represent the drying kinetics of thin layer mathematical models of two terms, the diffusion approximation, Page (1949) and Midilli et al. (2002) were used. As a criterion for evaluating these used the coefficient of determination and root mean square deviation. This paper also presented to characterize and evaluate the silver green banana flour. We used an experimental design 2^2 with 3 core points to evaluate the influence of temperature and thickness independent variables on the responses: protein, total acidity, pH, water content and vitamin C. From the results obtained it was observed that the increase temperature decreased the drying time of unripe banana flour. Among the models applied Midilli et al. (2002) and the diffusion approximation showed the highest coefficient of determination R^2 and the lowest values of DQM for the temperature range studied. Regarding the statistical analysis found that for the response variables no statistically significant influence on the input variables: temperature and thickness. On the other hand, the physical-chemical characterization indicated that the banana Prata green is feasible for the process of obtaining banana flour, in view of that protein, pH, water content, total acidity and vitamin C are compatible with the values found in other similar flours.

Keywords: Banana drying ; Mathematical models ; Physical – chemical.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo Geral	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. Banana.....	16
3.2. Característica físico-química da banana prata verde (<i>Musa spp.</i>)	16
3.3. Características físico-químicas da farinha da banana verde (<i>Musa spp.</i>).....	18
3.4. Atividade de água (aw)	18
3.5. Generalidades da secagem	19
3.6. Modelos matemáticos que representam a secagem.....	20
3.7. Planejamento e otimização de experimentos.....	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1. Etapas de processamento	25
4.1.1. <i>Recepção</i>	25
4.1.2. <i>Seleção</i>	25
4.1.3. <i>Pesagem I</i>	26
4.1.4. <i>Sanitização</i>	26
4.1.5. <i>Descascamento</i>	27
4.1.6. <i>Tratamento</i>	27
4.1.7. <i>Pesagem II</i>	28
4.1.8. <i>Secagem</i>	28
4.1.9. <i>Obtenção da farinha</i>	29
4.1.10. <i>Armazenamento</i>	29
4.2. Cinética de Secagem	30
4.3. Características químicas e físico-químicas	31
4.3.1. <i>Acidez total titulável</i>	31
4.3.2. <i>Umidade</i>	31
4.3.3. <i>Vitamina C</i>	32
4.3.4. <i>pH</i>	32
4.3.5. <i>Proteína bruta (PB)</i>	32
4.3.6. <i>Atividade de água (AW)</i>	32

4.4. Planejamento experimental para a secagem	32
4.5. Análise estatística	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1. Determinação química e físico-química da matéria- prima	36
5.2. Curvas cinéticas e aplicação dos modelos matemáticos	37
5.3. Curvas cinéticas e aplicação de modelos matemáticos	41
5.4. Análise estatística das variáveis de resposta.....	45
5.5. Análise físico-química da farinha da banana verde.....	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	56
8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 4. 1. Fluxograma para obtenção da farinha de banana.....	24
Figura 4. 2. Recepção da banana no laboratório para o processamento	25
Figura 4. 3. Seleção da banana	25
Figura 4. 4. Pesagem das bananas com cascas.....	26
Figura 4. 5. Sanitização das bananas	26
Figura 4. 6. Bananas descascadas e cortadas em rodela.....	27
Figura 4. 7. Tratamento com metabissulfito de sódio.....	27
Figura 4. 8. Pesagem da banana na bandeja para secagem.....	28
Figura 4. 9. Bandejas centralizadas na estufa de circulação para secagem	28
Figura 4. 10. Figura (a) rodela de bananas desidratadas e figura (b) farinha da banana das rodela desidratadas	29
Figura 4. 11. Armazenamento da farinha	29
Figura 5. 1 Curva da razão de teor de água (RU) em função do tempo para as secagens da matriz experimental. E1= 50°C e 2mm ; E2 =70°C e 2mm ; E3 = 50°C e 4mm; E4 = 70°C e 4mm; E5 = 60°C e 3mm; E6= 60°C e 3mm; E7 = 60°C e 3mm	37
Figura 5. 2. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 2mm a 50°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão	41
Figura 5. 3. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 2mm a 70°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão	42
Figura 5. 4. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 4 mm a 50°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão	42
Figura 5. 5. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 4 mm a 70°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão	43
Figura 5. 6. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 3 mm a 60°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão	43
Figura 5. 7. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 3 mm a 60°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão	44
Figura 5. 8. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 3mm a 60°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão.....	44
Figura 5. 9. Dados de Proteínas para a farinha de banana verde, após 24 horas, 15 dias e 30 dias de armazenamento	50

Figura 5. 10. Dados de Acidez Total Titulável para os experimentos da farinha de banana verde, após 24 horas, 15 dias e 30 dias de armazenamento	51
Figura 5. 11. Dados de pH para a farinha de banana verde, após 24 horas, 15 dias e 30 dias de armazenamento	51
Figura 5. 12. Dados de Vitamina C para a farinha de banana verde, após 24 horas, 15 dias e 30 dias de armazenamento	52
Figura 5. 13. Dados de Umidade para a farinha de banana verde, após 24 horas, 15 dias e 30 dias de armazenamento	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 3. 1. Atividade de água (a_w) mínima para sobrevivência de fungos	19
Quadro 3. 2. Modelo matemático utilizados para predizer o fenômeno de secagem da banana prata verde (<i>Musa spp.</i>) para obtenção da farinha.....	20
Quadro 4. 1 Matriz do Planejamento completo 2^2 com 3 pontos centrais para secagem convectiva da banana prata verde.....	33
Quadro 4. 2 Análise dos dados para a caracterização química e físico-química da banana verde in natura e processada.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 3. 1. Composição nutricional em 100g da banana verde.....	17
Tabela 3. 2. Estágio de maturação da banana.....	17
Tabela 3. 3. Composição química da farinha de banana verde.	18
Tabela 5. 1 Determinação físico-química da banana verde in natura	36
Tabela 5. 2. Parâmetros do modelo da aproximação da difusão obtidos através dos dados experimentais.	39
Tabela 5. 3. Parâmetros do modelo de dois termos obtidos através dos dados experimentais.	39
Tabela 5. 4. Parâmetros da equação de Page obtidos através dos dados experimentais.	40
Tabela 5. 5. Parâmetros da equação de Midilli e Kucuk obtidos através dos dados experimentais.	40
Tabela 5. 6. Determinação físico - química da banana verde processada, análise após 24 horas de armazenamento.	45
Tabela 5. 7. Determinação físico - química da banana verde processada, análise após 15 dias de armazenamento.	46
Tabela 5. 8. Determinação físico - química da banana verde processada, análise após trinta dias de armazenamento.	46
Tabela 5. 9. Análise de variância (ANOVA) do modelo completo da tabela de regressão ($p \leq 0,05$) para as análises de proteínas, vitamina C, umidade, acidez total titulável e pH, após 24 horas de armazenamento.	47
Tabela 5. 10. Análise de variância (ANOVA) do modelo completo da tabela de regressão ($p \leq 0,05$) para as análises de proteínas, vitamina C, umidade, acidez total titulável e pH, após 15 dias de armazenamento.....	48
Tabela 5. 11. Análise de variância (ANOVA) do modelo completo da tabela de regressão ($p \leq 0,05$) para as análises de proteínas, vitamina C, umidade, acidez total titulável e pH, após 30 dias de armazenamento.....	49
Tabela 5. 12. Determinação da atividade de água (AW) da banana processada com trinta dias de armazenamento.	53

1. INTRODUÇÃO

A banana é uma das frutas mais consumidas no mundo, sendo produzida na maioria dos países tropicais, representa a quarta fonte de energia depois do milho, arroz e trigo. Sua alta concentração de amido a partir do processamento em farinha é de interesse como fonte alimentar e propósito industrial (BORGES et al, 2009), este pode ser mesclado com outros cereais e vegetais com alto conteúdo de amido como fontes de nutrientes com menos custos (PACHECO-DELAHAYE; TESTA, 2005).

O valor nutricional da banana é evidenciado pelo seu alto teor energético e quantidades consideráveis de carboidratos, em torno de 23%, proteína, 1,1% e lipídios, 0,3% (USDA, 2014). A banana também é fonte de flavonoides, β - caroteno (VIJAYAKUMAR et al., 2008), vitamina C e vitamina E (AMORIM et al., 2009).

Contudo, a banana apresenta algumas limitações no seu consumo, dentre os limitantes desse consumo, está o rápido escurecimento e amadurecimento do fruto, associado à ação das enzimas peroxidase e polifenoloxidase, que se apresentam principalmente na polpa da fruta e têm sua atividade aumentada quando submetida ao corte ou descascamento. A atividade dessas enzimas está diretamente relacionada à quantidade de água presente no alimento (MELO; VILAS-BOAS, 2006). A banana tem um amadurecimento muito rápido por isso tem uma grande quantidade de perdas na pós – colheita. Desse modo, a desidratação pode ser uma alternativa interessante para retardar a ação dessas enzimas e aumentar o tempo de vida de prateleira.

Conforme o Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas – (SBRT, 2013), as farinhas de bananas podem ser obtidas de secagem natural ou artificial, através de bananas verdes ou semiverdes das variedades, Prata, Terra, Cavendish, Nanica ou Nanicão. Quando bem processadas podem ser utilizadas em panificação e alimentos infantis.

De acordo com Evangelista (2005) & Ordoñez (2007) a secagem, como procedimento de conservação, é utilizada nos dias de hoje dentro dos moldes e controles tecnológicos, tendo abandonado as antigas formas empíricas. A forma da banana na forma de farinha pode ser uma alternativa para o aumento da vida de prateleira do fruto, bem como ser utilizada como suplemento na confecção de outros produtos / alimentos.

A banana é considerada como alimento funcional e rica em amido e sais minerais sendo muito consumida na Paraíba, no Brasil e no resto do mundo. Assim, existe muito interesse na criação de novos produtos a partir da banana com o objetivo de minimizar os desperdícios podendo enriquecer ao mesmo tempo outros alimentos.

Este trabalho tem a finalidade de efetuar a secagem da banana prata verde em estufa de circulação de ar a 50, 60 e 70°C para obtenção de um extrato seco que possa vir a ser utilizado como suplemento alimentar, estudando sua estabilidade por um período de 30 dias. Assim teremos uma avaliação das características físico-química da banana prata verde (*Musa spp.*) in natura e na forma de farinha, visando à obtenção de dados científicos sobre as possíveis propriedades funcionais que estimule o seu uso como suplementos na indústria de alimentos, agregando valor aos produtos que venham a ser processados com este ingrediente.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é desidratar banana verde prata (*Musa ssp.*) em rodelas com espessuras diferentes para estudar o processo de secagem, em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e caracterizar a farinha produzida na secagem.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar a composição química e físico-química da polpa da banana verde *in natura*, em relação a proteína, vitamina C, pH, Acidez Total Titulável, Umidade.

- Estudar o processo de secagem da banana mediante planejamento completo 2^2 com 3 pontos centrais, tendo como variáveis independentes: temperatura e espessura das rodelas; e como variáveis dependentes: teor de água, proteínas totais, acidez total titulável, vitamina C, pH e Atividade de água.

- Escolher a melhor condição de secagem com base nos parâmetros de qualidade (teor de água, teor de proteína, acidez total titulável, pH e vitamina C).

- Ajustar os modelos matemáticos aos dados experimentais.

- Determinar a composição físico-química da farinha da banana verde (*Musa ssp.*) processada e armazenada nos períodos de 24 horas, 15 dias e 30 dias.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Banana

A banana (*Musa spp.*) é um dos frutos mais cultivados em todo o mundo. Segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), o Brasil no ano de 2012 estava na 5ª posição no ranking dos maiores produtores mundiais de banana depois da Índia, China, Filipinas e Equador. No ano de 2013, foram produzidas, 7,181,959 milhões de toneladas do fruto em todo Brasil. O cultivo é realizado em todas as regiões do País, sendo que nesse ano a região que apresentou maior taxa de produção é o Nordeste, com 2. 748.646 toneladas e a cidade que apresentou a maior taxa de produção foi o Ceará com 440,810 toneladas e em segundo lugar ficando a Paraíba com 175.721 toneladas (IBGE, 2014).

Por apresentar um amadurecimento muito rápido, a banana apresenta uma quantidade de perdas pós-colheita muito elevada. Há dados que demonstram que até 40% da produção é perdida do período da colheita até a chegada do produto à mesa do consumidor (CAMPOS, VALENTE, PEREIRA, 2003). Deste modo, é necessária a descoberta de alternativas que diminuam essas perdas.

Uma alternativa que vem sendo estudada é a desidratação. O método mais comum é a secagem por convecção forçada. Neste processo é realizada a remoção parcial ou total da água presente no fruto partir da exposição deste ao ar com temperatura elevada. Essa redução na quantidade de água está relacionada com a diminuição na atividade microbológica e enzimática, o que reduz a degradação do fruto. O baixo custo e a fácil aplicação são fatores que favorecem a utilização desse processo na indústria, de forma que este agrega valor ao produto e aumenta consideravelmente o seu tempo de prateleira (POMTES et al., 2009).

3.2. Característica físico-química da banana prata verde (*Musa spp.*)

A banana apresenta um elevado teor de amido, de 20 a 25 % em peso do fruto verde, além de porcentagens menores de proteínas, gorduras, vitaminas e sais minerais. Dentre os amidos presentes na banana, há um tipo especial: o amido resistente (AR), que é a fração de amido e de produtos da degradação do amido que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis (ASP, 1992).

Quando há amadurecimento da banana, esse amido resistente é convertido em açúcares, em sua maioria glicose, frutose e sacarose, dos quais 99,5% são fisiologicamente disponíveis (FASOLIN et al., 2007). A tabela 3.1 apresenta a composição nutricional em 100g da banana verde.

Tabela 3. 1. Composição nutricional em 100g da banana verde

COMPOSIÇÃO	BANANA VERDE
Calorias	122 kcal
Carboidratos	28,7g
Gordura	0,20g
Proteína	1,4g
Vitamina C	16,9 mg

Fonte: FRANCO (1992)

Junto com essas mudanças físicas- químicas, a cor da casca da banana também muda, pela diminuição da quantidade de clorofila na casca (Li *et al.*, 1997). No início a cor é predominantemente verde e torna-se cada vez mais amarela, até começar a aparecer manchas pretas. Em função disso, são estabelecidos 7 estágios de maturação por inspeção visual conforme indicado na Tabela 3.2, portanto é possível relacionar essa variação da cor da casca com as características físico-químicas do fruto, como realizado por Ditchfield (2004).

Tabela 3. 2. Estágio de maturação da banana

Estágio de maturação	Cor da casca
I	Verde
II	Verde com traços amarelos
III	Mais verde que amarelo
IV	Mais amarelo que verde
V	Amarelo com manchas verdes
VI	Amarelo
VII	Amarelo com manchas negras

Fonte: Li et al. (1997)

3.3. Características físico-químicas da farinha da banana verde (*Musa spp.*)

A partir da secagem da polpa de banana verde é possível se obter a farinha de banana verde, que apresenta sabor suave, podendo substituir outras farinhas sem prejuízo desta característica sensorial. A secagem pode ser natural ou artificial, e quando bem processada pode ser utilizada como matéria prima de inúmeros produtos, principalmente em panificação (OVANDRO-MARTINEZ, 2009). Na Tabela 3.3 está representada a composição química da farinha de banana verde.

Tabela 3. 3. Composição química da farinha de banana verde

COMPONENTE (%)	Quantidade (g. 100g⁻¹)
Umidade	7,55 ± 0,13
Cinzas	2,62 ± 0,06
Proteínas	4,54 ± 0,20
Lipídios	1,89 ± 0,11
Amido	73,28 ± 0,95
Açúcares redutores	Traços
Açúcares não redutores	Traços

Valores médios de três repetições com três determinações cada uma \pm desvio padrão. Fonte: FASOLIN et al. (2007).

3.4. Atividade de água (aw)

A presença de água no produto pode ser medida de diferentes formas, mas nem todos os métodos indicam a disponibilidade da água para os microrganismos, uma vez que nem toda água está igualmente disponível. Atividade de água (aw), quantidade de água não ligada e que está à disposição dos microrganismos, é definida como a razão entre a pressão de equilíbrio de vapor do substrato em relação à água pura, à mesma temperatura. A atividade de água influencia o desenvolvimento microbiano e os processos bioquímicos, tendo por isso, cada microrganismo uma faixa de atividade de água adequada para que possa efetuar suas atividades metabólicas (RAMANA et al.,1993). Segundo Robinson & Nigam (2003) as bactérias suportam valores de atividade de água de até 0,75, as leveduras toleram valores de até 0,62 a 0,64 e os fungos filamentados crescem rapidamente com atividade de água inferior a 0,85 e até 0,61. A umidade é considerada ótima no

substrato saturado, e varia de 30 a 85% dependendo do substrato. Os valores obtidos para os microrganismos estudados estão descrito no Quadro 3.1.

Quadro 3. 1. Atividade de água (aw) mínima para sobrevivência de fungos

FUNGOS	ATIVIDADE DE ÁGUA (aw)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,61
<i>Aspergillus restrictus</i>	0,70
<i>Aspergillus halophilicus</i>	0,68
<i>Aspergillus glaucus</i>	0,73
<i>Aspergillus candidus</i>	0,80
<i>Aspergillus ochraceus</i>	0,80
<i>Aspergillus flavus</i>	0,85
<i>Penicillium</i> (diversas espécies)	0,85

Fonte: PAULO et al. (2003)

3.5. Generalidades da secagem

A secagem é um complexo processo que envolve transferência de calor e massa, sendo que o transporte de umidade, do interior para a superfície do material, pode ocorrer na forma de líquido e/ou vapor, dependendo do tipo de produto e do percentual de umidade presente. O processo de secagem deve acontecer de forma controlada para que possa ocorrer de maneira uniforme, evitando elevados gradientes de umidade e temperatura no interior do material que podem provocar a perda da qualidade do produto. Sabendo-se que os efeitos da secagem alteram as propriedades físicas e químicas do produto e que estes, por sua vez, afetam o processo de transferência de calor e massa, é fundamental se conhecer os seus efeitos e o seu controle (LIMA et al., 2007).

Durante muito tempo o tradicional método de secagem na agricultura era deixar o produto no campo, sob a ação do sol e do vento, para perder parte de sua umidade. Conforme o tempo foi passando e com os conhecimentos adquiridos pela experiência, os artesãos tornaram-se cada vez mais capazes de lidar com secagem e armazenamento de alimentos; atualmente, esses assuntos são objeto de estudos em muitos centros de pesquisa e universidades em todo o mundo, em um processo

contínuo de descobertas de novas metodologias de otimização da economia e qualidade do produto (FIOREZE, 2004).

A secagem artificial é uma operação relativamente cara; entretanto, apresenta uma série de vantagens com relação à secagem natural, como independência das condições climáticas, possibilidade de se estabelecer um programa de operação com mais facilidade; além disso, diminui o risco de deterioração dos alimentos em função do tempo de secagem ser menor (SOUSA, 1999).

Dois dos principais fatores que governam a secagem são: a retirada de umidade da superfície do produto, que é função tanto da área do produto em exposição ao ar como da capacidade do ar de retirar a água da superfície, e a migração de umidade do interior à superfície do produto (FIOREZE, 2004).

3.6. Modelos matemáticos que representam a secagem

No Quadro 3.2 estão representados os modelos matemáticos para secagem em camada fina.

Quadro 3. 2. Modelo matemático utilizados para predizer o fenômeno de secagem da banana prata verde (*Musa spp.*) para obtenção da farinha

Designação do Modelo matemático	Equação	Nº	Referência
Aproximação da difusão	$RU = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)t$	1	(CORRÊA et al., 2010)
Dois termos	$RU = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	2	(JITTANIT,2011)
Midilli	$RU = a \exp(-kt^n) + b t$	3	(MIDILLI et al.,2002)
Page	$RU = \exp(-kt^n)$	4	(DOYMAZ,2005)

Em que: RU - razão de umidade; a, b, n - coeficiente dos modelos; k, k_0 , k_1 , constantes de secagem (min^{-1}); tempo (min).

Os modelos matemáticos de secagem das Equações 1, 2, 3 e 4, serão ajustados aos dados da cinética de secagem das rodela de banana verde, utilizando-se o programa computacional STATISTICA versão 5.0.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais serão: o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM) calculado pela Eq. 5.

$$DQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RU_{pre} - RU_{exp})^2} \quad (5)$$

Em que :

DQM é o desvio médio

RU_{pre} é a razão de umidade predito

RU_{exp} é a razão de umidade experimental

N é o número de dados experimentais

3.7. Planejamento e otimização de experimentos

A metodologia da superfície de resposta RSM empregada desde a década de 50 é uma técnica baseada no emprego de planejamento fatorial e que até hoje tem sido largamente utilizada com bastante sucesso na modelagem de diversos processos industriais (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978).

De acordo com Barros Neto, Scarmínio e Bruns (2003), ela é composta de duas etapas: a modelagem e o deslocamento. Ambas podem ser repetidas quantas vezes forem necessárias, até que se atinja uma região ótima (máximo ou mínimo), da superfície estudada. A primeira é conseguida se ajustando modelos lineares ou quadráticos a resultados experimentais obtidos de planejamentos experimentais. A segunda ocorre em busca do caminho de máxima inclinação de um determinado modelo, que é o caminho onde a resposta varia de forma mais pronunciada.

O método do planejamento é baseado na seleção de níveis (nível superior + e nível inferior -) para cada variável de entrada (variável independente) e na execução de experimentos para todas as possíveis combinações. Se n fatores (variáveis controladas pelo experimentador) estão envolvido no estudo de um sistema, o planejamento necessita de $2n$ ensaios diferentes, que é o número mínimo para obtenção de um planejamento fatorial completo. Outros ensaios podem ser

adicionados ao experimento na forma de repetições a fim de se calcular o erro experimental. Com os resultados obtidos, podem-se calcular os efeitos principais e de interação das variáveis independentes sobre as respostas (variáveis dependentes), determinando quais os efeitos mais significativos para o processo em estudo.

Para a obtenção dos modelos empíricos através de regressões lineares e não lineares, Box, Hunter, Hunter (1978) afirmam que é necessário realizar primeiramente uma análise da variância (ANOVA), utilizando dois parâmetros muito importantes: coeficiente de correlação R^2 e o valor estimado para o teste.

O coeficiente de correlação é um parâmetro estatístico que relaciona a variância dos pontos experimentais em relação ao modelo proposto com a variância da própria população de pontos experimentais. Se a correlação entre os valores previstos pelo modelo e os valores experimentais for igual à unidade, diz-se que esta é perfeita, caso contrário, quanto o valor for nulo, não existe correlação alguma entre eles.

A base do teste F consiste em verificar se existe relação entre as variáveis independentes e as respostas do planejamento. Quando não existe correlação entre as variáveis independentes e as respostas, pode-se demonstrar que a razão entre as médias quadráticas da regressão e do resíduo (MQR/MQr) segue uma distribuição F (hipótese nula). Neste caso, a variação nos valores dos resultados foi devido, exclusivamente, a fatores aleatórios. A hipótese nula pode ser testada usando o valor efetivamente calculado para MQR/MQr e, para isto, basta compará-lo com o valor tabelado de F. Se as variações das respostas experimentais para se questionar a hipótese nula. Desta forma, pode-se dizer que a equação de regressão não é significativa.

Por outro lado, caso a razão MQR/MQr seja maior que o valor de F tabelado, pode-se dizer que a equação de regressão é estatisticamente significativa e que os dados experimentais podem ser bem representados pelo modelo obtido. De acordo com Box e Wetz (1993), para que um modelo seja considerado estatisticamente significativo e predito é necessário que o valor da razão MQR/MQr seja de quatro a cinco vezes superior ao valor de F tabelado e/ou a falta de ajuste não significativa.

A análise dos resíduos é outro parâmetro de importância fundamental ao se avaliar a qualidade do ajuste de um modelo. Valores residuais altos indicam má qualidade no ajuste (BARROS NETO, SCARMINIO, BRUNS, 2003)

A metodologia do planejamento fatorial, associada à análise de superfície de respostas, é uma ferramenta fundamental na teoria estatística, que fornece informações seguras sobre o processo, minimizando o empirismo que envolve técnicas de tentativa a erro (BOX, HUNTER, HUNTER 1978).

Para que o uso da metodologia atinja resultados desejados, é necessário haver uma interação entre o processo, a estatística e o bom senso.

Um planejamento experimental apresenta as seguintes vantagens:

1. Reduz o número de experimentais ou repetições a melhora a qualidade da informação obtida através dos resultados;
2. Os fatores são analisados simultaneamente;
3. É possível otimizar mais de uma resposta ao mesmo tempo;
4. Permite calcular e avaliar o erro experimental;
5. Depende mais da competência do profissional em sua área de atuação que de seus conhecimentos em estatística.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Produtos Hortícolas –TPH e Laboratório de Análise de Alimentos do Centro de Ciências e Tecnologia de Alimentos – CCTA da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campus Pombal /PB, durante um período de julho a outubro de 2013. A cultivar utilizada para obtenção da farinha de banana verde foi a cultivar Prata, proveniente do mercado público da cidade de Pombal-PB.

A figura 4.1 apresenta as etapas de processamento para obtenção da farinha de banana verde.

Figura 4. 1. Fluxograma para obtenção da farinha de banana



4.1. Etapas de processamento

4.1.1. Recepção

As amostras de banana verde foram recepcionadas no laboratório de TPH-CCTA/UFCG-Pombal-PB, sendo o local higienizado, minimizando os riscos de contaminação. A figura 4.2 ilustra o foto da banana prata verde utilizada para obtenção da farinha.

Figura 4. 2. Recepção da banana no laboratório para o processamento



4.1.2. Seleção

As pencas de bananas foram selecionada em tamanho uniforme e no estado de maturação I de acordo com Li *et al.*(1997), conforme ilustra na figura 4.3.

Figura 4. 3. Seleção da banana



4.1.3. *Pesagem I*

Foram pesadas 49 bananas com cascas para todo experimento, equivalente a 10 kg em balanças semi-analítica calibradas da marca Welmy, BCW 30, conforme figura 4.4..

Figura 4. 4. Pesagem das bananas com cascas



4.1.4. *Sanitização*

As pencas de bananas foram lavadas em água corrente e em seguida destacada imersas em água clorada a 150 ppm durante 15 minutos, (figura 4.5), em seguida retirou-se o excesso de cloro com água corrente e secas ao natural.

Figura 4. 5. Sanitização das bananas



4.1.5. Descascamento

As amostras foram descascadas e cortadas manualmente em rodela com espessuras diferentes de 2, 3 e 4 mm, com auxílio de paquímetro e faca de aço inoxidável. A figura 4.6 apresenta as bananas descascadas e cortadas em rodela.

Figura 4. 6. Bananas descascadas e cortadas em rodela



4.1.6. Tratamento

As rodela de bananas foram imersas em metabissulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) a 1% por 10 minutos (figura 4.7), que atuam na inibição da deterioração provocada por bactérias, bolores e leveduras em alimentos ácidos, e na inibição de reações de escurecimento enzimático durante processamento e estocagem.

Figura 4. 7. Tratamento com metabissulfito de sódio



4.1.7. Pesagem II

As amostras após o tratamento foram dispostas em uma bandeja de aço inoxidável perfurada com 20 cm de comprimento e 15 cm de largura e com quantidade de rodela iguais 4x5 (quatro colunas x cinco linhas), e pesadas em uma balança analítica modelo SHIMADZU AY220, com máximo 500g e mínimo 0,0001g. (figura 4.8), seguindo o planejamento de experimento descrito no Quadro 4.1.

Figura 4. 8. Pesagem da banana na bandeja para secagem



4.1.8. Secagem

As bandejas com as rodela de banana foram colocadas em estufa com circulação e Renovação de Ar SL 102, para secagem das rodela de banana com espessuras 2, 3 e 4 mm para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, conforme ilustrado na figura 4.9.

Figura 4. 9. Bandejas centralizadas na estufa de circulação para secagem



4.1.9. Obtenção da farinha

As amostras secas foram trituradas em moinhos de facas para obter a farinha de banana verde. As figuras 4.10 (a) e 4.10 (b) ilustra as rodela de bananas desidratadas e a farinha da banana das rodela desidratadas, respectivamente.

Figura 4. 10. Figura (a) rodela de bananas desidratadas e figura (b) farinha da banana das rodela desidratadas



4.1.10. Armazenamento

A farinha foi armazenada em sacos plásticos com fechamento prático (figura 4.11) e identificadas em temperatura ambiente em seguida foram analisados os parâmetros química e físicos – químicos em 3 repetições durante um período de 24 horas, 15 dias e 30 dias.

Figura 4. 11. Armazenamento da farinha



A farinha nos tempos (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7) foram analisados quanto a: Acidez Total Titulável (% ácido málico); Umidade; Vitamina C (mg/100g); pH; Proteína (%). Permitindo assim estudar o comportamento desses parâmetros

durante o armazenamento em embalagens do tipo PEBD, bem como fazer a comparação entre as diferentes temperaturas de secagem.

4.2. Cinética de Secagem

Antes do início da secagem determinou o teor de água inicial da banana verde, de acordo com Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C,1997), que constitui em se submeter amostras de banana em estufa, a temperatura de 105°C +/-2°C durante 24 horas para permitir a retirada total da água. A equação utilizada para determinação do teor de água inicial foi:

$$X_{BU} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \quad \text{Eq.} \quad (6)$$

Em que:

P_i: peso inicial, em gramas

P_f: peso final, em gramas

Determinado o teor de água inicial, foi utilizada a equação 7, para acompanhar o teor de água do produto no processo de secagem, através da variação de peso como parâmetro de determinação:

$$X_{bu} = \frac{H_2O_{inicial} - \Delta P}{(H_2O_{inicial} - \Delta P) + MS} \quad (7)$$

Em que,

X_{bu}: teor de água em base úmida

ΔP: variação de peso (usa-se, como referência, o peso inicial)

MS: matéria seca

H₂O inicial: água inicial

A determinação do teor de água em base seca foi determinada mediante Equação (8).

$$X_{bs} = \frac{X_{bu}}{1-X_{bu}} \quad (8)$$

Onde,

X_{bs} : teor de água em base seca

X_{bu} : teor de água em base úmida

Conhecendo-se o teor de água inicial da banana verde, a secagem foi acompanhada da perda de peso com relação ao tempo, utilizando-se uma balança analítica modelo SHIMADZU AY220, com máximo 500g e mínimo 0,0001g.

Aos dados experimentais de secagem das rodela de banana em estufa de circulação e Renovação de Ar SL 102, foram testadas equações, que representam o fenômeno de secagem.

4.3. Características químicas e físico-químicas

As análises físico-químicas realizadas na banana verde *in natura* e processadas foram realizados de acordo com os procedimentos específicos e adaptados como descritos na literatura, sendo realizadas em triplicata. As determinações realizadas foram:

4.3.1. Acidez total titulável

A Acidez Total Titulável (% ácido málico) foi determinada pelo método titulável utilizando-se uma solução tampão padronizada de NaOH 0,1N. Os resultados foram expressos em percentagem de ácido málico, segundo o INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

4.3.2. Umidade

Estabeleceu a umidade da banana “in natura” e após a secagem, de acordo com os métodos descritos pelas normas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

4.3.3. Vitamina C

Foi determinado o ácido ascórbico através do método do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

4.3.4. pH

O pH foi analisado pelo método potenciométrico, pHmetro de bancada (TECNOPON mPA 210) calibrando-se o potenciômetro através das soluções tampão (pH 4,0 e 7,0) a 20°C.

4.3.5. Proteína bruta (PB)

A proteína bruta foi obtida pela determinação da porcentagem de nitrogênio total da amostra segundo o método de Kjeldahl (A.O.A.C, 1995) e multiplicação pelo fator 6,25.

4.3.6. Atividade de água (AW)

A determinação da atividade de água (AW) de cada amostra do armazenamento de 30 dias foi feita, utilizando o medidor de atividade de água, modelo AW Sprint TH 500, na UFCG, Campus Campina Grande departamento de Engenharia Agrícola.

4.4. Planejamento experimental para a secagem

O processo de secagem convectiva das frutas foi estudado mediante planejamento experimental fatorial completo 2^2 com 3 pontos centrais, sendo duas variáveis independentes (temperatura e espessura), avaliadas em dois níveis (-1 e +1), totalizando 7 experimentos. As variáveis dependentes do planejamento foram: teor de água (TA) e proteínas (P).

Foi utilizado um planejamento experimental 2^2 completo com 3 pontos centrais totalizando sete ensaios, para analisar as respostas (Proteína, Vitamina C, Umidade, pH, Acidez Total Titulável e AW) em função das respostas (T e E).

No quadro 4.1 está representada a matriz do planejamento completo para a secagem convectiva da banana.

Quadro 4. 1 Matriz do Planejamento completo 2^2 com 3 pontos centrais para secagem convectiva da banana prata verde.

Ensaio	Temperatura (codificada)	Espessura (codificado)	Temperatura (real)	Espessura (real)
1	-1	-1	50	2
2	+1	-1	70	2
3	-1	+1	50	4
4	+1	+1	70	4
5	0	0	60	3
6	0	0	60	3
7	0	0	60	3

Os parâmetros dos modelos propostos foram obtidos por análises de regressão não linear, utilizando-se o programa computacional STATISTICA, versão 5.0.

Através do presente estudo foi possível obter modelos estatísticos capazes de predizerem o comportamento das variáveis dependentes (respostas) em função das variáveis independentes, proteína, vitamina C, umidade, pH, acidez total titulável.

Surgirá uma função matemática “y” para cada resposta $\xi(TA, P)$ em função das duas variáveis independentes (temperatura e espessura) (KHURI; CORNELL,1996):

Onde TA é o teor de água e P é proteína

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon \quad (9)$$

Onde β corresponde ao coeficiente da equação e os sub-índices 0 e i, correspondem ao valor médio da função y, temperatura, espessura, interação entre temperatura e espessura. A Equação (9) corresponde ao modelo codificado das variáveis dependentes que foram avaliadas neste estudo.

A fim de se obter o valor real correspondente à faixa estudada das variáveis independentes, a seguinte equação será usada:

$$VC = (VC - PCT) / \Delta VR_{PCT} \quad (10)$$

Em que VC, VR, PCT e ΔVR_{PCT} correspondem ao valor codificado, valor real, ponto central e variação entre valor real e ponto central, respectivamente.

A fim de validar o modelo codificado (9) foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) para cada resposta, por meio do programa computacional STATISTICA (5.0).

Para a banana verde o objetivo do estudo foi obter uma maximização do conteúdo de proteínas, juntamente com uma minimização do teor de água do produto. Para tal, foi realizada uma análise conjunta entre as superfícies de resposta obtidas para a razão de proteínas (P) e teor de água (TA), a fim de se encontrar a região que melhor atendesse aos objetivos do presente estudo.

4.5. Análise estatística

Para análise dos dados de proteína, vitamina C, Umidade, pH, Acidez Total Titulável e Atividade de água (aw) foi utilizado um delineamento experimental empregado para a caracterização físico-química da banana em cada fase do processamento foi o inteiramente casualizado (Quadro 4.2) com 8 tratamentos e com três repetições.

Quadro 4. 2 Análise dos dados para a caracterização química e físico-química da banana verde in natura e processada.

Tratamentos	Fase do processo	Experimento
T1	<i>In natura</i>	-
T2	Ensaio 7	60°C, 3mm
T3	Farinha armazenada 24hs do T2	-
T4	Ensaio 4	70°C, 4mm
T5	Farinha armazenada 24hs do T4	-
T6	Ensaio 1	50°C, 2mm
T7	Farinha armazenada 24hs do T6	-
T8	Ensaio 5	60°C, 3mm
T9	Farinha armazenada 24hs do T8	-
T10	Ensaio 3	50°C, 4mm
T11	Farinha armazenada 24hs do T10	-
T12	Ensaio 2	70°C, 2mm
T13	Farinha armazenada durante 24hs do T12	-
T14	Ensaio 6	60°C, 3mm
T15	Farinha armazenada durante 24hs do T14	-
T16	Farinha armazenada durante 15 dias	-
T17	Farinha armazenada durante 30 dias	-

Para análise dos dados foi aplicado ANOVA, utilizado para isso o programa computacional STATISTICA versão 5.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Determinação química e físico-química da matéria- prima

A determinação química e físico-química da banana verde in natura foi realizada de acordo com os métodos do INSTITUTO ADOLFO LUTZ, (1985). A Tabela 5.1 ilustra os resultados médios obtidos das características físicos - química (proteína, acidez total titulável, pH, vitamina C e umidade) da banana verde in natura.

Tabela 5. 1 Determinação físico-química da banana verde in natura

Determinação	Valor médio \pm desvio padrão
Proteína (% g.100g ⁻¹)	2,69 \pm 0,07
Acidez Titulável (% g.100g ⁻¹)	0,41 \pm 0,03
pH	5,32 \pm 0,18
Vitamina C (% mg.100 ⁻¹)	16,91 \pm 0,75
Umidade (%)	60,75 \pm 1,11

Cada valor foi obtido por meio da média e do respectivo desvio padrão de três repetições.

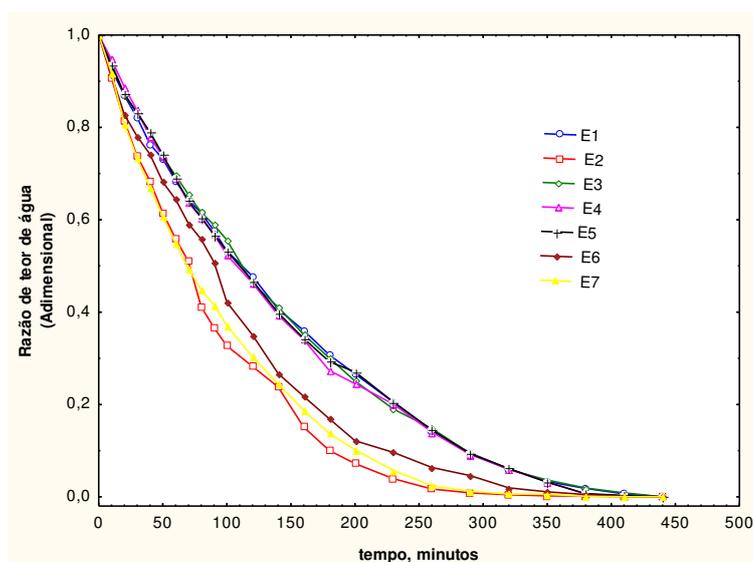
Dentre os parâmetros físico-químicos mais utilizados para avaliação da qualidade pós-colheita da fruta in natura representado na Figura 5.1 estão Proteína, acidez titulável, pH, Vintamina C e Umidade. Assim foi observado que os resultados pouco diferiram daqueles encontrados por Franco (1992), que determinou a composição nutricional da banana verde ele obteve os valores de proteína 1,4 g um valor a baixo do valor encontrado para esse trabalho que foi de 2,69g e Vitamina C obteve 16,9 mg ao estudarem as características da banana Prata durante armazenamento. Comparando com Santos J.C et al. (2010) que estudou Prata (Musa paradisíaca) em estágio de maturação II (casca: verde com traços de amarelo) ele encontrou umidade 70,14%, Acidez Total Titulável 0,48%, pH 4,88 e Proteína 1,87% comparando com os resultados obtidos para a Acidez Total Titulável pouco diferiram.

5.2. Curvas cinéticas e aplicação dos modelos matemáticos

Nas análises dos dados de secagem, a razão de umidade é essencial para descrever diferentes modelos de secagem. A cada período de secagem, um teor de água é correlacionado com o teor de água inicial e o teor de água de equilíbrio, para condições específicas de secagem. Desta forma, em todas as condições de secagem testadas, os diferentes modelos matemáticos utilizados para descrever a cinética de secagem foram ajustados aos valores da razão de umidade em função do tempo de secagem.

Apresenta-se, na Figura 5.1, as curvas de secagem para os experimentos realizados da matriz experimental 2^2 com 3 pontos centrais.

Figura 5. 1 Curva da razão de teor de água (RU) em função do tempo para as secagens da matriz experimental. E1= 50°C e 2mm ; E2 =70°C e 2mm ; E3 = 50°C e 4mm; E4 = 70°C e 4mm; E5 = 60°C e 3mm; E6= 60°C e 3mm; E7 = 60°C e 3mm



Analisando as curvas de razão de teor de água, demonstrada na Figura 5.1, verifica-se que o aumento da temperatura favorece o processo de transferência de energia na forma calor para as amostras, conseqüentemente diminuindo o tempo necessário para a fruta atingir o equilíbrio, o mesmo comportamento foi observado por Doymaz (2005), Kaleemullah e Kailappan (2006), e Wang et al. (2007) e Santos et al (2010).

Além disso, o processo de secagem ocorre na ausência do período da taxa constante de secagem, o que sugere o processo de difusão de umidade, do interior

do produto para a superfície do mesmo, como o mecanismo físico predominante ao longo do processo. Concordantes com essa observação encontram-se os estudos realizados por Silva et al. (2009) , para a secagem de banana maçã.

Conforme os resultados (Figura 5.1) verifica-se que o incremento na espessura apresenta efeito contrário na taxa de secagem, quando comparado com o aumento da temperatura, ou seja, a taxa de secagem diminui com o aumento da espessura, efeito corroborando com os resultados de Silva et al (2009), que estudou a secagem da banana maçã em um secador de leito fixo.

Nas Tabelas 5.2 a 5.5, encontram-se os coeficientes das equações dos modelos da aproximação da difusão, dois termos, Page e, Midilli e Kucuk respectivamente, para os ensaios 1 a 7 do planejamento de experimento referenciados na metodologia, obtidos por regressão não linear, estimados pelo Método de Quase – Newton, utilizando o programa STATISTICA 5.0. Nessas mesmas tabelas citadas são apresentados os valores dos coeficientes de determinação (R^2 , em %) e os desvios quadráticos médios (DQM, em decimal) para os quatro modelos analisados (modelos da aproximação da difusão, de dois termos, de Page e de Midilli e Kucuk) para as secagens de banana de acordo com o planejamento adotado.

Conforme pode ser observado nas Tabelas 5.2 a 5.5, verifica-se que os modelos da aproximação da difusão, de Page e Midilli e Kucuk, apresentam ajustes com elevados coeficiente de determinação (R^2) superiores a 99% e baixos valores de desvios de quadráticos médios (DQM, em decimal) inferiores a 0,0043. Semelhantemente, Santos et al. (2010), ao estudar a influência de diferentes pré-tratamentos na cinética de secagem de banana da variedade Terra, o modelo de Midilli e Kucuk foi o que melhor se ajustou aos dados observados. Menges e Ertekin (2006) ao analisarem a cinética de secagem de maçãs douradas verificam que o modelo de Midilli e Kucuk ajustou-se com elevados valores de coeficiente de determinação. Com os modelos aplicados de Aproximação da difusão, Corrêa et al., (2010) e o de Midilli et al. (2002), Sousa et al. (2011), obtiveram os maiores valores de R^2 e menores valores de DQM, ao ajustarem estes modelos à curva de secagem de polpa de Oiti nas temperaturas de 50, 60 e 70°C em estufa com circulação forçada de ar. Por outro lado, Silva et al. (2009) ao estudar a secagem em camada fina da maçã em secador de leito fixo, os modelos que melhor representaram o processo de secagem foi o de Henderson e Pabis e o Exponencial

com dois termos. Já Borges et al. (2010) ao estudar a secagem de banana prata d'água por convecção em um mini secador de bandeja, verificou que o modelo que melhor representou foi o exponencial. No estudo de Alexandre et al. (2013) a cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido em leite e estático o que melhor se ajustou foi aos dados experimentais dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Lewis.

Tabela 5. 2. Parâmetros do modelo da aproximação da difusão obtidos através dos dados experimentais.

Equação da aproximação da difusão								
$RU = a \cdot \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$								
Ensaio	T(°C)	Espessura (mm)	a	b	$\frac{k}{(\text{min}^{-1})}$	R	R ²	DQM
1	50	2	0,9817	0,5189	0,0026	0,9991	0,9982	0,0023
2	70	2	0,9781	0,6491	0,0308	0,9989	0,9979	0,0024
3	50	4	0,9813	0,5423	0,0254	0,9993	0,9987	0,0021
4	70	4	0,9836	0,6033	0,0223	0,9990	0,9981	0,0023
5	60	3	0,9829	0,5672	0,0236	0,9981	0,9963	0,0032
6	60	3	0,9725	0,5072	0,0371	0,9983	0,9967	0,0029
7	60	3	0,9880	0,6106	0,0296	0,9993	0,9986	0,0019

Tabela 5. 3. Parâmetros do modelo de dois termos obtidos através dos dados experimentais.

Equação do modelo de dois termos									
$RU = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$									
Ensaio	T(°C)	Espessura (mm)	A	b	$k_0 (\text{min}^{-1})$	$k_1 (\text{min}^{-1})$	R	R ²	DQM
1	50	2	0,5107	0,5107	0,0069	0,0069	0,9952	0,9905	0,0054
2	70	2	0,5154	0,5154	0,0113	0,0112	0,9970	0,9940	0,0044
3	50	4	0,5176	0,5176	0,0070	0,0070	0,9952	0,9904	0,0056
4	70	4	0,5189	0,5208	0,0073	0,0073	0,9961	0,9922	0,0048
5	60	3	0,5171	0,5171	0,0066	0,0066	0,9933	0,9866	0,0056
6	60	3	0,5175	0,5176	0,0091	0,0091	0,9949	0,9899	0,0061
7	60	3	0,5076	0,5076	0,0105	0,0105	0,9982	0,9964	0,0033

Tabela 5. 4. Parâmetros da equação de Page obtidos através dos dados experimentais

Equação de Page							
RU= exp(-kt ⁿ)							
Ensaio	T(°C)	Espessura (mm)	k(min ⁻¹)	n	R	R ²	DQM
1	50	2	0,0036	1,1295	0,9972	0,9945	0,0043
2	70	2	0,0056	1,1446	0,9986	0,9973	0,0029
3	50	4	0,0029	1,1703	0,9981	0,9963	0,0035
4	70	4	0,0031	1,1631	0,9985	0,9971	0,0029
5	60	3	0,0033	1,1493	0,9979	0,9958	0,0035
6	60	3	0,0036	1,1901	0,9980	0,9960	0,0031
7	60	3	0,0072	1,0798	0,9988	0,9976	0,0026

Tabela 5. 5. Parâmetros da equação de Midilli e Kucuk obtidos através dos dados experimentais

Equação de Midilli e Kucuk									
RU= a.exp(-kt ⁿ) + b.t									
Ensaio	T(°C)	Espessura (mm)	a	b	k (min ⁻¹)	n	R	R ²	DQM
1	50	2	0,9989	-0,0002	0,0048	1,0371	0,9995	0,9989	0,0017
2	70	2	0,9831	-0,00003	0,0051	1,1567	0,9989	0,9978	0,0026
3	50	4	0,9842	-0,0001	0,0035	1,1072	0,9995	0,9991	0,0016
4	70	4	0,9971	-0,0001	0,0044	1,0736	0,9997	0,9995	0,0012
5	60	3	0,9989	-0,0002	0,0048	1,0371	0,9995	0,9989	0,0017
6	60	3	0,9831	-0,00003	0,0051	1,1567	0,9989	0,9978	0,0026
7	60	3	0,9842	-0,0001	0,0035	1,1072	0,9995	0,9991	0,0016

5.3. Curvas cinéticas e aplicação de modelos matemáticos

São apresentados nas Figuras 5.2; 5.3; 5.4; 5.5; 5.6; 5.7 e 5.8 as curvas de secagem, a 50, 60 e 70°C, de banana verde desidratadas em estufa de ar de circulação de acordo com o planejamento de experimental adotado.

Comparando os coeficientes de determinação (R^2) das tabelas 5.2 a 5.5 observa-se que os Modelos matemáticos de Aproximação da difusão e Midilli se ajustam melhor aos dados experimentais, pois seus valores variam de entre 99,6% a 99,8% e 99,7% a 99,9% respectivamente, enquanto que, para o Modelo matemático proposto por Dois Termos e Page para expressar a curva de desidratação da fruta variou entre 98,6% a 99,6% e 99,4% a 99,7% respectivamente.

Aos resultados dos ensaios do planejamento do experimento foram aplicados os modelos Midilli e Aproximação da difusão, respectivamente devido o seu melhor coeficiente de determinação, representado nas figuras 5.2 a 5.8.

Figura 5. 2. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 2mm a 50°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão

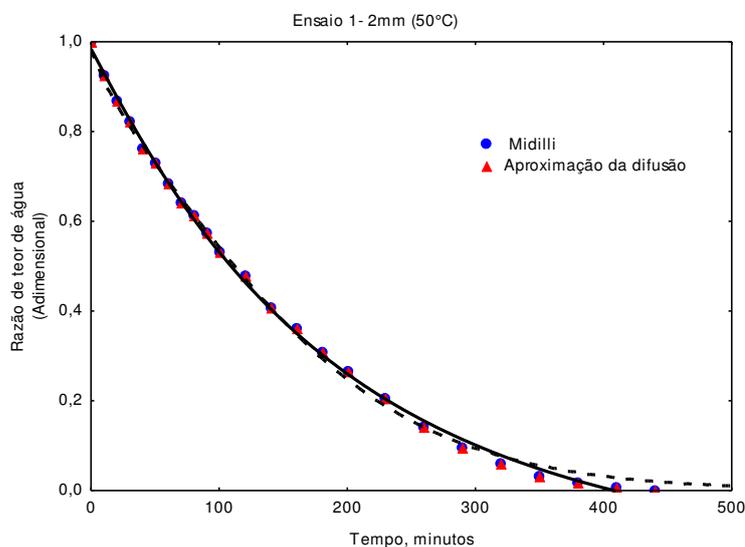


Figura 5. 3. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 2mm a 70°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão

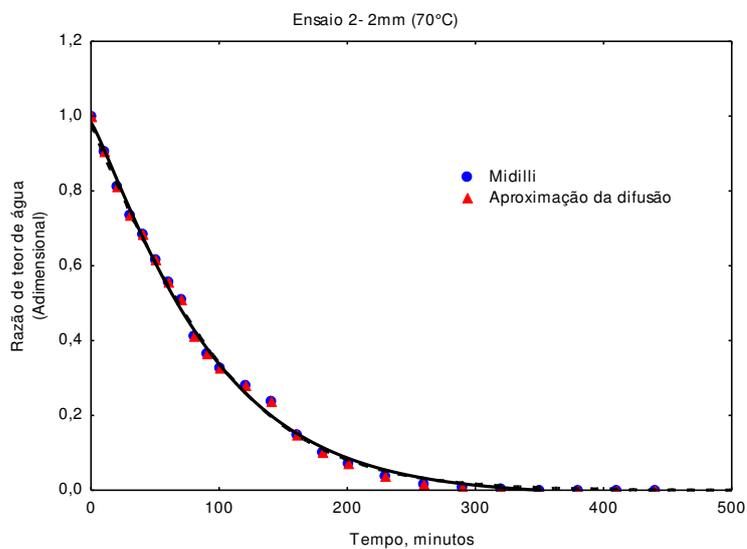


Figura 5. 4. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 4 mm a 50°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão

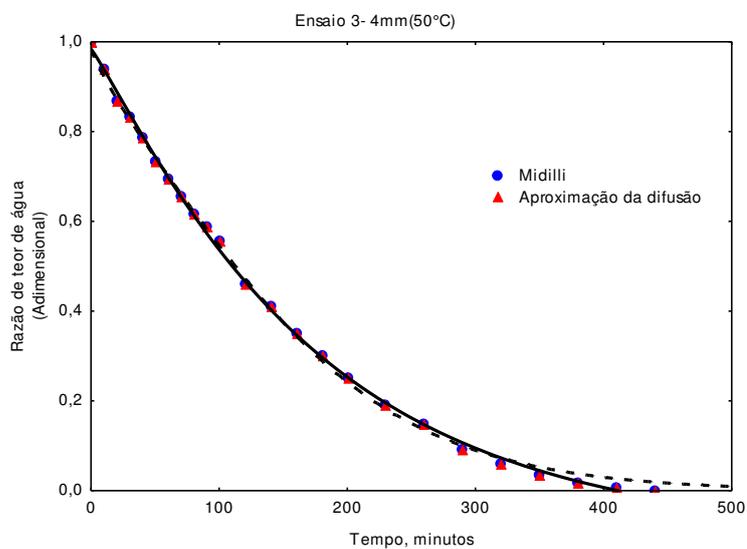


Figura 5. 5. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 4 mm a 70°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão

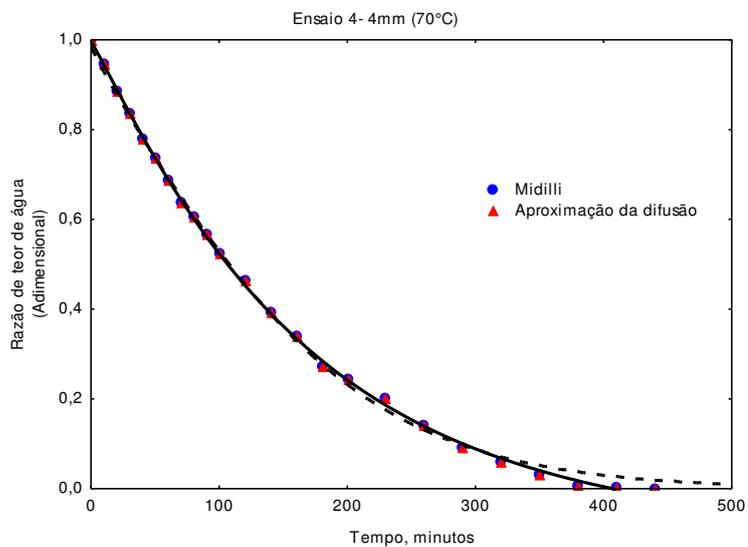


Figura 5. 6. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 3 mm a 60°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão

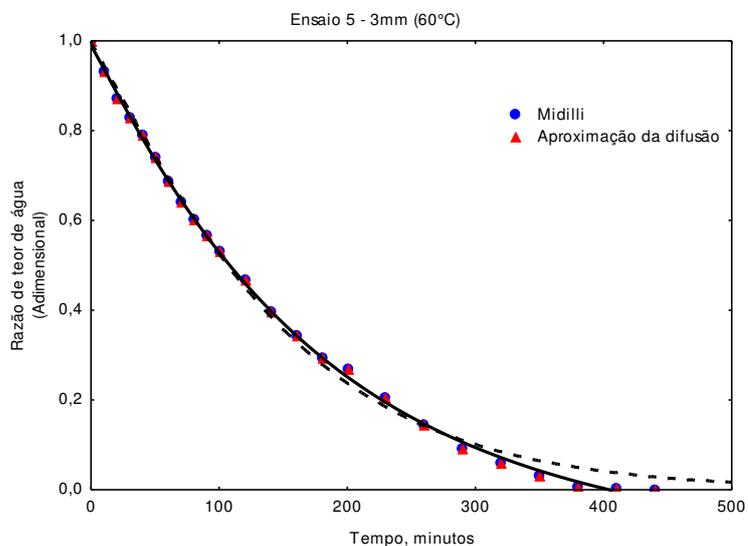


Figura 5. 7. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 3 mm a 60°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão

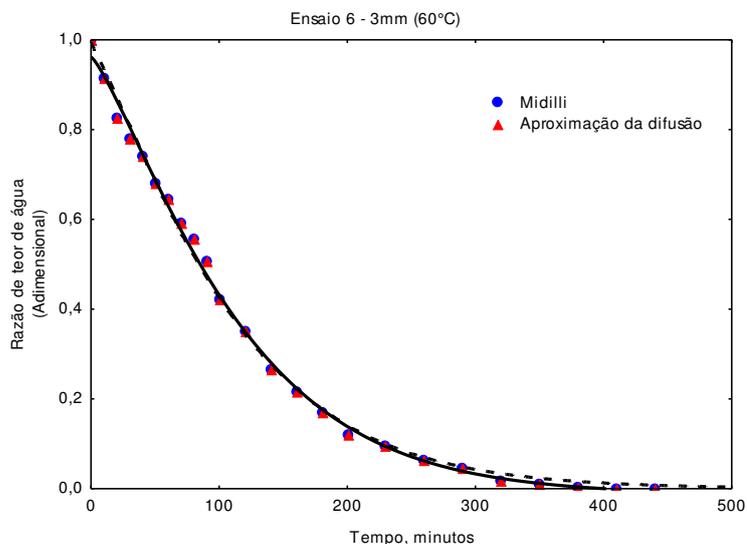
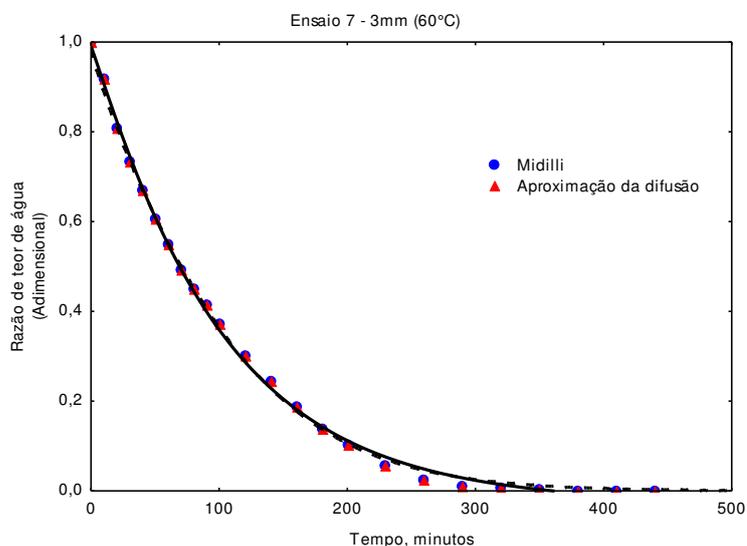


Figura 5. 8. Curvas de secagem de rodela de banana – verde de 3mm a 60°C e Aplicação do modelo de Midilli e Aproximação da difusão.



Pôde-se observar a influência da temperatura sobre as curvas de secagem da banana verde (Figura 5.2 a 5.8). O aumento da temperatura do ar de secagem faz com que ocorra uma maior taxa de remoção de água na camada da banana verde.

Conforme os resultados (Figura 5.3) foi verificado que o incremento na espessura apresentou efeito contrário na taxa de secagem, quando comparado com o aumento da temperatura, ou seja, a taxa de secagem diminui com o aumento da

espessura, e para as amostras fatiadas com 2mm de espessura, a velocidade da secagem é bem mais rápida, comportamento semelhante ao de Silva et al. (2009).

5.4. Análise estatística das variáveis de resposta

Nas Tabelas 5.6, 5.7 e 5.8 estão apresentadas as médias dos resultados do planejamento experimental obtidas das análises de proteínas, acidez titulável, pH, vitamina C e umidade da farinha de banana verde processada, análises realizadas após 24 horas, 15 dias e 30 dias de armazenamento, respectivamente. Cada valor foi obtido por meio da média \pm desvio padrão de três repetições.

Nas tabelas 5.6, 5.7 e 5.8 para os experimentos 4, 5 e 6 representando as análises de proteína, acidez titulável, pH, Vitamina C e Umidade observamos que os valores foram bem diferentes, sabendo que os experimentos 4, 5 e 6 são pontos centrais de repetições onde esses valores devem estarem idênticos.

Tabela 5. 6. Determinação físico - química da banana verde processada, análise após 24 horas de armazenamento

Experimentos	Proteína média \pm desvio padrão	Acidez titulável média \pm desvio padrão	pH média \pm desvio padrão	Vitamina C média \pm desvio padrão	Umidade média \pm desvio padrão
1	2,96 \pm 0,37	0,63 \pm 0,13	6,07 \pm 0,03	14,84 \pm 0,53	6,29 \pm 0,13
2	1,52 \pm 0,22	0,65 \pm 0,06	5,94 \pm 0,49	13,91 \pm 0,35	2,13 \pm 0,83
3	3,58 \pm 0,14	0,75 \pm 0,03	5,25 \pm 0,17	11,01 \pm 0,49	5,73 \pm 0,17
4	2,68 \pm 0,12	0,89 \pm 0,08	5,59 \pm 0,11	17,35 \pm 0,79	2,87 \pm 0,54
5	2,16 \pm 0,07	0,69 \pm 0,02	5,51 \pm 0,16	13,67 \pm 0,45	6,03 \pm 0,20
6	2,21 \pm 0,10	0,62 \pm 0,04	5,57 \pm 0,03	16,86 \pm 0,62	3,57 \pm 0,17
7	1,93 \pm 0,18	0,71 \pm 0,19	5,76 \pm 0,33	17,01 \pm 0,44	4,57 \pm 0,17

Na tabela 5.6 o resultado de pH analisando as médias dos pontos centrais 5,51, 5,57 e 5,76 foram bem próximos provavelmente terá um melhor resultado para análises estatística ANOVA.

Tabela 5. 7. Determinação físico - química da banana verde processada, análise após 15 dias de armazenamento

Experimentos	Proteína média ± desvio padrão	Acidez titulável média ± desvio padrão	pH média ± desvio padrão	Vitamina C média ± desvio padrão	Umidade média ± desvio padrão
1	2,18 ± 0,46	0,46 ± 0,14	6,12 ± 0,34	14,19 ± 0,67	6,77 ± 0,19
2	1,76 ± 0,38	0,67 ± 0,08	5,35 ± 0,17	13,67 ± 0,78	2,67 ± 0,09
3	2,94 ± 0,24	0,71 ± 0,03	5,51 ± 0,07	13,63 ± 0,17	5,23 ± 0,40
4	1,81 ± 0,21	0,61 ± 0,06	5,37 ± 0,26	16,81 ± 0,38	4,27 ± 0,21
5	2,69 ± 0,31	0,71 ± 0,04	5,74 ± 0,28	13,66 ± 0,41	2,73 ± 0,12
6	1,45 ± 0,21	0,65 ± 0,05	5,75 ± 0,24	16,49 ± 0,42	3,97 ± 0,25
7	1,82 ± 0,29	0,64 ± 0,08	5,78 ± 0,05	16,28 ± 0,58	5,87 ± 0,25

Na tabela 5.7 o resultado de acidez titulável e pH analisando as médias dos pontos centrais, foram bem próximos provavelmente terá um melhor resultado para análises estatística ANOVA.

Tabela 5. 8. Determinação físico - química da banana verde processada, análise após trinta dias de armazenamento

Experimentos	Proteína média ± desvio padrão	Acidez titulável média ± desvio padrão	pH média ± desvio padrão	Vitamina C média ± desvio padrão	Umidade média ± desvio padrão
1	2,16 ± 0,33	0,49 ± 0,03	5,64 ± 0,02	14,12 ± 0,69	7,33 ± 0,40
2	1,70 ± 0,32	0,59 ± 0,09	5,77 ± 0,20	15,69 ± 0,67	3,00 ± 0,22
3	3,58 ± 0,23	0,62 ± 0,03	5,06 ± 0,02	17,05 ± 0,05	5,43 ± 0,12
4	2,27 ± 0,19	0,85 ± 0,05	5,26 ± 0,05	13,68 ± 0,35	5,20 ± 0,14
5	2,56 ± 0,39	0,60 ± 0,03	5,16 ± 0,01	14,72 ± 0,84	5,97 ± 0,17
6	2,13 ± 0,33	0,60 ± 0,05	5,58 ± 0,05	13,94 ± 0,76	4,00 ± 0,16
7	2,01 ± 0,19	0,71 ± 0,03	5,82 ± 0,16	13,75 ± 0,39	7,77 ± 0,12

Na tabela 5.8 o resultado de proteína e pH analisando as médias dos pontos centrais 2,56, 2,13, 2,01 e 5,16, 5,58 e 5,82 respectivamente foram bem próximos provavelmente terá um melhor resultado para análises estatística ANOVA.

As análises dos resultados obtidos para proteína, acidez titulável, pH, vitamina C e umidade da farinha de banana verde, foram realizada através de métodos estatísticos de acordo com o planejamento fatorial simples 2² com três

pontos centrais cuja matriz estatística foi apresentada na metodologia. Só foi realizada a análise de efeitos para a resposta e análise de regressão para obtenção de modelos codificados. Em seguida a ANOVA para os modelos modelo estatisticamente significativos e preditos.

Tabela 5. 9. Análise de variância (ANOVA) do modelo completo da tabela de regressão ($p \leq 0,05$) para as análises de proteínas, vitamina C, umidade, acidez total titulável e pH, após 24 horas de armazenamento.

Variável de resposta	Coefficiente de determinação (R^2)	Teste $F_{\text{calculado}}$ (F_c)	Teste F_{tabelado} (F_t)
Proteína	0,7797	9,70	6,940
Vitamina C	0,6446	3,628	6,940
Umidade	0,7877	7,240	6,940
Acidez Total Titulável	0,8939	16,851	6,940
pH	0,8891	16,040	6,940

A Tabela 5.9 apresenta-se a análise de variância (ANOVA) para proteína, acidez total titulável, pH, vitamina C e umidade, após 24 horas de armazenamento

Conforme verificado na tabela 5.9, para o modelo empírico cuja variáveis respostas foram Proteína, Umidade, Acidez Total Titulável e pH, o F_c foi maior que o F_t , apresentando dessa forma um modelo estatisticamente significativo, ao nível de 95% de confiança, enquanto que para as variáveis cuja resposta foi Vitamina C, o modelo não foi estatisticamente significativo, ao nível de 95% de confiança.

Segundo Barros Neto, Scarminio e Bruns (2003), reportam que o valor de $F_{\text{calculado}}$ deve ser no mínimo 4 a 5 vezes o valor de F_{tabelado} para assegurar que a regressão é significativa estatisticamente e o modelo útil para fins preditivos. Para todas as variáveis o modelo é considerado não válido para fins preditivos, para todas as variáveis de respostas analisadas.

Os valores dos coeficientes de determinação da regressão para as variáveis proteínas, vitamina C, umidade, acidez total titulável e pH foram: (R^2) = 0,7797, (R^2) = 0,6446; (R^2) = 0,7877; (R^2) = 0,8939 e (R^2) = 0,8891, respectivamente. Desta forma pode-se afirmar que são modelos válidos, indicando que ele explica 77,97%; 64,46%; 78,77%; 89,39 % e 88,91% e da variação dos dados observados. Conforme

Barros Neto, Scarminio e Bruns (2003); Khuri e Cornell (1996), o coeficiente de determinação (R^2) mede a proporção da variação total da resposta que é explicada pelo modelo. Desse modo, quanto maior o R^2 , isto é, quanto mais próximo de 1, menor será o erro e melhor o modelo. Segundo estes autores, modelos com $R^2 < 0,60$ devem ser usados somente como indicadores de tendência, nunca para fins preditivos.

Tabela 5. 10. Análise de variância (ANOVA) do modelo completo da tabela de regressão ($p \leq 0,05$) para as análises de proteínas, vitamina C, umidade, acidez total titulável e pH, após 15 dias de armazenamento.

Variável de resposta	Coeficiente de determinação (R^2)	Teste $F_{\text{calculado}}$ (F_c)	Teste F_{tabelado} (F_t)
Proteína	0,7797	2,050	6,940
Vitamina C	0,5185	2,15	6,940
Umidade	0,7877	3,220	6,940
Acidez Total Titulável	0,8202	9,14	6,940
pH	0,8874	15,75	6,940

A ANOVA (Tabela 5.10) mostra uma regressão não significativa ($p \leq 0,05$) para as respostas de análises de proteína, vitamina C e umidade, após 15 dias de armazenamento, pois o $F_{\text{calculado}} = 2,05$ (proteína), $F_{\text{calculado}} = 2,15$ (vitamina C), $F_{\text{calculado}} = 3,22$ (umidade) foram menores que o $F_{\text{tabelado}} = 6,94$, anunciando uma equação não válida, não significativa estatisticamente e não útil para fins preditivos. No entanto, as respostas de acidez total titulável e pH, para os valores de $F_{\text{calculado}}$ da (acidez total titulável) e $F_{\text{calculado}}$ do (pH) foram maiores que o F_{tabelado} , apresentando dessa forma um modelo estatisticamente significativo, ao nível de 95% de confiança. Desse modo, para a resposta de acidez total titulável e pH como as médias nos pontos centrais foram muito próximas e o erro puro muito baixo, o modelo para a resposta de pH foi considerado válido para fins preditivos (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2003).

Em relação aos resultados das variáveis proteína, vitamina C, umidade, acidez total titulável e pH. Os resultados da ANOVA (Tabela 5.10) apenas para as variável acidez total titulável e pH, o resultado foram significativos. Assim, o valor do

coeficiente de determinação da regressão para a variável acidez total titulável (R^2) = 0,8202 e para o pH (R^2) = 0,8873. Desta forma pode-se afirmar que é modelo válido, indicando que ele explica 82,02% e 88,73% da variação dos dados observados. Conforme afirma Barros Neto, Scarminio e Bruns (2003); Khuri e Cornell (1996) podem considerar esses dados preditivos, pois $R^2 > 0,60$.

Aplicou-se o teste F aos coeficientes de regressão significativos a ($p \leq 0,05$), considerando-se o modelo matemático para representar as seguintes variáveis de respostas:

Baseado no resultado do planejamento experimental foi proposto modelo que relaciona o pH em função das variáveis temperatura (T) e espessura (E), representado pela Equação 11.

$$pH = 5,66 - 0,227T - 0,147E + 0,1575TE \quad (11)$$

Tabela 5. 11. Análise de variância (ANOVA) do modelo completo da tabela de regressão ($p \leq 0,05$) para as análises de proteínas, vitamina C, umidade, acidez total titulável e pH, após 30 dias de armazenamento.

Variável de resposta	Coefficiente de determinação (R^2)	Teste $F_{\text{calculado}}$ (F_c)	Teste F_{tabelado} (F_t)
Proteína	0,8939	16,850	6,940
Vitamina C	0,761	6,37	6,940
Umidade	0,5443	2,39	6,940
Acidez Total Titulável	0,8959	17,22	6,940
pH	0,5793	2,75	6,940

Na Tabela 5.11 encontra-se a análise de variância (ANOVA) para as respostas das análises de Proteína, Acidez Total Titulável, Vitamina C, pH, e Umidade, após 30 dias de armazenamento. Conforme verificado na tabela 5.11, para o modelo empírico cuja variáveis respostas foram Proteína, Acidez Total Titulável, o F_c foi maior que o F_t , apresentando dessa forma um modelo estatisticamente significativo, ao nível de 95% de confiança, enquanto que para as variáveis cuja resposta foram Vitamina C, Umidade e pH o modelo não foi

estatisticamente significativo, ao nível de 95% de confiança. Assim, o valor do coeficiente de determinação da regressão para a variável Proteína (R^2) = 0,8939 e para a Acidez Total Titulável (R^2) = 0,8959. Desta forma podemos afirmar que é modelo válido, indicando que ele explica 89,39%% e 89,59% da variação dos dados observados. Conforme afirma Barros Neto, Scarminio e Bruns (2003); Khuri e Cornell (1996), afirma que são preditivos, pois $R^2 > 0,60$.

5.5. Análise físico-química da farinha da banana verde

As Figuras 5.9 a 5.13 estão representadas as análises físico-químicas das variáveis de respostas: Proteína, Acidez Total Titulável, pH, Vitamina C e Umidade, após 24 horas de armazenamento (Figura 5.9), 15 dias de armazenamento (Figura 5.10) e 30 dias de armazenamento (Figura 5.11), de acordo com o planejamento adotado 2^2 para os pontos centrais são apresentados as médias dos valores da matriz experimental.

Figura 5. 9. Dados de Proteínas para a farinha de banana verde, após 24 horas, 15 dias e 30 dias de armazenamento

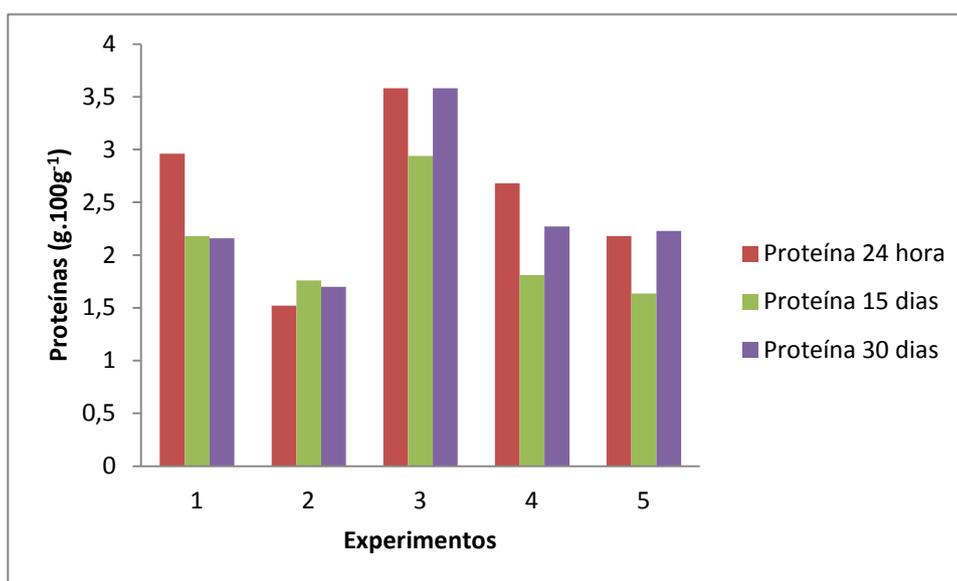


Figura 5. 10. Dados de Acidez Total Titulável para os experimentos da farinha de banana verde, após 24 horas, 15 dias e 30 dias de armazenamento

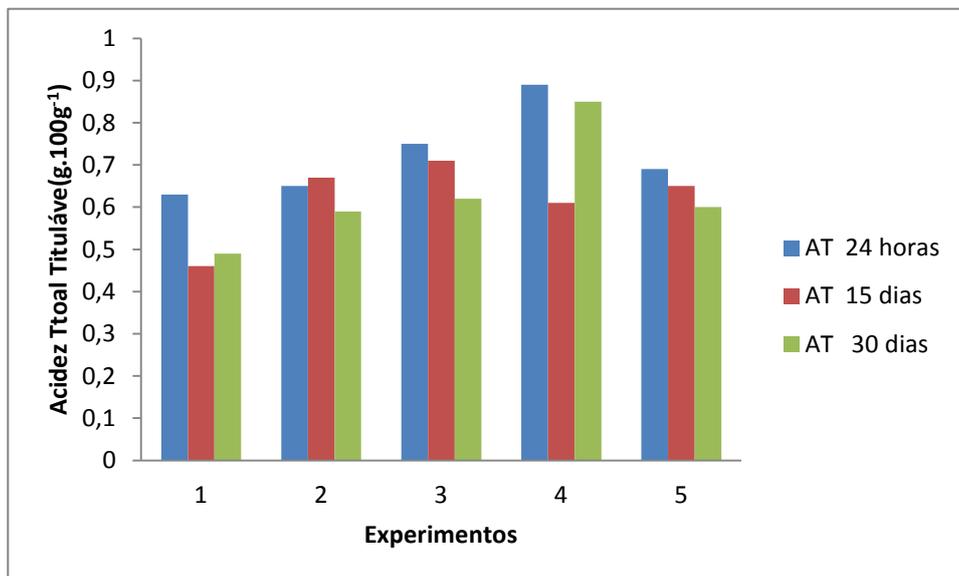


Figura 5. 11. Dados de pH para a farinha de banana verde, após 24 horas, 15 dias e 30 dias de armazenamento

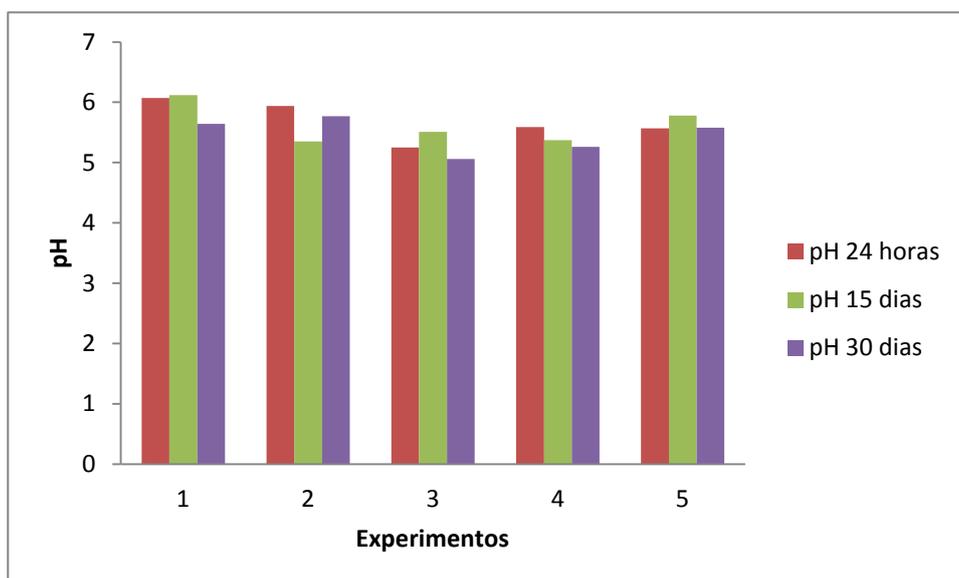


Figura 5. 12. Dados de Vitamina C para a farinha de banana verde, após 24 horas, 15 dias e 30 dias de armazenamento

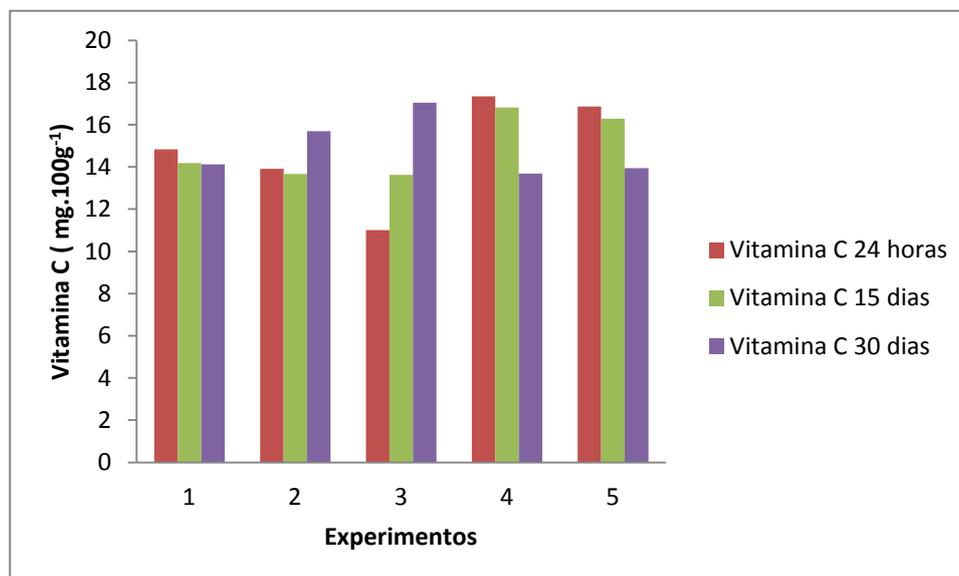
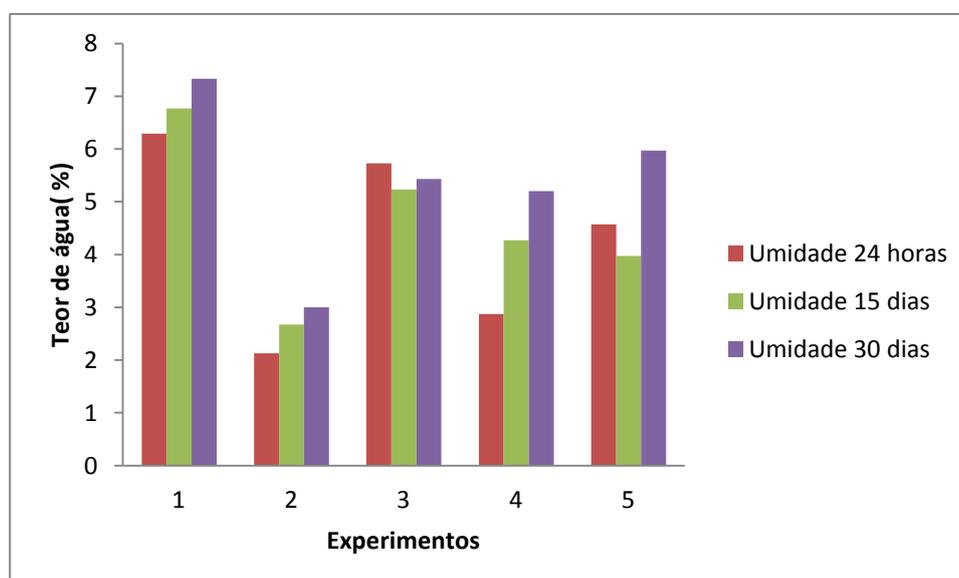


Figura 5. 13. Dados de Umidade para a farinha de banana verde, após 24 horas, 15 dias e 30 dias de armazenamento



Comparando os resultados dos experimentos apresentados pelas Figuras (5.9 a 5.13) com os dados de Borges et al.(2009) que trabalhou com a Caracterização da farinha de banana verde com as seguintes variáveis umidade, extrato etéreo, proteína bruta, fibra bruta, cinzas, fração glicídica, amido e valor calórico da farinha de banana verde, cv. Prata é possível verificar que os teores de proteínas (Figura 5.9) encontrados estão bem abaixo do valor de Borges et al.(2009) que é de

4,50g.100g⁻¹, apenas no experimento 3 o valor foi de 3,58g.100g⁻¹. Para os valores de acidez total titulável (Figura 5.10) observado por Borges et al. (2009) foi de 0,63g.100g⁻¹, no entanto, apenas no experimento 4 submetido a T=70°C e espessura de 4mm), obtive-se um valor superior (0,89 g.100g⁻¹). Neste sentido, tendo em vista os efeitos tóxicos sofridos pelos microrganismos, quando estão em pH desfavorável, isto é, muito ácido, podemos constatar que o pH ácido (5,30) verificado por Borges et al.(2009) é benéfico ao produto final, pois promove uma maior vida de prateleira para a farinha de banana verde, em todos os experimentos realizados os valores encontrados de pH estão entre 5-6 (Figura 5.11). O teor médio de vitamina C evidenciado por Borges et al. (2009) foi 15,12 mg.100g⁻¹, comparado aos valores dos experimentos (Figura 5.12) estão entre 11- 17 mg.100g⁻¹, o que atenderia em parte a necessidade de ingestão diária recomendada (IDR) de vitamina C para adultos, a qual é de 60mg (YAMASHITA et al., 2003). Como relação à umidade (Figura 5.13) percebe-se que no experimento 1 e 5 os valores encontrados foram entre 6-7%, bem superiores ao valor de Borges et al.(2009) que é de 3,30%. Então podemos concluir que, em termos qualitativos, as características físico-químicas, da farinha de banana verde encontra-se com seu teor de pH, acidez total titulável e vitamina C dentro dos limites, quando comparada com os dados obtidos pela farinha processada por Borges et al.(2009).

Tabela 5. 12. Determinação da atividade de água (AW) da banana processada com trinta dias de armazenamento.

EXPERIMENTOS	AW ± DESVIO PADRÃO
1	0,36 ± 0,006
2	0,21 ± 0,168
3	0,34 ± 0,002
4	0,38 ± 0,013
5	0,33 ± 0,005
6	0,26 ± 0,0003
7	0,35 ± 0,0007

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5.12, como o valor máximo de atividade de água foi de 0,38 na condição de T = 70°C e E=4mm e o

valor mínimo foi encontrado nas condições de $T=70^{\circ}\text{C}$ e $E=3\text{mm}$ foi de 0,21. Sabendo que as bactérias suportam valores de atividade de água de até 0,75, as leveduras toleram valores de até 0,62 a 0,64 e os fungos com atividade de água inferior a 0,85 e até 0,61. A umidade é considerada ótima no substrato saturado, e varia de 30 a 85 dependendo do substrato (ROBINSON & NIGAM, 2003). Assim, para os experimentos avaliados pode-se afirmar que a farinha de banana verde processada após 30 dias de armazenamento não tem condições favorável para o crescimento de bactérias, leveduras e fungos.

Considera-se a atividade de água igual a 0,60 como sendo o limite mínimo capaz de permitir o desenvolvimento de microrganismos (RIBEIRO e SERAVALI, 2004), daí o fato dos alimentos desidratados, como a farinha de banana, serem consideradas como microbiologicamente estáveis. Neste trabalho, as amostras em estudo apresentaram atividade de água na faixa de 0,21 a 0,38.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- As equações de Midilli et al. (2002) e Aproximação da difusão representaram satisfatoriamente os dados experimentais para a descrição da cinética de secagem da banana verde com coeficientes de determinação superiores a 99%. O tempo de secagem reduziu de forma mais rápida com o aumento da temperatura do ar de secagem.
- Análise de variância dos resultados das análises das variáveis de respostas: Proteína, Vitamina C, pH, teor de água, Acidez Total Titulável, foram significativa para fins preditos, a um nível de 95% de confiança, porque para todas as variáveis obtiveram coeficiente de determinação maior que 0,60.
- A farinha de banana verde processada em termos qualitativos, de acordo com as características físico-químicas, encontra-se com seu teor de pH, Acidez Total Titulável e Vitamina C dentro dos limites, quando comparada com outras fontes de farinhas encontradas na literatura.
- Para obter uma análise de variância com resultados significativos sugere-se que se adicione pontos axiais, através de um delineamento composto central rotacional (DCCR), como também aumente o número de pontos centrais a matriz experimental. Dessa forma, possivelmente tem-se um modelo que represente satisfatoriamente os dados experimentais.
- A banana prata verde processada em estufa de ar de circulação, em termos qualitativos, viável para o enriquecimento dos alimentos ou a substituição parcial da farinha de trigo, podendo ser utilizada em panificação, confeitaria, alimentos infantis e produtos dietéticos. Embora, sejam necessárias análises microbiológicas e de minerais que caracterize melhor a farinha processada.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar um processamento mínimo e estudar o comportamento microbiológico da farinha da banana em diferentes acondicionamentos.
- Analisar as propriedades funcionais do amido isolado da polpa de banana verde e da farinha da polpa de frutos verdes.
- Obter uma bebida hidrolisada de farinha de banana verde.
- Elaboração e aceitação de bolos e biscoitos da farinha de banana verde.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALEXANDRE, H.V.; SILVA, F.L.H.; GOMES, J.P.G.; SILVA, O.S.; CARVALHO, J.P.D.; LIMA, E.E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.6, p.640–646, 2013

AMORIM, E.P et al. Genetic diversity of carotenoid – rich bananas evaluated by Diversity arrays Technology (DArT). **Genetics and Molecular Biology**, São Paulo, v.31. p. 96 – 103, 2009.

ASP, N-G. Resistant Starch. Proceedings from the second plenary meeting of EURESTA: European FLAIR Concerted Action No.11 on the physiological implications of the consumption of resistant starch in man. Preface. **European Journal of Clinical Nutrition**, 46 Suppl 2 S1, 1992.

AOAC-ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis. Arlington, 1141p. 1995.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16a. ed. 3a.rev. **AOAC** International, Gaithersburg, MD, 1997.

BARROS NETO, B.; SCARMÌNIO, I.S.;BRUNS, R.E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2003.

BORGES, MARIA DE ANTONIA; PEREIRA, JOELMA; LUCENA, DE PEREIRA MARLÔNIO ELISEU. Caracterização da farinha de banana verde. **Ciências de Tecnologia de Alimentos**. Campinas, abr.-Junho, 2009.

BORGES, S.V.; MANCINI, M.C.;CORRÊA,J.L.G.; LEITE, J. **Secagem de bananas prata e d'água por convecção forçada** Ciências. Tecnologia. Alimentos, Campinas, 2010.

BOX, G. E. P.; & WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Tec. Report. n.9, 1993.

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. Statistics for experimenters. **An introduction designs data analyses and model building**. Nova York: Wiley, 1978.

CAMPOS, R.P; VALENTE, J.P; PEREIRA, W. E. Conservação pós-colheita de banana cv. 'Nanição' climatizada e comercializada em Cuiabá – MT e região. Jaboticabal, **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n.1, p. 172-174, 2003.

CORRÊA, P. C.; Oliveira, G. H. H.; Botelho, F. M.; Goneli, A. L. D.; Carvalho, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arábica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v.57, p. 595-601, 2010.

DITCHFIELD, C. Estudo do processamento contínuo do purê de banana (2004). **Dissertação (Doutorado em Engenharia Química)**. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2004.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 2, p.161-165, 2005.

EVANGELISTA, J,. Tecnologia de alimentos. Editora Atheneu, Sao Paulo –SP. 2005.

ORDOÑEZ, J. A. P.; ALVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G. Tecnologia de alimentos: Componentes dos alimentos e processos. Editora Artmed, Porto Alegre – RS, 294 p. 2007.

FASOLIN, HENRIQUE LUIZ; ALMEIDA, CÂNDIDO GLALBER; CASTANHO, SÉRGIO PAULO; NETTO-OLIVEIRA, EDNA REGINA. Biscoitos produzidos com farinha de banana: avaliações química, física e sensorial. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 2007.

FIOREZE, R. – **Princípios de secagem de produtos biológicos** – João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 229 p, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAO**. Crop production database. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em 23 de fev. 2014.

FRANCO, G. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**, 8 ed. São Paulo: Atheneu, 1992.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro v.25 n.02 p.1-84 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas**, métodos químicos e físicos para análise de alimentos. São Paulo, p. 533, 1985.

JITTANIT, W. Kinetics and temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin seeds during drying. **Kasetsart Journal: Natural Science**, v.45, p.147-158, 2011.

KALEEMULLAH S.; KAILAPPAN R. Modelling of thin-layer drying kinetics of red chillies, *Journal of Food Engineering*, v. 76, n. 4, p. 531–537, 2006.

KHURY, A.I.; CORNELL, J.A.,1996, **Response Surfaces**. (second ed.), Marcel Dekker, New York.

LI, M.; SLAUGHTER, D.C.; THOMPSON, J.S . Optical chlorophyll sensing system for banana ripening. **Postharvest Biology and Technology**, 12, 217-283, 1997.

LIMA, E. E , FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A.J. M. CINÉTICA DE SECAGEM DE POLPA DE FACHEIRO. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.1, p.17-28, 2007.

MELO, A. A. M.; VILAS-BOAS, E.V. de B. Inibição do escurecimento enzimático de banana 'Maçã' minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 26, n. 1, p. 110-115, 2006.

MENGES, H. O.; ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 1, p. 119–125, 2006.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v.20, p. 1503–1513, 2002.

OVANDRO-MARTINEZ, M. et al., Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrate of pasta. **Food Chemistry**, Canadá, v. 113, p.121-126, 2009.

PACHECO-DELAHAYE, E.; TESTA, G. Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo y plátano verde. **Interciencia**, v. 30, n. 5, p. 300-304, 2005

PAULO C. A. J, PAULO C. C, FABRÍCIO S. da S, DEISE M. R. Atividade de água, crescimento microbiológico e perda de matéria seca dos grãos de café (*coffea arábica L*) em diferentes condições de armazenamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.5, n.1,p.17-24, 2003.

PONTES, S. F. O; CARNEIRO, J. C. S; BONOMO, P; CHAVES, M. A. Processamento e qualidade de banana da terra (*musa sapientum*) desidratada. Itapetininga, **Dissertação (Mestrado em Engenharia de processos de alimentos)**, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 86 p. 2009.

RAMANA, M.M.V.; KARANTH, N.G.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. **Biochemical engineering aspects of solid-state fermentation**. Advances in Applied Microbiology, v.38, p.99-146, 1993.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALI, E. A. G. Química de Alimentos. 1 ed. São Paulo: Editora Varela, 2004.

ROBINSON, T.; NIGAM, P. Bioreactor design for protein enrichment of agricultural residues by solid state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v.13, p.197- 203, 2003.

SANTOS J. C; SILVA G. F; SANTOS J. A. B; JÚNIOR A. M O. Processamento e avaliação da estabilidade da farinha de banana verde. **Exacta**. São Paulo, v.8, n.2,p. 219-224, 2010.

SANTOS, P.; SILVA, F.S.; PORTO, A.G. SILVA, F.T.C.; FURTADO, G.F. Influência de pré-tratamentos na cinética de secagem em diferentes temperaturas de banana da variedade terra (*musa sapientum, linneo*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Ponta Grossa - Paraná – Brasil**. ISSN: 1981-3686 / v. 04, n. 02: p. 218-234, 2010

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

SISTEMA BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS – **SBRT**. Rio de Janeiro: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005. Disponível em: <<http://sbirt.ibict.br/upload/sbirt424.pdf>>. Acesso em: 11 de Setembro de 2013.

SOUSA, F.C.; SOUSA, E.P.; SILVA,; MARTINS, L.M.M.; GOMES, J.J.A; ROCHA, A.T.R. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem de polpa de oiti. **Revista Educação Agrícola Superior Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS** - v.26, n.2, p.108-112, 2011.

SOUSA, S. de. **Desenvolvimento experimental de passa de umbu (*Spondias tuberosa*, Arruda Câmara)**. (Dissertação). Campina Grande: UFPB, 98 p, 1999.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. USDA National Nutrient Database. Disponível em: http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_.pl. Acesso em 23 de fev. 2014.

VIJAYAKUMAR, S.; PRESANNAKUMAR, G.; VIJAYALAKSHMI, N.R. Antioxidant activity of banana flavonoids. **Fitoterapia**, Manjeri, v. 79, p. 279-282, 2008.

WANG, Z.; SUN, J.; LIAO, X.; CHEN, F.; ZHAO, G.; WU, J.; HU, X. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, v. 40, n. 01, p. 39–46, 2007.

YAMASHITA, F. et al. Produtos de acerola: estudo da estabilidade de vitamina C. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 92-94, 2003.