

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
URI – ERECHIM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MARLA CRISTINA KAPPAUN RODRIGUES

**ESTUDO DA SECAGEM E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS E ANTIOXIDANTES DA CASCA DA BANANA VERDE (*Musa spp.*)**

ERECHIM, RS - BRASIL

MARÇO DE 2018

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
URI – ERECHIM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**ESTUDO DA SECAGEM E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS E ANTIOXIDANTES DA CASCA DA BANANA VERDE (*Musa spp.*)**

MARLA CRISTINA KAPPAUN RODRIGUES

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da URI Erechim, como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração: Engenharia de Alimentos, da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim.

ERECHIM, RS - BRASIL

MARÇO DE 2018

**ESTUDO DA SECAGEM E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS E ANTIOXIDANTES DA CASCA DA BANANA VERDE (*Musa spp.*)**

Marla Cristina Kappaun Rodrigues

Dissertação de Mestrado submetida à Comissão Julgadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração: Engenharia de Alimentos.

Comissão Julgadora:

Prof^a. Geciane Toniazco Backes, D.Sc.
Orientadora (URI-Erechim)

Prof. Rogério Luis Cansian, D.Sc.
Orientador (URI-Erechim)

Prof. Wagner Luiz Priamo, D.Sc.
(IFRS-Erechim)

Prof^a. Juliana Steffens
(URI-Erechim)

Erechim, Março de 2018.

NESTA PÁGINA DEVERÁ SER INCLUÍDA A FICHA CATALOGRÁFICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. ESTA FICHA SERÁ ELABORADA DE ACORDO COM OS PADRÕES DEFINIDOS PELO SETOR DE PROCESSOS TÉCNICOS DA BIBLIOTECA DA URI – ERECHIM.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por não me deixar desistir em momento algum e sempre me guiar pelo melhor caminho.

Agradeço a minha família por todo o amor, por sempre acreditar em mim e por entender meus momentos de ausência. Agradeço ao meu namorado, amigo e companheiro de vida Juliano por me incentivar e me apoiar diariamente.

Agradeço aos meus orientadores Geci e Cansian pela compreensão, paciência e apoio nos momentos de dificuldade, e por me orientarem com sabedoria ao longo desta trajetória. Agradeço também aos demais professores do programa que estiveram sempre disponíveis para esclarecer uma dúvida quando foi necessário.

Agradeço muito a Sandi que foi fundamental para a conclusão deste trabalho. Agradeço a Bruna pela ajuda nas análises de Atividade Antioxidante e a Adrieli pela ajuda nos experimentos de secagem.

Agradeço aos colegas pelo apoio e companhia nos dias em que estava em Erechim, especialmente a Dani que foi uma grande parceira.

Agradeço a empresa Cooperativa Central Aurora Alimentos, em nome de Mônica e Volnei, pela liberação para cursar as disciplinas e pelo apoio financeiro no primeiro ano de mestrado.

Agradeço ao Instituto Senai de Tecnologia em Alimentos e Bebidas, em nome de Maria Júlia, pelo apoio e motivação para a conclusão do mestrado, e pelas liberações sempre que necessitei estar em Erechim.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

Dedico:

Dedico este trabalho ao
meu Vô Kappaun que foi um verdadeiro
pai durante
toda a minha vida e
durante o período do mestrado
passou a cuidar de mim de
outro Plano.

Resumo da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

ESTUDO DA SECAGEM E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E ANTIOXIDANTES DA CASCA DA BANANA VERDE (*Musa spp.*)

Marla Cristina Kappaun Rodrigues

Orientadores: Prof. Dr^a. Geciane Toniazzo Backes e Prof. Dr. Rogério Luis Cansian

A banana (*Musa spp.*), umas das frutas mais produzidas no Brasil, é altamente consumida *in natura* e também serve de matéria-prima para muitos produtos. A banana verde é outra forma de consumo que vem conquistando espaço. A cada tonelada de banana industrializada, 440 kg de cascas são gerados como resíduo, tanto para bananas maduras como para bananas verdes. A utilização da casca de banana madura na produção de alimentos já é conhecida, no entanto, a casca de banana verde ainda é pouco explorada. A secagem de alimentos de origem vegetal, é uma operação extremamente relevante para a redução do teor de umidade, aumentando o tempo de conservação dos produtos secos. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi realizar o estudo da secagem em camada delgada da casca de banana verde com estufa de circulação de ar em diferentes temperaturas (40, 60 e 80°C) e avaliar as propriedades físico-químicas e antioxidantes do produto desidratado. O estudo da secagem foi realizado através de ajustes de modelos empíricos aos dados experimentais, cálculo da constante de secagem (K) e da difusividade efetiva (D_{ef}). As medições de condutividade térmica possibilitaram o cálculo do fluxo de calor e gasto de energia para cada temperatura. O produto final foi avaliado quanto a atividade antioxidante e a degradação da cor em relação ao produto *in natura*. O produto do experimento que apresentou resultado mais satisfatório foi caracterizado quanto a composição centesimal (umidade, proteínas, lipídios, fibras, cinzas e carboidratos) e conteúdo de minerais (Ca, Mg, Fe, Na e K). A operação de secagem foi eficiente para a obtenção de casca de banana verde desidratada, pois apresentou umidade comercial adequada: $6,8 \pm 0,1$; $5,3 \pm 0,3$ e $6,3 \pm 0,2$, para as temperaturas de 40, 60 e 80°C, nos tempos de 5,5; 12 e 44 h, respectivamente. O modelo de Henderson e Pabis apresentou melhor ajuste para temperatura de 60°C ($R^2 = 0,985$) e o modelo de Henderson e Henderson apresentou melhor ajuste na temperatura de 80°C ($R^2 = 0,939$). A constante de secagem (K) e a difusividade efetiva (D_{ef}) apresentaram o comportamento esperado em relação a temperatura. O fluxo de calor para cada temperatura foi 6,75; 11,53 e 19,25 W para 40, 60 e 80°C, respectivamente; o experimento com temperatura de 80°C apresentou melhor eficiência energética. Os produtos desidratados nas temperaturas de 60 e 80°C apresentam maior poder antioxidante, IC_{50} de $1,05 \pm 0,28$ e $0,80 \pm 0,28$, respectivamente. A amostra que degradou menos durante a secagem, foi a obtida na temperatura de 80°C, apresentando coloração amarelo-esverdeada. A casca de banana verde desidratada a 80°C apresentou na sua composição centesimal 6,31; 4,40; 9,48; 2,52; 9,01 e 68,28 g.100g⁻¹ de umidade, proteínas, fibras, lipídios, cinzas e carboidratos, respectivamente. Quanto ao conteúdo de minerais foram encontrados 55,19; 293,53; 21,33; 229,81 e 8859,84 para Ca, Mg, Fe, Na e K, respectivamente.

Palavras-chave: Condutividade térmica, curva de secagem, propriedade funcional, cor e composição centesimal.

Abstract of Dissertation presented to Food Engineering as a partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master in Food Engineering.

**DRYING STUDY AND EVALUATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND
ANTIOXIDANTS PROPERTIES OF GREEN BANANA (*Musa spp.*)**

Marla Cristina Kappaun Rodrigues

Advisors: Prof. Dr^a. Geciane Toniazco Backes and Prof. Dr. Rogério Luis Cansian

Banana (*Musa spp.*), fruit with high production in Brazil, is highly consumed fresh and also serves as a raw material for many products. The green banana is another form of consumption that has been gaining space. For each ton of industrialized banana, 440 kg of bark is generated as residue for both mature bananas and green bananas. The use of matured banana peel in food production is already known, since the green banana peel is still little explored. The drying of food of vegetable origin, is an extremely relevant operation to reduce the moisture content, increasing the shelf life of dry products. The objective of the present work was to study the thin layer drying of the green banana peel with air circulating greenhouse at different temperatures (40, 60 and 80°C) and to evaluate the physico-chemical and antioxidant properties of the dehydrated product. The drying study was performed through empirical model adjustments to the experimental data, calculation of drying constant (K) and effective diffusivity (Def). The thermal conductivity measurements enabled the calculation of heat flow and energy expenditure for each temperature. The final product was evaluated for antioxidant activity and color degradation in relation to the fresh product. The product of the experiment that presented the most satisfactory result was characterized as centesimal composition (moisture, proteins, lipids, fibers, ashes and carbohydrates) and mineral content (Ca, Mg, Fe, Na and K). The drying operation was efficient to obtain dehydrated green banana peel, as it presented adequate commercial humidity: 6.8; 5.3 and 6.3 g.100g⁻¹, for temperatures of 40, 60 and 80 ° C, at the times of 5.5; 12 and 44 h, respectively. The Henderson and Pabis model presented the best temperature adjustment of 60°C ($R^2 = 0.985$) and the Henderson and Henderson model presented the best temperature adjustment of 80°C ($R^2 = 0.939$). The drying constant (K) and the effective diffusivity (Def) showed the expected behavior in relation to temperature. The heat flow for each temperature was 6.75; 11.53 and 19.25 W for 40, 60 and 80, respectively; the experiment with a temperature of 80°C showed better energy efficiency. Dehydrated products at temperatures of 60 and 80°C presented higher antioxidant power, IC₅₀ of 1.05 and 0.80, respectively. The sample that degraded less during drying was obtained at a temperature of 80°C, showing yellow-green coloration. The green banana peel dehydrated at 80°C presented in its composition centesimal 6,31; 4.40; 9.48; 2.52; 9.01 and 68.28 g.100g⁻¹ of moisture, proteins, fibers, lipids, ashes and carbohydrates, respectively. Regarding the mineral content were found 55,19; 293.53; 21.33; 229.81 and 8859.84 for Ca, Mg, Fe, Na and K, respectively.

Key words: Thermal conductivity, drying curve, functional property, color and centesimal composition.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais cultivares plantadas no Brasil e suas características (EMBRAPA, 2017).	5
Tabela 2: Características físico-químicas que servem como índice de maturação das bananas (CHITARRA e CHITARRA, 1984).	8
Tabela 3: Composição centesimal da polpa da banana verde desidratada (BORGES et al., 2009).	8
Tabela 4: Comparação do teor de nutrientes das partes da banana madura (casca e polpa) (GONDIN et al., 2005).	9
Tabela 5: Modelos empíricos para a secagem de alimentos.	14
Tabela 6: Umidades de equilíbrio (X_E) para as secagens realizadas nas temperaturas de 40, 60 e 80°C.	23
Tabela 7: Constante de secagem (K), coeficiente de determinação (R^2) e difusividade efetiva para as secagens a 60 e 80°C nos três modelos testados.	31
Tabela 8: Condutividade térmica (k) e fluxo de calor (q) na casca da banana verde <i>in natura</i> , em um ponto intermediário da secagem e ao final da secagem em diferentes temperaturas.	32
Tabela 9: IC ₅₀ da atividade antioxidante da casca da banana verde <i>in natura</i> e desidratada nas temperaturas de 40, 60 e 80°C.	33
Tabela 10: Parâmetros de cor, Luminosidade (L), Cromaticidade (a^* e b^*) e Ângulo de Hue da parte externa da casca da banana verde <i>in natura</i> , após branqueamento e ao final das secagens em temperaturas de 40, 60 e 80°C.	34
Tabela 11: Parâmetros de cor, Luminosidade (L), Cromaticidade (a^* e b^*) e Ângulo de Hue da parte interna da casca da banana verde <i>in natura</i> , após branqueamento e ao final das secagens em temperaturas de 40, 60 e 80°C.	36
Tabela 12: Composição centesimal ($g \cdot 100g^{-1}$) da casca de banana verde desidratada em temperatura de 80°C.	37
Tabela 13: Conteúdo de minerais ($mg \cdot 100 g^{-1}$) na casca da banana verde desidratada em temperatura de 80°C.	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva da taxa de secagem (N) em função da umidade da material (X).	11
Figura 2: Relação das variáveis do processo de secagem entre si.	13
Figura 3: Curvas da secagem da casca da banana verde nas temperaturas de 40, 60 e 80°C.	23
Figura 4: Adimensional de umidade em função do tempo de secagem a 40°C.	24
Figura 5: Adimensional de umidade em função do tempo de secagem a 60°C.	25
Figura 6: Adimensional de umidade em função do tempo de secagem a 80°C.	26
Figura 7: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 60°C e linha de tendência gerada pelo modelo de Lewis.	27
Figura 8: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 60°C e ajuste dos dados ao modelo de Henderson e Pabis.	27
Figura 9: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 60°C e ajuste dos dados ao modelo de Henderson e Henderson.	28
Figura 10: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 80°C e ajuste dos dados ao modelo de Lewis.	29
Figura 11: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 80°C e ajuste dos dados ao modelo de Henderson e Pabis.	30
Figura 12: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 60°C e ajuste dos dados ao modelo de Henderson e Henderson.	30

NOMENCLATURA

A - Área de transferência

a* e b* - Cromaticidades

AA% - Atividade antioxidante

Abs – Absorbância

C - cinzas (g.100 g⁻¹)

D_{ef} - Difusividade efetiva

dT/dx - Gradiente de temperatura ao longo da espessura

EE - extrato etéreo (g.100 g⁻¹)

FB - fibra bruta (g.100 g⁻¹)

FG - fração glicídica (g.100 g⁻¹)

Hue - Ângulo Hue

k - Condutividade térmica

K - Constante de secagem

L* - Luminosidade

L₀ – Espessura inicial do produto

PB - proteína bruta (g.100 g⁻¹)

q - Fluxo de calor

t - Tempo

U - umidade (g.100 g⁻¹)

X₀ - Umidade inicial

X_E - Umidade de equilíbrio

X_t - Umidade em determinado tempo t

Y - Adimensional de umidade do produto

z - Espessura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo Geral.....	2
2.2 Objetivos específicos	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 Produção e Mercado	3
3.2 Botânica e Variedades	3
3.3 Produtos da Banana	6
3.4 Aproveitamento de Resíduos do Processamento de Banana	6
3.5 Aspectos Tecnológicos e Bioquímicos da Banana	7
3.5.1 Maturação.....	7
3.5.2 Composição.....	8
3.5.3 Escurecimento Enzimático e Não-Enzimático.....	9
3.5.4 Propriedades Antioxidantes.....	10
3.6 Secagem.....	11
3.6.1 Parâmetros de Secagem.....	13
3.6.2 Caracterização da secagem em camada delgada	14
3.6.3 Condutividade térmica	15
3.6.4 Primeira Lei de Fourier	15
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1 Preparo da Matéria-Prima.....	16
4.1.1 Lavagem e sanitização	16
4.1.2 Descascamento e corte	16
4.1.3 Branqueamento.....	16
4.1.4 Pesagem.....	16
4.2 Processo de Secagem	17
4.2.1 Metodologia da operação	17
4.2.2 Metodologia de cálculo	17
4.3 Condutividade térmica e fluxo de calor.....	19
4.4 Metodologia analítica.....	20
4.4.1 Parâmetros de cor.....	20
4.4.2 Atividade Antioxidante	21

4.4.3 Composição centesimal.....	21
4.4.4 Minerais.....	22
4.5 Análise estatística	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1 Estudo da secagem.....	23
5.1.2 Caracterização dos períodos da secagem em camada delgada.....	24
5.1.3 Ajuste de modelos e cálculo da constante de secagem (K).....	26
5.1.4 Fluxo de calor e gasto energético	32
5.2 Atividade antioxidante	33
5.3 Parâmetros de cor.....	34
5.4 Composição centesimal	37
6. CONCLUSÃO.....	40
7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	41
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

Uma das frutas mais produzidas no Brasil é a banana (*Musa spp.*) com uma média de produção de quase 7 milhões de toneladas por ano (IBGE, 2017), fazendo da bananicultura uma das atividades de maior importância para a Região Norte do Brasil (EMBRAPA, 2017). A banana, além de ser altamente consumida *in natura* devido ao seu sabor e conveniência para ingestão a qualquer lugar (OMOLOLA et al., 2014), é matéria-prima para muitos produtos amplamente conhecidos pela população como doces em calda, balas, bananada, mariolas entre outros (SILVA et al., 2001). A banana verde é outra forma de consumo desta fruta que vem conquistando cada vez mais espaço (ZANDONADI, 2009; ORMENESE, 2010).

Segundo Souza et al. (2010) a cada tonelada de banana industrializada, 440 kg de cascas são gerados. O resíduo de casca é gerado tanto na utilização de bananas maduras como quando se processa bananas verdes. Alguns estudos já apresentam a possibilidade de utilizar a casca de banana madura na produção de alimentos, no entanto a utilização de casca de banana verde ainda é muito pouco explorada. Quando comparadas as características químicas da casca de banana com a polpa de banana, é possível verificar seus benefícios: maiores percentuais de lipídios, proteínas, fibras, potássio, cálcio, ferro, magnésio e zinco, e menor percentual de carboidrato (GONDIM et al., 2005).

A secagem de alimentos de origem vegetal, assim como a casca da banana, é uma operação extremamente relevante para a redução do teor de umidade, aumentando o tempo de conservação dos produtos secos, e com isso melhorando o aproveitamento da produção agrícola (MASSARO e PINTO, 2002; OLIVEIRA e FREITAS, 2004). Para um processo efetivo, faz-se relevante a otimização das condições da operação de secagem, especialmente a temperatura, com a finalidade de realizar não apenas a eficiência do processo, mas também a qualidade final do produto seco (BANGA et al., 2003). Além disso, os modelos obtidos a partir da secagem em camada delgada contribuem efetivamente para o conhecimento das características da secagem dos materiais (CHIRIFE, 1983).

A partir do exposto o objetivo do presente trabalho foi realizar o estudo da secagem em camada delgada da casca de banana verde com estufa de circulação de ar em diferentes temperaturas (40, 60 e 80°C) e avaliar as propriedades físico-químicas e antioxidantes do produto desidratado.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi a estudar a secagem em camada delgada da casca de banana verde com estufa de circulação de ar em diferentes temperaturas (40, 60 e 80°C) e avaliar as propriedades físico-químicas e antioxidantes do produto desidratado.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a secagem de casca da banana verde em diferentes temperaturas.
- Aplicar os dados de secagem em camada delgada em modelos empíricos para conhecimento das características da operação.
- Determinar a condutividade térmica da casca da banana verde *in natura* e durante e após a operação de secagem, para calcular o fluxo de calor de cada operação e relacionar com o tempo de operação para avaliação do gasto energético.
- Analisar a cor e a atividade antioxidante dos produtos obtidos nas temperaturas de 40, 60 e 80 °C.
- Analisar teor de minerais, umidade, fibras, proteínas, lipídios e carboidratos do produto obtido na melhor condição de secagem.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Produção e Mercado

A Banana (*Musa spp.*) está entre as frutas mais produzidas no Brasil, em 2016 foram 470 mil hectares de área colhida, com uma produção de 6,8 milhões de toneladas (IBGE, 2017). É uma fruta consumida nas diversas classes econômicas da população brasileira, como sobremesa e fonte de vitaminas e nutrientes, sendo rica principalmente em potássio (2.640 a 3.870 mg/kg) (TACO, 2011).

A Banana possui grande safra em climas tropicais e subtropicais e contribui de forma decisiva para a economia de muitos países. A fruta é popular pelo seu sabor, textura e valor de conveniência, sendo muito fácil de descascar e comer. As bananas contribuem para a ingestão de vitaminas A, C e B6. São importantes e imediatas como fonte de energia, muitas vezes consumida por esportistas durante as competições (OMOLOLA et al., 2014). A banana triturada madura é uma excelente comida para bebês devido a fácil digestibilidade, conteúdo de minerais e vitaminas (GANESAPILLAI et al., 2011).

Todavia, a parcela da renda gasta na aquisição dessa fruta é de apenas 0,80% do total das despesas com alimentação (IBGE, 2017). A produção brasileira de banana está distribuída por todo o território nacional, sendo a região Nordeste a maior produtora (35%), seguida do Sudeste (33%), Sul (16%), Norte (12%) e Centro-Oeste (4%). O Estado do Pará participa com 41.384 hectares, produzindo 547.098 toneladas, e ocupa a quinta posição no cenário nacional (EMBRAPA, 2017).

A bananicultura é uma das atividades de maior relevância para o agronegócio da região Norte do Brasil. A Embrapa estima um consumo *per capita* de aproximadamente 38 kg por ano (EMBRAPA, 2017).

3.2 Botânica e Variedades

A bananeira (*Musa spp.*) pertence à família botânica Musaceae e é originária do Extremo Oriente. A bananeira é uma planta herbácea, caracterizada pela exuberância de suas formas e dimensões das folhas. Possui caule curto e subterrâneo (rizoma) de onde saem as raízes. O falso caule (pseudocaule) é formado pela união das bainhas (bases) das folhas e termina com uma copa de folhas longas e largas. Do centro da copa surge a inflorescência, de onde surgirão os frutos (EMBRAPA, 2017).

As bananeiras que produzem frutos comestíveis originam-se da espécie *Musa acuminata* (genoma A) ou do cruzamento entre esta e *Musa balbisiana* (genoma B). Em função dessas combinações, as frutas terão suas características específicas. As frutas de cultivares do tipo AA (Ouro) e AAA (Nanica) são mais doces, enquanto as do tipo AAB, como a Prata, são mais ácidas. Existem também bananas do tipo AAB que possuem maior teor de amido, como a Terra, e são consumidas tipicamente após cozimento ou fritura (EMBRAPA, 2017).

A Tabela 1 apresenta as características das principais cultivares plantadas no Brasil:

Tabela 1: Principais cultivares plantadas no Brasil e suas características (EMBRAPA, 2017).

Características	Variedades									
	Prata	Pacovan	Prata Ana	Maça	Ouro	Nanica	Nanicão	Grande Naine	Terra	D'Angola
Grupo Genômico	AAB	AAB	AAB	AAB	AA	AAA	AAA	AAA	AAB	AAB
Tipo	Prata	Prata	Prata	Maça	Ouro	Cavendish	Cavendish	Cavendish	Terra	Terra
Porte	Alto	Alto	Médio	Médio-alto	Médio-alto	Baixo	Médio-baixo	Médio-baixo	Alto	Médio
Densidade (plantas-ha)	1.111	1.111	1.666	1.666	1.666	2.500	1.600	2.000	1.111	1.666
Perfilhamento	Bom	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo	Médio	Médio	Médio	Fraco	Fraco
Ciclo vegetativo	400	350	280	300	536	290	290	290	600	400
Peso do cacho (kg)	14	16	14	15	8	25	30	30	25	12
Número de frutas-cacho	82	85	100	86	100	200	220	200	160	40
Número de pencas-cacho	7,5	7,5	7,6	6,5	9	10	11	10	10	7
Comprimento do fruto	13	14	13	13	8	17	23	20	25	25
Peso do fruto	101	122	110	115	45	140	150	150	200	350
Rendimento sem irrigação (t-ha)	13	15	15	10	10	25	25	25	20	12
Rendimento com irrigação (t-ha)	25	40	35	NA	NA	NAS	75	45	NA	NA
Sigatoka-amarela	S	S	S	MS	S	S	S	S	R	R
Sigatoka-negra	S	S	S	S	R	S	S	S	S	S
Mal-do-panamá	S	S	S	AS	R	R	R	R	R	R
Moko	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Nematóides	R	R	R	R	NA	S	S	S	S	S
Broca-do-rizoma	MR	MR	MR	MR	NA	S	S	S	S	S

Legenda: S= suscetível, MS= medianamente suscetível, R= resistente, T= tolerante, NA=não avaliado.

O fruto da banana é partenocárpico, ou seja, desenvolve-se sem fecundação. Tem o formato alongado, casca fina e ausência de sementes. Os pequenos pontos pretos encontrados na massa carnosa do fruto são óvulos que não se desenvolveram em sementes (EMBRAPA, 2017).

3.3 Produtos da Banana

A produção a partir da matéria prima banana, dá origem a produtos muito conhecidos pela população, como: doces em calda, geléias, balas, “banana chips”, bananada, mariolas, bolos e tortas doces e salgados, licores e uma infinidade de outros produtos (SILVA et al., 2001). No entanto, além destes produtos tradicionais, a banana vem ganhando espaço em uma grande diversidade de produtos. Na versão verde, a banana em forma de farinha está se mostrando como ótima substituta para a farinha de trigo em macarrão (ZANDONADI, 2009), barras de cereais e produtos de panificação (ORMENESE, 2010).

3.4 Aproveitamento de Resíduos do Processamento de Banana

Dados da EMBRAPA (2017) mostram que, de cada 100 kg de frutas colhidas em 2006, 46 kg não foram aproveitados. Além desse rejeito, a cultura da banana gera outros resíduos no campo provenientes da sua industrialização. De acordo com Souza et al. (2010) em uma empresa de alimentos do município de Garuva, um dos maiores produtores de banana nanica na região nordeste do estado de Santa Catarina, para cada tonelada de banana industrializada, aproximadamente 3 toneladas de pseudocaule, 160 kg de engaços, 480 kg de folhas e 440 kg de cascas são gerados. A partir disso, há muitos estudos para a utilização dos resíduos de banana, como por exemplo para a produção de Biogás (SOUZA et al., 2010).

Para a produção de alimentos a casca de banana ainda não é uma matéria-prima comum, no entanto, alguns estudos já evidenciam esta possibilidade de forma positiva. Carvalho et al. (2012) adicionaram até 7% de farinha de banana verde na formulação de *cupcakes* e tiveram resultados sensoriais satisfatórios, a análise química do produto mostrou um aumento no teor de calorias, lipídios e fibra bruta, reduzindo a quantidade de carboidratos. Ainda menos explorada que a casca da banana madura, para a produção de alimentos, é a casca da banana verde; a qual é um resíduo que se torna mais presente devido ao crescimento da utilização da polpa de banana verde.

3.5 Aspectos Tecnológicos e Bioquímicos da Banana

3.5.1 Maturação

O cacho de banana origina-se da inflorescência de um grupo de flores que, em climas tropicais, os frutos maduros são desenvolvidos em um período que varia de 90 a 150 dias, a partir do interior do pseudocaule. Fisiologicamente desenvolvidos, os frutos colhidos e armazenados apresentam uma fase climatérica bem definida, com modificações características, tais como mudanças na coloração da casca, amolecimento da polpa e conversão do amido em açúcar, a qual caracteriza o período de maturação (CHITARRA e CHITARRA, 1984).

Após a colheita, os frutos sofrem modificações químicas, tendo em vista a continuidade dos processos metabólicos. A hidrólise do amido é a mudança que mais caracteriza o advento do climatério. Sua concentração diminui em poucos dias, caindo de 22% na fase pré-climatérica até níveis abaixo de 1% quando atinge o pico climatérico, com a consequente formação de açúcares redutores e sacarose. Durante o amadurecimento, a respiração do fruto é intensa e a produção de gás carbônico a 20°C, aumenta de 20 mg/kg.h para 125 mg/kg.h (CHITARRA e CHITARRA, 1984).

O amadurecimento é o resultado de uma série de mudanças complexas, muitas das quais ocorrem independentemente umas das outras. As principais mudanças que podem ser observadas são: aumento de taxa respiratória, aumento na produção de etileno, aumento na concentração de açúcares, solubilização das substâncias pécnicas, degradação de pigmentos, aumento na concentração de fenólicos e ácidos, produção de voláteis, variações nos teores de enzimas, vitaminas, minerais e mudanças na permeabilidade dos tecidos (CHITARRA e CHITARRA, 1984). A Tabela 2 apresenta as características físico-químicas que servem como índice de maturação das bananas para 4 cultivares diferentes.

Tabela 2: Características físico-químicas que servem como índice de maturação das bananas (CHITARRA e CHITARRA, 1984).

Cultivares	Estádio de maturação	Índice de maturação				
		Polpa/casca	Acidez %	S. solúveis %	Amido %	Açúcares totais %
Prata	Verde	1,59	0,224	0,92	20,92	0,19
	Madura	2,41	0,569	22,36	4,78	13,50
Nanica	Verde	1,23	0,325	3,25	19,91	0,43
	Madura	1,74	0,512	19,60	0,99	16,79
Nanicão	Verde	1,58	0,269	0,78	22,50	0,76
	Madura	1,96	0,272	19,72	1,90	14,29
Gros-Michel	Verde	1,35	0,250	0,80	19,84	0,65
	Madura	2,02	0,278	21,80	0,86	14,65

3.5.2 Composição

Segundo as pesquisas de Gondim et al. (2005), as cascas de banana apresentam teores de nutrientes maiores do que os das suas respectivas partes comestíveis, além de serem ricas fontes de fibras. A caracterização da composição centesimal e teor de nutrientes da casca da banana verde não foram encontradas em referências bibliográficas. No entanto, Borges et al. (2009) caracterizaram a polpa da banana verde prata desidratada na temperatura de 70°C e obtiveram os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Composição centesimal da polpa da banana prata verde desidratada (BORGES et al., 2009).

Parâmetro	Base	
	Úmida (b.u.)	Seca (b.s.)
Umidade (g.100 g ⁻¹)	3,30 ± 0,08	–
Extrato etéreo (g.100 g ⁻¹)	0,68 ± 0,03	0,70 ± 0,03
Proteína bruta (g.100 g ⁻¹)	4,50 ± 0,84	4,73 ± 0,84
Fibra bruta (g.100 g ⁻¹)	1,01 ± 0,02	1,17 ± 0,02
Cinzas (g.100 g ⁻¹)	2,59 ± 0,07	2,68 ± 0,07
Fração glicídica (g.100 g ⁻¹)	87,92 ± 0,91	90,72 ± 0,91

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos por Gondin et al. (2005) para a composição da casca e da polpa de banana prata madura.

Tabela 4: Comparação do teor de nutrientes das partes da banana prata madura (casca e polpa) (GONDIN et al., 2005).

Parâmetro	Casca	Polpa
Umidade (g.100 g ⁻¹)	89,47	64
Cinzas (g.100 g ⁻¹)	0,95	0,8
Lipídeos (g.100 g ⁻¹)	0,99	0
Proteínas (g.100 g ⁻¹)	1,69	1
Fibras (g.100 g ⁻¹)	1,99	1,5
Carboidratos (g.100 g ⁻¹)	4,91	34
Calorias (kcal)	35,30	128
Cálcio (mg.100 g ⁻¹)	66,71	0
Ferro (mg.100 g ⁻¹)	1,26	0,3
Sódio (mg.100 g ⁻¹)	54,27	<0,4
Magnésio (mg.100 g ⁻¹)	29,96	24
Zinco (mg.100 g ⁻¹)	1,00	0,3
Cobre (mg.100 g ⁻¹)	0,10	0,05
Potássio (mg.100 g ⁻¹)	300,92	328

3.5.3 Escurecimento Enzimático e Não-Enzimático

O escurecimento enzimático é uma das reações mais importantes que afetam frutas, vegetais e frutos do mar, a qual gera mudança na coloração destes produtos. Embora para alguns produtos, como o café, seja uma reação benéfica; na maioria dos casos, é a causa de grandes perdas econômicas. Estima-se que mais de 50% das perdas de frutas seja consequência desta reação (WHITAKER e LEE, 1995).

O escurecimento enzimático é resultado da ação da enzima polifenoloxidase (PFO) sobre compostos fenólicos normalmente presentes em determinados vegetais. Quando as células vegetais estão intactas, o escurecimento não ocorre, pois nesta situação os compostos fenólicos presentes nos vacúolos das células estão fisicamente separados da PFO presente no citoplasma. No entanto, no momento em que o tecido do vegetal é danificado, seja pelo corte, fatiamento ou preparo de polpa; a PFO entra em contato com o substrato, catalisando a oxidação

de fenóis a orto-quinonas, esses compostos altamente reativos sofrem polimerização, produzindo compostos de peso molecular elevado, os pigmentos marrons, denominados melanoidinas (MARSHALL et al., 2000).

As melanoidinas podem reagir com aminoácidos e proteínas, intensificando a coloração marrom produzida. A velocidade da reação de escurecimento enzimático é determinada pelo teor de compostos fenólicos e de PFO ativa nos tecidos, pelo pH, temperatura e disponibilidade de oxigênio (MARSHALL et al., 2000).

Outro tipo de escurecimento ocorrente nos alimentos é aquele que não sofre a ação de enzimas, então chamado de escurecimento não-enzimático ou reação de *Maillard*. Esse escurecimento engloba uma série de reações muito complexas mediante as quais, sob determinadas condições, os açúcares redutores podem reagir com as proteínas e produzir pigmentos de cor pardo-escura e modificações no odor e sabor dos alimentos. Essas reações podem ser desejáveis em produtos como: assados, tostados, frituras e doce de leite, e indesejáveis quando cores escuras se desenvolvem durante o armazenamento de alimentos. O escurecimento não enzimático é acelerado pelo calor, portanto está presente nas operações de cocção, pasteurização, esterilização e desidratação (ORDÓÑEZ et al., 2005).

3.5.4 Propriedades Antioxidantes

Os antioxidantes são definidos como substâncias que agem retardando ou prevenindo a oxidação do substrato envolvido nos processos oxidativos, impedindo desta forma a formação de radicais livres (HALLIWELL et al., 1995). Os radicais livres juntamente com outros oxidantes são evidenciados como os grandes responsáveis pelo envelhecimento e pelas doenças degenerativas associadas ao envelhecimento, como câncer, doenças cardiovasculares, catarata, declínio do sistema imune e disfunções cerebrais (ATOUI et al., 2005).

A produção de radicais livres é controlada nos seres vivos por diversos compostos antioxidantes, os quais podem ter origem endógena ou serem provenientes da dieta alimentar e outras fontes, como os tocoferóis (vitamina E), ácido ascórbico (vitamina C), carotenoides, selênio e polifenóis (VALKO et al., 2004).

Dentre os antioxidantes presentes nos vegetais, os mais ativos e frequentemente encontrados são os compostos fenólicos. As propriedades benéficas desses compostos têm recebido muita atenção nos últimos anos, sobretudo por inibirem a peroxidação lipídica e a lipooxigenase *in vitro* (SOARES, 2002). Os flavonoides e os ácidos fenólicos são os que mais

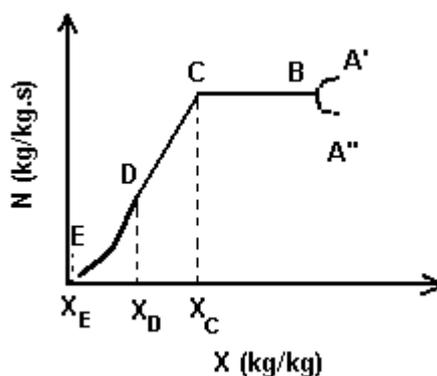
se destacam e considerados os antioxidantes fenólicos mais comuns de fontes naturais (KARAKAYA, 2004).

3.6 Secagem

A operação de secagem acontece quando o material úmido está em contato com o ar insaturado resultando na redução do conteúdo de umidade do material e na umidificação do ar. Dois processos simultâneos ocorrem durante esta operação, a transferência de calor do meio circundante, resultando na evaporação do líquido contido no material, e a transferência de massa na forma de líquido ou vapor do interior do material para a superfície, e desta para a corrente do fluido de secagem (AKPINAR et al., 2003).

As transferências de calor e massa para o material podem ser por condução, convecção e radiação. Essas transferências são de natureza externa (meio de secagem) e interna (características físicas constitutivas do material). A operação de secagem é dividida em um período de taxa constante e um ou dois períodos de taxa decrescente (STRUMILLO e KUDRA, 1986; CHIRIFE, 1983; FORTES e OKOS, 1980). A Figura 1 apresenta uma ilustração da curva de taxa de secagem e seus respectivos períodos.

Figura 1: Curva da taxa de secagem (N) em função da umidade da material (X).



Legenda: A – Período inicial; B-C – Período Constante; C-E – Período decrescente. (STRUMILLO e KUDRA, 1986).

No instante após a amostra entrar em contato com o meio secante a temperatura do sólido ajusta-se até atingir um regime permanente. Na Figura 1, o teor de umidade livre inicial no tempo zero é mostrado no ponto A'. No início, o sólido está normalmente em uma temperatura abaixo da temperatura de equilíbrio, que normalmente é igual à temperatura de

bulbo úmido do ar. Neste caso, a taxa de evaporação aumenta. Eventualmente, se o sólido estiver numa temperatura superior à de equilíbrio, o período inicial de secagem é representado pela linha tracejada A''B da Figura 1 (FORTES e OKOS, 1980).

No período de taxa constante de migração de umidade, representado na Figura 1 pelo segmento BC, a superfície do sólido apresenta-se encoberta por uma película de umidade e a água evapora do material a mesma temperatura de bulbo úmido do ar. O calor para a transferência de massa do material é transferido para a superfície do sólido somente por convecção, ou seja, todo o calor cedido pelo ar de secagem é utilizado para a evaporação da umidade livre, assim, a temperatura do sólido e a taxa de secagem apresentam-se constante (FORTES e OKOS, 1980). Segundo Chirife (1983), esse período só tem relativa importância, na secagem de alimentos, quando o teor de umidade inicial do sólido é muito alto ou quando o potencial de secagem do ar é muito baixo.

O término do período de taxa constante é alcançado quando a migração interna de água para a superfície não consegue mais suprir a taxa de evaporação da água livre. O valor da umidade deste estado é denominado de umidade crítica, no ponto C da Figura 1 (FORTES & OKOS, 1980; PERRY e GREEN, 1986).

O período de secagem com taxa decrescente está representado na Figura 1 pelo trecho CE. Este período se caracteriza por apresentar ou não duas fases bem diferenciadas em um determinado tempo, evidenciada por uma ou mais mudanças de inflexão, ou mudanças na inclinação, chamadas de transição. Este período ocorre quando a migração interna de água começa a controlar a operação de secagem (PERRY e CHILTON, 1980). O trecho C-D representa a zona de superfície de secagem não saturada, a superfície do material apresenta diversas áreas secas que se ampliam à medida que a secagem se prossegue. A evaporação continua a se processar na superfície do sólido e a resistência à difusão interna do líquido é pequena comparada com a resistência para remover o vapor da superfície. A temperatura do sólido aumenta, pois recebe a mesma quantidade de ar de secagem, porém sua área de superfície de evaporação processa cada vez menos a evaporação de água. O calor transferido ao sólido excede ao da vaporização da água, e assim é absorvido por este (CHIRIFE, 1983).

No segundo movimento interno de umidade de período de taxa decrescente, representado pelo segmento DE da Figura 1, a superfície encontra-se seca e o fluxo interno irá controlar a taxa secagem. Os mecanismos que influenciam diretamente na remoção de água nesta fase são a difusão interna de água líquida e o efeito capilar. Desta forma, o mecanismo de difusão é considerado como principal responsável na secagem de materiais fibrosos, amorfos

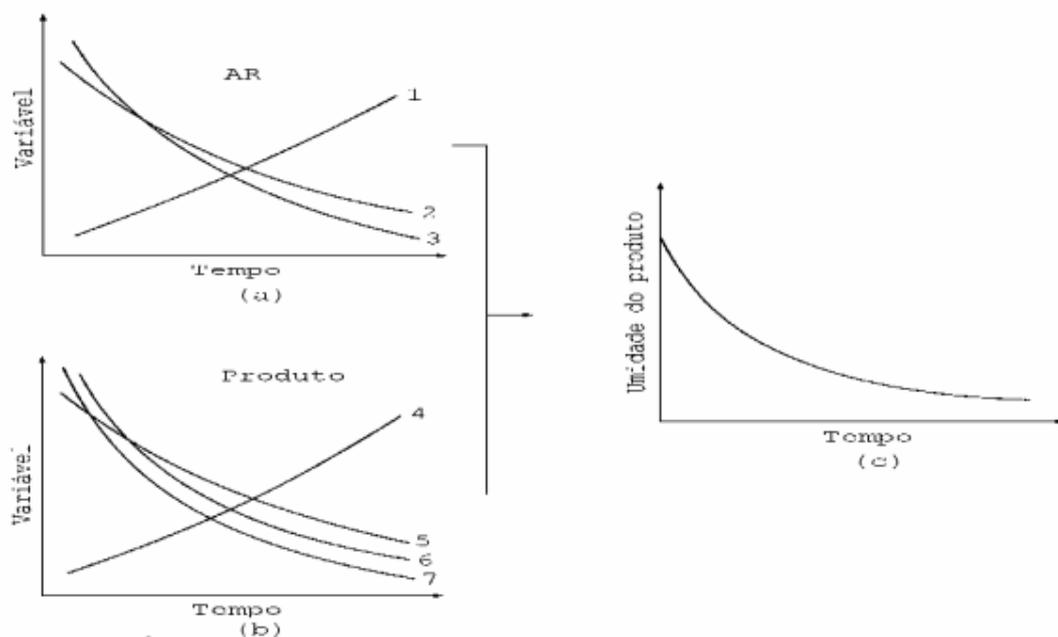
ou géis, enquanto que o efeito capilar é mecanismo controlador da secagem de materiais granulares e cristalinos (TOBINAGA e PINTO 1992).

No ponto E da Figura 1 é alcançada a umidade de equilíbrio entre o conteúdo de umidade do material e a umidade relativa do ar de secagem, caracterizando o fim da operação (CHIRIFE, 1983).

3.6.1 Parâmetros de Secagem

Os parâmetros de secagem são as variáveis envolvidas no processo de secagem que podem ser fixadas a fim de avaliar as demais, elas são conhecidas como: umidade relativa do ar, temperatura do ar, vazão do ar; umidade inicial do produto, umidade final do produto, coeficiente de difusão de massa e área relativa. A Figura 2 apresenta a relação das variáveis entre si (FIOREZE, 2004)

Figura 2: Relação das variáveis do processo de secagem entre si.



Legenda: 1 – umidade relativa do ar; 2 – temperatura do ar; 3 – vazão do ar; 4 – umidade inicial do produto; 5 – umidade final do produto; 6 – coeficiente de difusão; 7 – área relativa (m^2/m^3)

Fonte: Fioreze (2004)

É possível verificar na Figura 2 que se a umidade relativa do ar ambiente aumenta, o tempo de secagem aumenta. Quando a temperatura do ar de secagem diminui, o tempo de secagem aumenta. Observando a Figura 2(a) curvas 1, 2 e 3, respectivamente umidade relativa, temperatura e vazão do ar. Na curva 1 quanto menor a temperatura e a vazão de ar, maior o

tempo de secagem do produto, nas curvas 2 e 3, quanto maior a variável, menor o tempo de secagem. Analisando a Figura 2(b) curvas 4, 5, 6 e 7, respectivamente umidade inicial e umidade final do produto, coeficiente de difusão de massa, coeficiente de difusão de massa e área relativa em função da variável, quanto menor a umidade inicial do produto, menor e tempo de secagem. Quanto menor umidade final do produto, coeficiente de difusão de massa e área relativa maior o tempo de secagem (FIOREZE, 2004).

3.6.2 Caracterização da secagem em camada delgada

Os modelos obtidos a partir da secagem em camada delgada contribuem de forma efetiva para o conhecimento das características da secagem dos materiais. Os modelos de secagem em camada delgada, podem ser distribuídos em três categorias principais: modelos teóricos, semi-teóricos e empíricos (CHIRIFE, 1983).

As correlações empíricas são utilizadas na análise da secagem, buscando uma forma de representar a cinética de secagem de alimentos que melhor se ajuste aos dados experimentais. As correlações mais utilizadas para a secagem de alimentos estão apresentadas na Tabela 5 (BARROZO et al., 1998).

Tabela 5: Modelos empíricos para a secagem de alimentos.

Nome	Equações*
Lewis	$Y = \exp(-Kt)$
Henderson e Pabis	$Y=A.\exp(-Kt)$
Henderson e Henderson	$Y=A \left[\exp(-Kt) + \frac{1}{9} \exp(-9Kt) \right]$
Overhults	$Y=\exp[-(Kt)^n]$
Page	$Y=\exp[-(Kt)^n]$

* Y é o adimensional de água livre do material $[(X-X_E)/(X_0-X_E)]$, K é a constante de secagem, t é o tempo e A e n são parâmetros de ajuste. Fonte: Barrozo et al. (1998).

3.6.3 Condutividade térmica

A condutividade térmica é uma das propriedades termofísicas primárias altamente necessárias no design e na otimização de processamento de alimentos envolvendo transferência de calor, como secagem, cozimento, fritura e congelamento (AKBARNEJAD, AZADBAKHT & ASGHARI, 2015). Numerosos métodos estão disponíveis para medir a condutividade térmica; os quais são classificados em técnicas de fluxo permanente e transiente. Durante os testes, a migração de umidade e mudanças nas propriedades podem ocorrer devido a longa exposição a altas temperaturas (RAMASWAMY e MARCOTTE, 2006). As condutividade térmica, assim como as demais propriedades térmicas (difusividade, condutividade e resistividade térmicas) variam segundo a natureza do produto, variedade, teor de umidade e temperatura (KAZARIAN e HALL, 1965)

3.6.4 Primeira Lei de Fourier

A transferência de calor é o processo que se identifica pela transferência de energia entre dois sistemas diferentes como resultado da diferença de temperatura entre eles. Há três meios distintos de transferência de calor, denominados condução, radiação e convecção, que atuam de forma combinada. A convecção é o processo de transporte de calor decorrente da movimentação do fluido por diferença de densidades ou agitação. Na radiação o calor é transferido mesmo quando os corpos estão separados. Neste caso o calor é transmitido pela propagação de ondas eletromagnéticas e luminosas. A condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de alta temperatura para outra de mais baixa temperatura dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou, entre meios diferentes em contato físico direto. O calor passa através do corpo sólido pela transferência física de elétrons livres e pela vibração de átomos e moléculas, e cessa quando a temperatura em todos os pontos do sistema atinge o equilíbrio térmico. A condutividade térmica inserida nesse contexto é uma propriedade termofísica do material e descreve a taxa com que o fluxo de calor escoia sob influência de um gradiente térmico (HOLMAN, 1983).

O estudo analítico da transmissão de calor foi proposto pelo cientista francês J.B.J. Fourier, em 1822. Fourier descreve que um gradiente de temperatura distribuído ao longo de uma espessura gera um fluxo de calor por unidade de área diretamente proporcional ao gradiente, definindo a constante de proporcionalidade, conhecida como condutividade térmica (HOLMAN, 1983).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Preparo da Matéria-Prima

A matéria-prima banana verde cultivar Prata (*Musa* spp.) foi obtida em um distribuidor de frutas da cidade de Erechim – RS, todas as frutas foram adquiridas sem passar pelo processo de aceleração da maturação.

4.1.1 Lavagem e sanitização

Para eliminação das sujidades (terra, detritos ou impurezas de diversas espécies que possam influenciar na qualidade do produto, foi realizada lavagem com água potável a temperatura ambiente. Posteriormente, os frutos juntamente com as cascas, foram imersos em solução de hipoclorito de sódio (50 ppm) por 10 minutos.

4.1.2 Descascamento e corte

A remoção das cascas ocorreu manualmente com cuidado para separação da polpa sem danificar a casca. Após esta etapa as cascas de banana foram cortadas em duas partes com auxílio de faca inoxidável.

4.1.3 Branqueamento

As cascas de banana foram imersas em um becker de 1 L com água fervente (temperatura de 100°C) por 5 minutos. Posteriormente, foram imersas em água gelada (0,5 a 1°C) por 1 minuto para arrefecimento.

4.1.4 Pesagem

As cascas branqueadas e cortadas foram pesadas antes da operação de secagem para possibilitar o acompanhamento da perda de massa durante a operação e determinar o final do processo. Esta operação foi realizada em balança de precisão (BEL engineering) com exatidão de 0,001 g.

4.2 Processo de Secagem

4.2.1 Metodologia da operação

A secagem em camada delgada da casca de banana verde foi realizada em estufa com circulação de ar (Fanem Mod. 320-SE) nas temperaturas de 40, 60 e 80°C. Nas temperaturas de 40 e 60°C foi realizado o acompanhamento da variação de massa através de pesagens a cada 30 minutos até atingir peso constante determinando o final da operação. Na operação a temperatura de 80°C as pesagens para acompanhamento da variação de massa foram realizadas a cada 15 min.

4.2.2 Metodologia de cálculo

Os períodos da operação de secagem foram determinados através da curva do adimensional de umidade do produto (Y) em função do tempo de secagem (t). Os valores do adimensional de umidade foram calculados através da Equação 1.

$$Y = \frac{X_t - X_E}{X_0 - X_E} \quad 2$$

O período de taxa constante e os períodos de taxa decrescente foram evidenciados pela seção das curvas de secagem.

Com os dados de adimensional de água livre em função do tempo foram ajustados os modelos de Lewis (Equação 2), Handerson e Pabis (Equação 3) e Henderson e Henderson (Equação 4).

$$Y = \exp(-Kt) \quad (2)$$

$$Y = A \cdot \exp(-Kt) \quad (3)$$

$$Y=A \left[\exp(-Kt)+\frac{1}{9} \exp(-9Kt) \right] \quad (4)$$

Através dos ajustes dos modelos citados foram obtidas as constantes da secagem (K) de cada de temperatura. O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi definido pelo coeficiente de determinação (R²) gerado para as equações.

O coeficiente D_{ef} denominado de difusividade efetiva envolve todos os possíveis efeitos internos, sendo, em geral, dependente da umidade do material e da temperatura do ar de secagem (CHIRIFE, 1983). Para a secagem de material sólido, sendo uma lâmina infinita, tomando-se a difusividade efetiva de massa como constante, desconsiderando o encolhimento e os efeitos de resistência externa e considerando a secagem pelos dois lados do material, a equação geral do balanço de massa do modelo difusivo (Equação 5) pode ser escrita conforme a Equação 6.

$$\left(\frac{\partial X}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla X \right) = -\nabla \cdot (-D_{ef} \nabla X) + \left(\frac{1}{\rho_s} \right) r_A \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial X}{\partial t} \right) = D_{ef} \left(\frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

Sendo: $0 \leq z \leq L_0/2, t > 0$;

com as seguintes condições:

inicial: $t = 0; \quad 0 \leq z \leq L_0/2 \quad \rightarrow \quad X = X_0$

contorno: $z = L_0/2 ; \quad t > 0 \quad \rightarrow \quad X = X_E$

$z = 0; \quad t \geq 0 \quad \rightarrow \quad \left(\frac{\partial X}{\partial t} \right) = 0$

Assim, o valor médio espacial da solução da Equação 6 é a Equação 7 (CRANK, 1975), que representa o perfil médio de umidade calculado com a média no volume.

$$Y = \left(\frac{\bar{X} - X_E}{X_0 - X_E} \right) = \left(\frac{8}{\pi^2} \right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{ef} t}{L_0^2} \right) \quad (7)$$

No caso de a secagem apresentar um longo período de operação, a Equação 7 é simplificada na forma da Equação 8 (PORTER et al., 1986).

$$\left(\frac{\bar{X} - X_E}{X - X_E} \right) = \left(\frac{8}{\pi^2} \right) \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{ef} t}{L_0^2} \right) \quad (8)$$

A Equação 8 apresenta a mesma forma da correlação semi-empírica de Henderson e Pabis estimada para o cálculo da constante de secagem, assim por analogia de ambas as equações, determina-se a relação mostrada na Equação 9.

$$D_{ef} = \frac{K L_0^2}{\pi^2} \quad (9)$$

Portanto, utilizando os valores de K obtidos através dos modelos e a espessura da casca da banana verde *in natura*, foram calculados os valores de difusividade efetiva (D_{ef}) através a Equação 8.

4.3 Condutividade térmica e fluxo de calor

A propriedade termofísica condutividade térmica (k) foi medida diretamente pelo método da sonda quente em regime transiente em três momentos do processo, antes de iniciar o processo de secagem (casca da banana verde *in natura*), em um ponto intermediário do processo de secagem em que a umidade do produto era de 60% e ao final do processo de secagem (produto desidratado). Para esta análise foi utilizado o aparelho KD2 Pro (DECAGON DEVICES, 2365 NE, Estados Unidos).

Os valores de condutividade térmica (k) obtidos durante o processo de secagem foram aplicados na Equação 10 (Primeira Lei de Fourier) para obtenção do fluxo de calor necessário para a secagem em cada temperatura, nos três pontos medidos.

$$\frac{q}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (10)$$

Como gradiente de temperatura foi utilizada a diferença entre a temperatura inicial da amostra e a temperatura da estufa, considerando que ao longo da secagem a amostra entre em equilíbrio térmico com o ar da estufa.

Como área de transferência (A) foi considerada a área de uma fatia de casca de banana; a qual foi medida antes de iniciar o processo de secagem, assim como a espessura e a temperatura.

Com os valores de fluxo de calor definidos para cada temperatura foi obtida uma média que identifica o fluxo de calor da operação. O fluxo de calor (potência) necessário para cada temperatura de secagem foi multiplicado pelo respectivo tempo necessário de secagem; assim obteve-se a energia necessária para realizar a operação de secagem em cada temperatura.

4.4 Metodologia analítica

4.4.1 Parâmetros de cor

Os parâmetros de cor da casca da banana verde *in natura*, após o processo de branqueamento e desidratada foram avaliados utilizando um colorímetro Minolta (CR-400, Osaka, Japão) por meio do diagrama tridimensional de cores ($L^*a^*b^*$), onde L^* indica a luminosidade da amostra variando de 0 (escuro) a 100 (claro), a^* indica cromaticidade tendendo do verde (-) ao vermelho (+) e b^* indica a cromaticidade que varia do azul (-) ao amarelo (+). O ângulo Hue é o valor em graus correspondente ao diagrama tridimensional de cores, onde: 0° (vermelho), 90° (amarelo), 180° (verde) e 270° (azul), este valor será determinado conforme a Equação 11 (SRINVASA et al., 2004).

$$\text{Hue} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (11)$$

4.4.2 Atividade Antioxidante

Para a determinação da atividade antioxidante foram obtidos os extratos brutos. A extração dos componentes antioxidantes foi realizada através de imersão das amostras em solvente álcool etílico por 48 h. Posteriormente, os extratos foram filtrados através de filtro comum e concentrados em evaporador rotativo a vácuo a 40 °C. O produto concentrado foi seco em estufa e armazenado a 4 °C até a sua utilização. Para obter a concentração de extrato de 10 mg/mL, os extratos foram ressuspensos em álcool etílico.

Obtido o extrato, procedeu-se com a análise de DPPH. Esta metodologia é baseada na medida da extinção da absorção do radical 2,2-difenil-1-picril hidrazil (DPPH) em 515 nm (MIRANDA e FRAGA, 2006) A determinação da atividade antioxidante foi realizada em triplicata, por método espectrofotométrico. A técnica constituiu a incubação por 30 minutos, de 500µL de uma solução etanólica de DPPH 0,1 mM com 500µL de soluções contendo concentrações crescentes de extratos em etanol. A solução controle foi obtida substituindo-se 500µL da amostra por 500µL de etanol. A determinação da absorbância foi realizada em espectrofotômetro UV-Visível marca Pro análise, modelo UV- 1600 em comprimento de onda de 515 nm. A concentração de extrato de casca de banana verde necessária para capturar 50% do radical livre DPPH (IC₅₀) foi calculada por análise de regressão linear (CARBONARI, 2005; NEGRI et al., 2009).

A atividade de captura de radicais pelos extratos foi obtida pela Equação 12.

$$AA\% = 100 - \{[(Abs.amostra - Abs.branco) \times 100] \div Abs.controle\} \quad (12)$$

4.4.3 Composição centesimal

4.4.3.1 Umidade

A umidade foi medida com o auxílio de uma balança de Infravermelho ID 200 MARCONI, utilizando uma temperatura de 105°C pelo tempo necessário para atingir peso constante.

4.4.3.2 Fibra bruta

A quantidade de fibra bruta presente na casca de banana verde desidratada foi obtida segundo metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2005).

4.4.3.3 Proteína bruta

O nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldahl (AOAC, 1995). O método de Kjeldahl baseia-se na determinação do nitrogênio total. A concentração de proteína foi calculada a partir do teor de nitrogênio total, usando o fator de conversão geral 6,25.

4.4.3.4 Lipídios

O extrato etéreo da farinha de banana foi determinado segundo o método de Soxlet, utilizando éter de petróleo como solvente orgânico (AOAC, 1995).

4.4.3.5 Cinzas

O resíduo mineral fixo (cinzas) foi determinado por incineração do material em mufla regulada a 550 °C até peso constante, segundo método da AOAC (1995).

4.4.3.6 Carboidratos

O método utilizado foi o cálculo por diferença conforme Equação 13.

$$FG = 100 - (U + EE + PB + FB + C) \quad (13)$$

4.4.4 Minerais

Os teores de minerais (Mg, Fe, Ca, Na e K,) da casca da banana verde desidratada foram determinados através de espectrofotometria de absorção atômica com lâmpada de cátodo oco monoelementar correspondente ao metal analisado.

4.5 Análise estatística

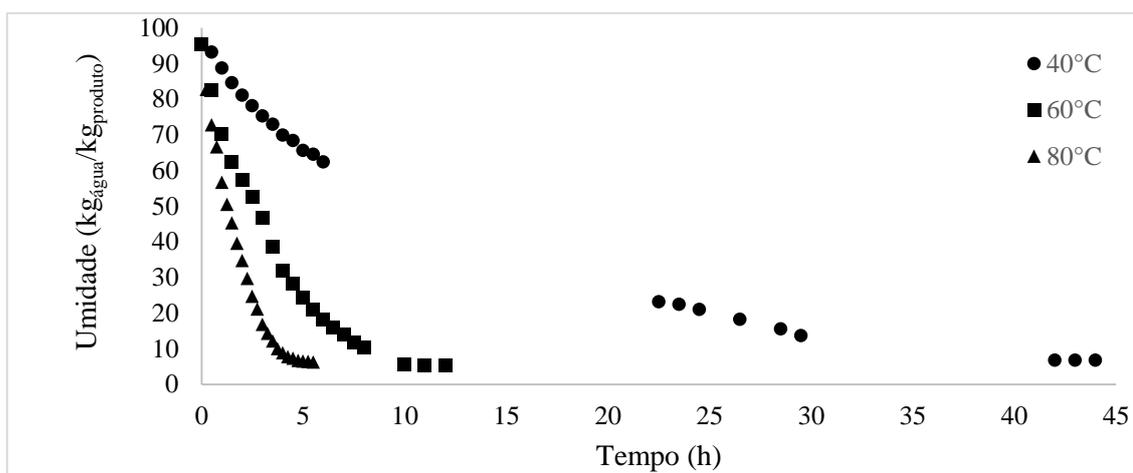
Os experimentos foram realizados em triplicata e os resultados apresentados como gráficos foram obtidos com o programa Excel. Os resultados das análises foram submetidos a ANOVA seguida de teste de Tukey (95% de confiança) para comparação das médias usando o programa IBM SPSS Statistics 21.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estudo da secagem

A Figura 3 apresenta as curvas de secagem da casca da banana verde obtidas nas temperaturas de 40, 60 e 80°C.

Figura 3: Curvas da secagem da casca da banana verde nas temperaturas de 40, 60 e 80°C.



É possível observar na Figura 3 que o tempo de secagem é inversamente proporcional a temperatura utilizada para secagem. A casca da banana verde seca a 80°C atingiu a umidade de equilíbrio após 5,5 h de operação, na temperatura de 60°C o tempo necessário para alcançar a umidade de equilíbrio foi de 12 h, enquanto que no experimento utilizando 40°C foram necessárias 44 h.

A tabela 6 apresenta as umidades de equilíbrio (X_E) encontradas nos experimentos de secagem realizados.

Tabela 6: Umidades de equilíbrio (X_E) para as secagens realizadas nas temperaturas de 40, 60 e 80°C.

	40°C	60°C	80°C
X_E (b.u)	6,8±0,1	5,3±0,3	6,3±0,2

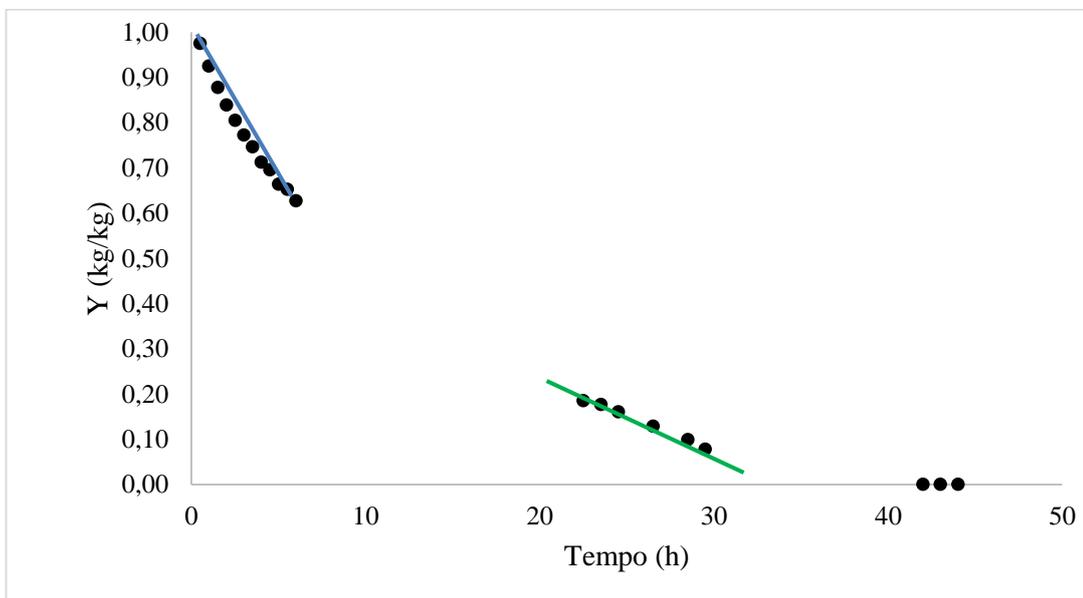
Segundo a RDC 263 da Anvisa (BRASIL, 2005), a umidade máxima aceitável para farinhas é de 15%, com isso é possível afirmar que a operação de secagem nas temperaturas

estudadas é eficiente para a produção de farinha. Ainda é possível verificar que para uma produção em escala industrial, em que o consumo de energia e o tempo de operação é um ponto extremamente relevante, o tempo de secagem poderia ser reduzido, pois não é necessário atingir a umidade de equilíbrio.

5.1.2 Caracterização dos períodos da secagem em camada delgada

A Figura 4 apresenta o adimensional de umidade em função do tempo de secagem nas temperaturas de 40°C.

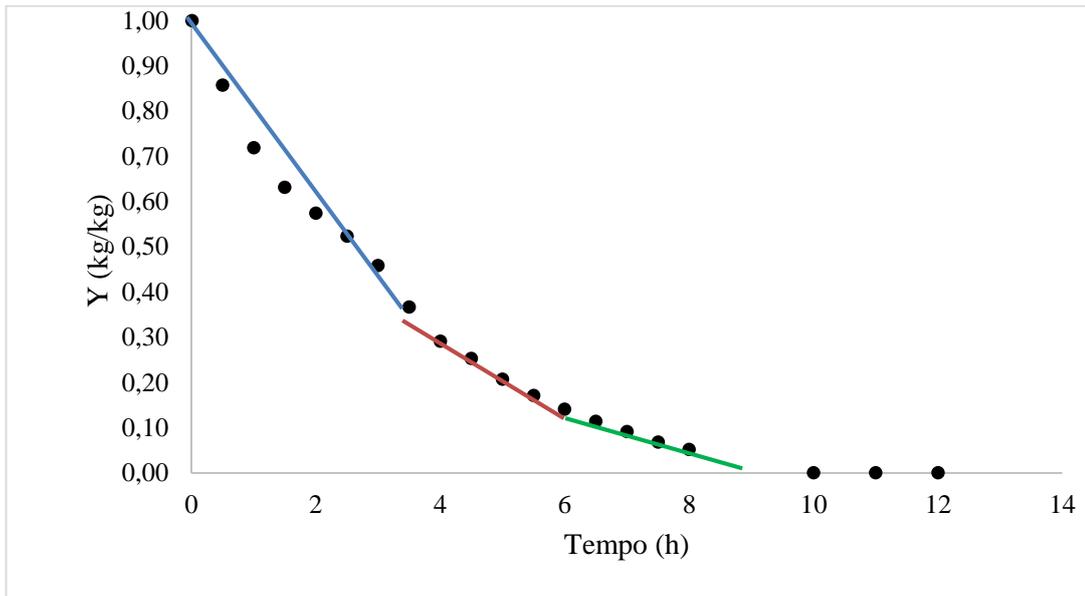
Figura 4: Adimensional de umidade em função do tempo de secagem a 40°C.



Devido a falta de pontos na curva de secagem em temperatura de 40°C, é possível perceber a presença de apenas dois períodos de secagem um período de taxa constante (linha azul do gráfico) e um período de taxa decrescente (linha verde do gráfico), sendo que, provavelmente o segundo período de taxa decrescente está escondido entre os pontos que não foram coletados.

A Figura 5 apresenta o adimensional de umidade em função do tempo de secagem na temperatura de 60°C.

Figura 5: Adimensional de umidade em função do tempo de secagem a 60°C.

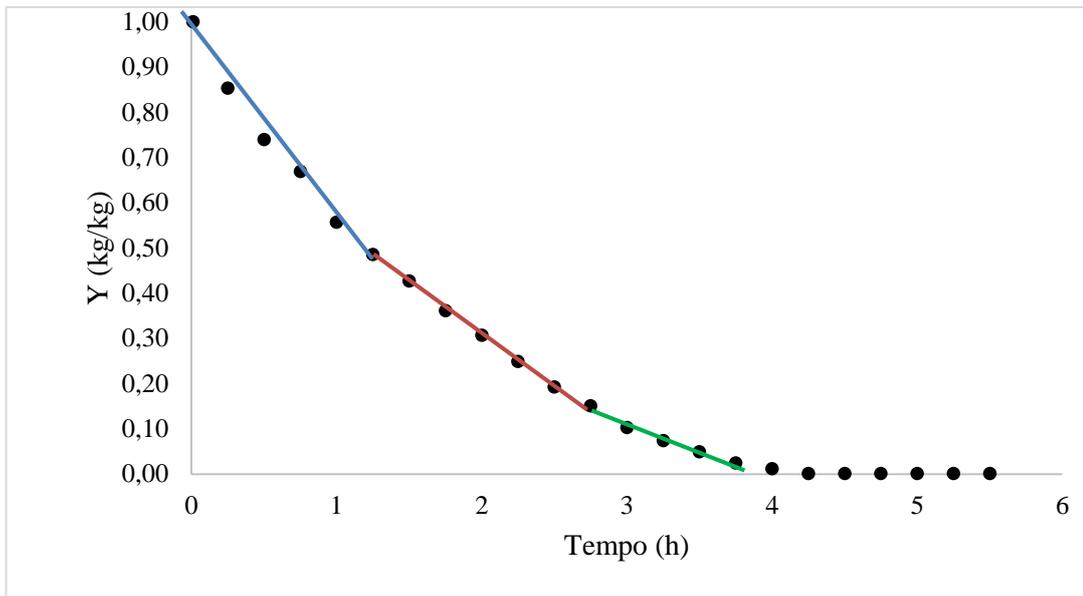


Na curva de secagem em temperatura de 60°C, apresentada na Figura 5, é possível perceber três períodos de secagem bem definidos: período de taxa constante (linha azul do gráfico), primeiro período de taxa decrescente (linha vermelha do gráfico) e segundo período de taxa decrescente (linha verde do gráfico).

No período de taxa constante é possível observar um abaulamento nos pontos experimentais, esse comportamento está presente nas curvas das três temperaturas de secagem e pode ser explicado pelo processo de branqueamento realizado anteriormente a secagem. Este processo, por se tratar de imersão do produto em água quente, faz com que o material absorva certa quantidade de água que não faz parte de sua estrutura, essa água possivelmente terá mais facilidade de ser retirada do material fazendo com que nos primeiros pontos de secagem haja uma perda de água maior que a esperada no comportamento padrão.

A Figura 6 apresenta o adimensional de umidade em função do tempo de secagem na temperatura de 80°C.

Figura 6: Adimensional de umidade em função do tempo de secagem a 80°C.



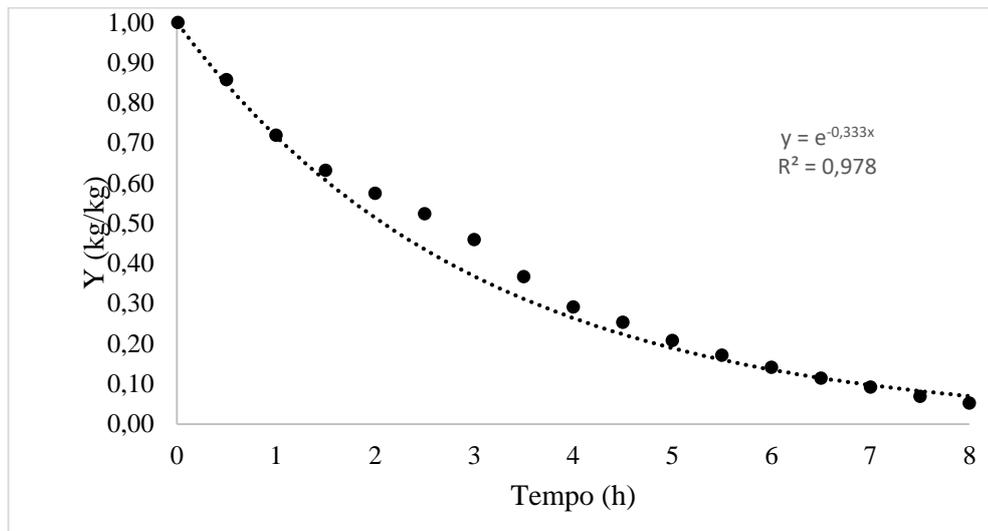
Na curva de secagem em temperatura de 80°C, apresentada na Figura 6, também é possível evidenciar três períodos de secagem bem definidos: período de taxa constante (linha azul do gráfico), primeiro período de taxa decrescente (linha vermelha do gráfico) e segundo período de taxa decrescente (linha verde do gráfico).

5.1.3 Ajuste de modelos e cálculo da constante de secagem (K)

O ajuste dos modelos empíricos foi realizado apenas para os dados experimentais que utilizaram as temperaturas de 60 e 80°C. Os dados na temperatura de 40°C são insuficientes para realização do ajuste.

A Figura 7 apresenta o ajuste do modelo de Lewis aos dados experimentais da secagem a 60°C.

Figura 7: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 60°C e linha de tendência gerada pelo modelo de Lewis.

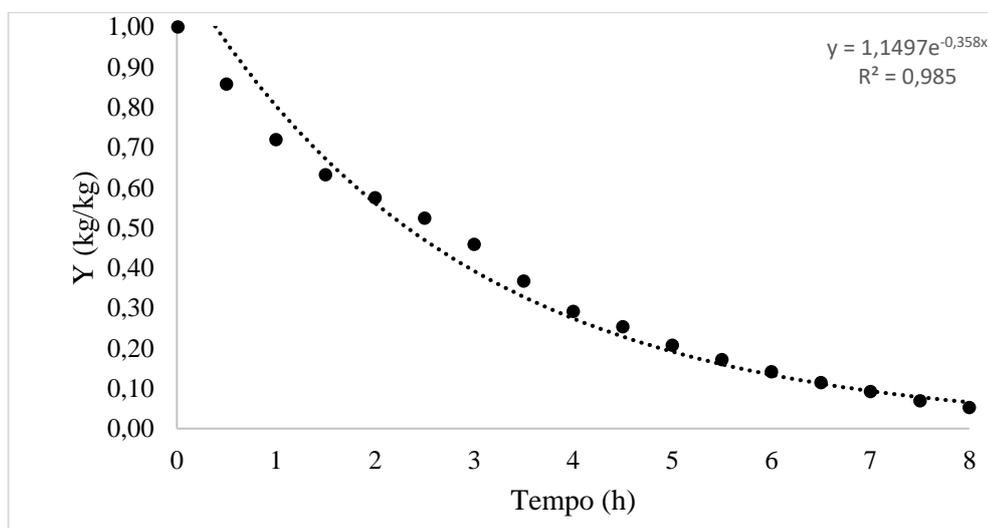


A linha de tendência gerada pelo modelo de Lewis corresponde a Equação 14. O ajuste do modelo aos dados experimentais apresentou um R^2 de 0,978, o que significa um bom ajuste do modelo de Lewis à curva de secagem obtida na temperatura de 60°C.

$$Y = e^{-0,333t} \quad (14)$$

A Figura 8 apresenta o ajuste do modelo de Henderson e Pabis aos dados experimentais da secagem a 60°C.

Figura 8: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 60°C e ajuste dos dados ao modelo de Henderson e Pabis.

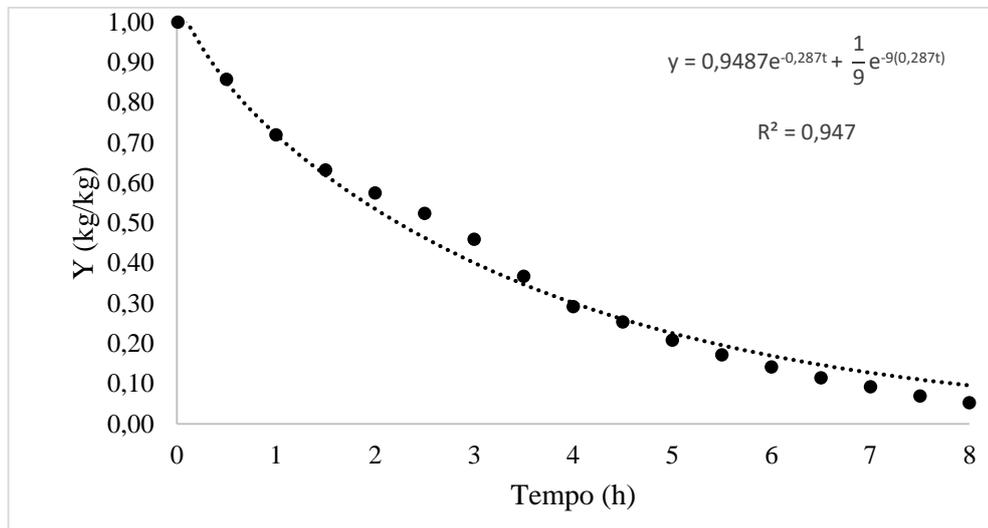


A linha de tendência gerada pelo modelo de Henderson e Pabis corresponde a Equação 15. O ajuste do modelo aos dados experimentais apresentou um R^2 de 0,985, mostrando que o modelo de Henderson e Pabis também se ajustou bem a curva de secagem obtida na temperatura de 60°C.

$$Y=1,1497e^{-0,358t} \quad (15)$$

A Figura 9 apresenta o ajuste do modelo de Henderson e Henderson aos dados experimentais da secagem a 60°C.

Figura 9: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 60°C e ajuste dos dados ao modelo de Henderson e Henderson.

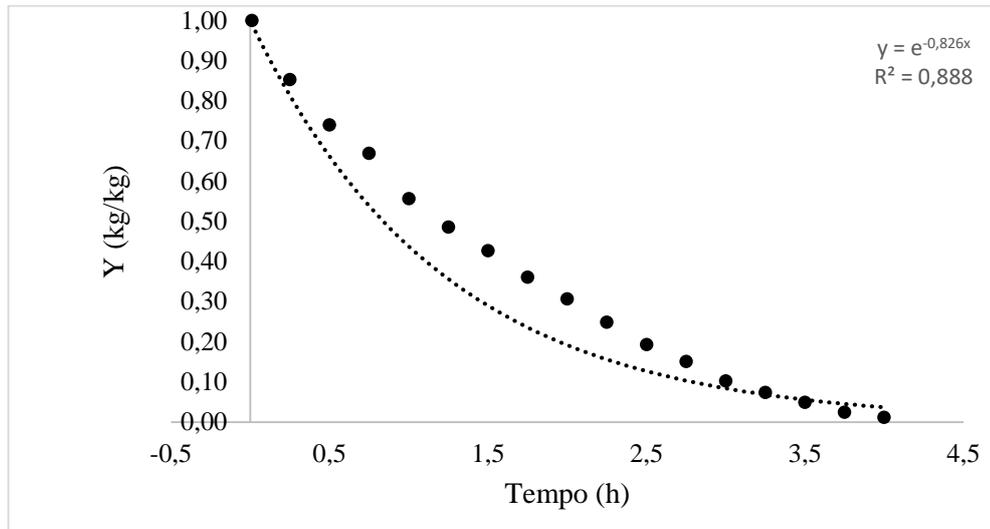


A linha de tendência gerada pelo modelo de Henderson e Henderson corresponde a Equação 16. O ajuste do modelo aos dados experimentais apresentou um R^2 de 0,947, mostrando que o modelo de Henderson e Pabis também se ajustou bem a curva de secagem obtida na temperatura de 60°C.

$$Y=0,9487e^{-0,287t} + \frac{1}{9}e^{-9(0,287t)} \quad (16)$$

A Figura 10 apresenta o ajuste do modelo de Lewis aos dados experimentais da secagem a 80°C

Figura 10: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 80°C e ajuste dos dados ao modelo de Lewis.

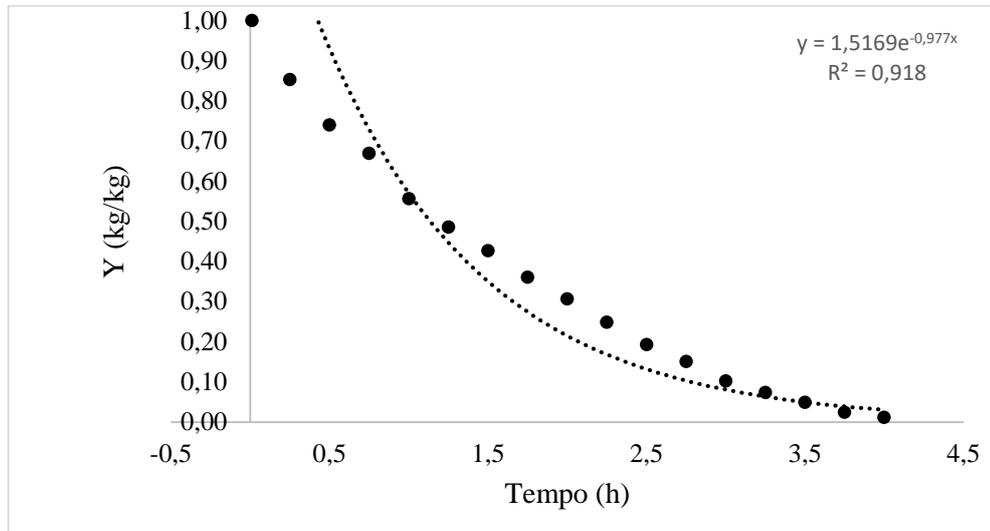


A linha de tendência gerada pelo modelo de Lewis corresponde a Equação 17. O ajuste do modelo aos dados experimentais apresentou um R^2 de 0,888, o que significa que o modelo de Lewis não apresentou ajuste tão bom a curva de secagem obtida na temperatura de 80°C, diferente do que aconteceu para os dados na temperatura de 60°C.

$$Y = e^{-0,826t} \quad (17)$$

A Figura 11 apresenta o ajuste do modelo de Henderson e Pabis aos dados experimentais da secagem a 80°C.

Figura 11: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 80°C e ajuste dos dados ao modelo de Henderson e Pabis.

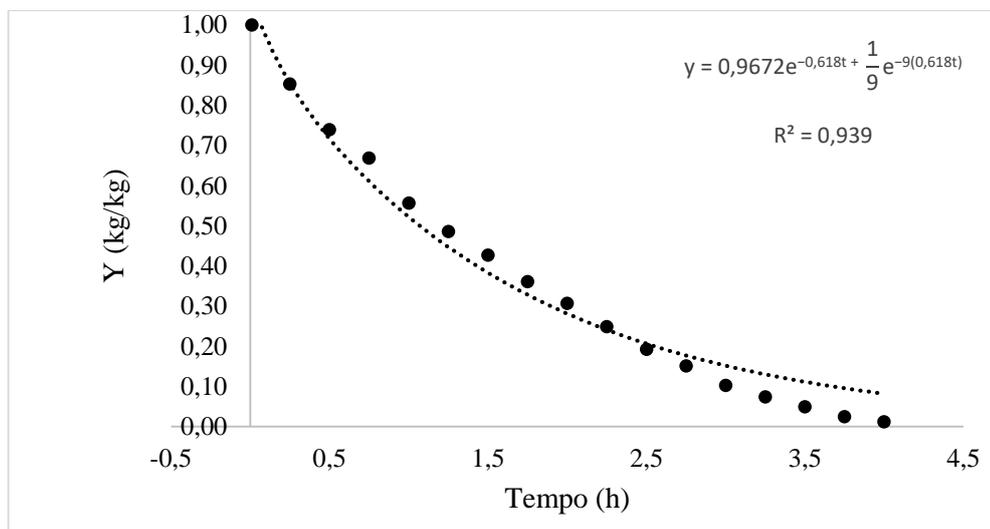


A linha de tendência gerada pelo modelo de Henderson e Pabis corresponde a Equação 18. O ajuste do modelo aos dados experimentais apresentou um R^2 de 0,918, o que significa que o modelo de Henderson e Pabis se ajustou melhor aos dados da curva de secagem obtida na temperatura de 80°C do que o modelo de Lewis.

$$Y = 1,5169e^{-0,977t} \quad (18)$$

A Figura 12 apresenta o ajuste do modelo de Henderson e Henderson aos dados experimentais da secagem a 80°C.

Figura 12: Relação do adimensional de umidade (Y) com o tempo de secagem na temperatura de 60°C e ajuste dos dados ao modelo de Henderson e Henderson.



A linha de tendência gerada pelo modelo de Henderson e Henderson corresponde a Equação 19. O ajuste do modelo aos dados experimentais apresentou um R² de 0,939, o que significa que o modelo de Henderson e Henderson foi o modelo testado que mais se ajustou a curva de secagem obtida na temperatura de 80°C.

$$Y=0,9672e^{-0,618t} + \frac{1}{9}e^{-9(0,618t)} \quad (19)$$

A Tabela 7 apresenta os valores da constante da secagem (K) calculadas através dos três modelos testados, os respectivos coeficientes de determinação (R²) das equações, e os valores de Difusividade efetiva (D_{ef}) calculados a partir da constante de secagem para cada temperatura e modelo.

Tabela 7: Constante de secagem (K), coeficiente de determinação (R²) e difusividade efetiva para as secagens a 60 e 80°C nos três modelos testados.

T	Modelo	K	R ²	D _{ef}
60°C	Lewis	0,333	0,975	5,40x10 ⁻⁹
	Henderson e Pabis	0,365	0,985	5,92x10 ⁻⁹
	Henderson e Henderson	0,287	0,947	4,66x10 ⁻⁹
80°C	Lewis	0,826	0,876	1,34x10 ⁻⁸
	Henderson e Pabis	1,018	0,910	1,65x10 ⁻⁸
	Henderson e Henderson	0,618	0,939	1,00x10 ⁻⁸

Na Tabela 7 inicialmente observou-se os valores dos coeficientes de determinação gerados por cada modelo, sendo que para a temperatura de 60°C o modelo que apresentou melhor ajuste foi o de Henderson e Pabis e na temperatura de 80°C, o que se melhor ajustou foi o modelo de Henderson e Henderson.

Observando os valores de constante de secagem (K), evidencia-se que os maiores valores foram encontrados para a maior temperatura utilizada. Menges e Ertekin (2006), obtiveram o mesmo comportamento na secagem de maçã, assim como Silva et al. (2009) durante a secagem de banana com espessura de 5 mm.

Os valores de difusividade efetiva, seguindo o mesmo comportamento da constante de secagem, aumentaram com o aumento da temperatura e encontram-se dentro da faixa dos valores de Def para alimentos que estão entre 10^{-11} a 10^{-8} m²/s (ZOGZAS et al., 1996).

O aumento do valor da difusividade efetiva de umidade com o aumento da temperatura de secagem, também foi observado por Sharma e Prasad (2004) e Sacilik e Unal (2005) na secagem de alho, por Sacilik e Elicin (2006), Kaya et al. (2007) e Wang et al. (2007) na secagem de maçã e por Silva et al. (2009) durante a secagem de banana.

5.1.4 Fluxo de calor e gasto energético

A Tabela 8 apresenta os valores de condutividade térmica (k), fluxo de calor (q) e a energia necessária para a realização do experimento de secagem.

Tabela 8: Condutividade térmica (k) e fluxo de calor (q) na casca da banana verde *in natura*, em um ponto intermediário da secagem e ao final da secagem em diferentes temperaturas.

		40°C	60°C	80°C
k (W/m.°C)	<i>In natura</i>	0,5	0,5	0,5
	Intermediário	0,2	0,35	0,3
	Final da secagem	0,2	0,3	0,3
q (W)	<i>In natura</i>	11,25	18,75	26,25
	Intermediário	4,50	9,84	15,75
	Final da secagem	4,50	6,00	15,75
	Média	6,75	11,53	19,25
Energia necessária (kJ)		1020,6	456,6375	346,5

Os valores de condutividade térmica da casca da banana verde, apresentados na Tabela 8, durante a secagem nas três temperaturas estudadas foram reduzidos quando comparadas com o valor obtido na casca da banana verde *in natura*. Esse comportamento é esperado pois a medida que reduz o percentual de água do produto diminui também a condutividade do mesmo, pois a capacidade de conduzir calor (condutividade térmica) está diretamente relacionada com a composição do produto. Além disso, Park et al. (1997), mostraram a mesma relação ao estudar amostras de milho triturado.

Quanto ao fluxo de calor, o mesmo comportamento da condutividade térmica é evidenciado, e isso pode ser explicado pela Primeira Lei de Fourier em que o fluxo de calor está em função da condutividade térmica. Também pode-se avaliar o fluxo de calor em relação a temperatura de secagem, os valores obtidos estão em acordo com o esperado, ou seja, quanto maior a temperatura maior será a fluxo de calor (potência) do processo.

Através do fluxo de calor médio em cada temperatura de secagem, foi possível estimar o consumo de energia necessário para executar a operação de secagem em cada uma das temperaturas estudadas. A energia necessária foi obtida pela multiplicação do fluxo de calor necessário (W) e o tempo de cada operação (s). Com esta avaliação foi possível verificar que a operação a 80°C, mesmo apresentando o maior fluxo de calor é a que se torna mais eficiente energeticamente, devido ao curto tempo necessário para atingir a umidade de equilíbrio.

5.2 Atividade antioxidante

A Tabela 9 apresenta os valores de IC₅₀ para a atividade antioxidante da casca de banana verde *in natura* e desidratada.

Tabela 9: IC₅₀ da atividade antioxidante da casca da banana verde *in natura* e desidratada nas temperaturas de 40, 60 e 80°C.

	IC ₅₀ *
<i>In natura</i>	5,38 ^a ±0,20
Secagem 40°C	5,14 ^a ±1,07
Secagem 60°C	0,80 ^b ±0,28
Secagem 80°C	1,05 ^b ±0,28

*Valor médio ± erro médio. Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa (p<0,05).

IC₅₀ pode ser definido como os moles de compostos fenólicos dividido por moles de DPPH necessárias para diminuir em 50% a absorbância de DPPH. Segundo Roby (2013), quanto mais baixa for a IC₅₀, maior é o poder antioxidante da amostra. Nesse sentido podemos observar na Tabela 9 que a amostra *in natura* da casca da banana verde foi a que apresentou o maior valor para IC₅₀, ou seja, menor poder antioxidante. As amostras de 60°C e 80°C não apresentaram diferença significativa entre si e apresentaram valores significativamente menores que as amostras *in natura* e desidratada a 40°C; assim as amostras desidratadas nas duas maiores

temperaturas estudadas apresentaram maior poder antioxidante. Esse resultado mostra que a temperatura pode ser um aliado no aumento da extração de compostos, desmistificando a ideia de que vegetais processados oferecem menor qualidade nutricional. Miglio (2008), mostrou que os processos térmicos de ebulição, vapor e fritura resultaram em aumento da atividade antioxidante no brócolis em relação ao produto *in natura*. Quanto ao resultado obtido para amostra desidratada a 40°C, acredita-se que o longo período de exposição à temperatura de operação fez com que amostra sofresse oxidação, não demonstrando a ação benéfica da temperatura.

5.3 Parâmetros de cor

Os parâmetros de cor da parte externa da casca de banana verde nos experimentos de secagem nas temperaturas de 40, 60 e 80°C estão demonstrados na Tabela 10.

Tabela 10: Parâmetros de cor, Luminosidade (L), Cromaticidade (a* e b*) e Ângulo de Hue da parte externa da casca da banana verde *in natura*, após branqueamento e ao final das secagens em temperaturas de 40, 60 e 80°C.

Parâmetro	Amostra	40°C	60°C	80°C
L	<i>In natura</i>	55,78 ^{aA} ± 3,72	56,64 ^{aA} ± 1,39	56,32 ^{aA} ± 5,10
	Branqueada	43,73 ^{bB} ± 3,31	43,96 ^{bB} ± 1,29	52,42 ^{aA} ± 3,60
	Desidratada	32,42 ^{aC} ± 2,16	30,09 ^{aC} ± 0,77	33,3 ^{aB} ± 1,20
a*	<i>In natura</i>	-17,12 ^{bC} ± 0,50	-10,83 ^{aB} ± 1,33	-15,10 ^{bC} ± 1,14
	Branqueada	-4,20 ^{aB} ± 0,89	-2,13 ^{aA} ± 1,29	-7,96 ^{bB} ± 1,89
	Desidratada	-1,19 ^{aA} ± 0,38	-1,09 ^{aA} ± 0,45	-0,56 ^{aA} ± 0,61
b*	<i>In natura</i>	31,62 ^{aA} ± 0,89	34,08 ^{aA} ± 1,79	28,61 ^{aA} ± 5,66
	Branqueada	15,98 ^{bB} ± 2,59	15,98 ^{bB} ± 5,64	26,01 ^{aA} ± 2,82
	Desidratada	-0,82 ^{bC} ± 1,05	-1,34 ^{bC} ± 0,50	3,71 ^{aB} ± 0,81
Hue	<i>In natura</i>	117,82 ^{aB} ± 1,37	107,58 ^{bB} ± 1,20	117,53 ^{aA} ± 4,54
	Branqueada	105,03 ^{aC} ± 1,14	100,52 ^{aB} ± 5,25	105,84 ^{aB} ± 4,14
	Desidratada	227,95 ^{bA} ± 10,26	233,71 ^{bA} ± 4,97	93,21 ^{aC} ± 11,20

Valor médio ± erro médio. Letras minúsculas diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa (p<0,05). Letras Maiúsculas diferentes na mesma coluna para cada parâmetro (L, a, b* e Hue) apresentam diferença significativa (p<0,05).

Sabendo que para parâmetro Luminosidade, quanto mais perto do 100 for o resultado mais claro é o produto avaliado, é possível perceber um escurecimento das amostras desidratadas em relação a *in natura* para as três temperaturas estudadas, pois estas apresentam diferença significativa na coluna e não apresentam diferença significativa nas linhas.

O valor de cromaticidade a^* varia entre as cores verde (-) e vermelho (+), sendo que os valores negativos apresentam tonalidade verde a qual se acentua com decréscimo dos números. Assim é possível observar que todas as amostras analisadas apresentam tonalidade mais próxima do verde que do vermelho, conforme esperado. Também é possível observar uma redução da tonalidade verde quando comparada a amostra desidratada com a amostra *in natura*, o que evidencia o efeito da operação de secagem no produto.

A cromaticidade b^* varia entre as cores azul (-) e amarelo (+), sendo que os valores positivos apresentam tonalidade amarela a qual se acentua com o aumento dos números. Portanto é possível observar que praticamente todas amostras analisadas apresentaram certa tonalidade amarela, com exceção das amostras secas nas temperaturas de 40 e 60°C, as quais apresentam valores positivos e não diferem significativamente entre si, porém diferem da amostra desidratada a 80°C. A amostra desidrata a 80°C apresentou valor de b^* dentro do quadrante amarelo assim como as amostras *in natura*, o que evidencia menor degradação da cor nesta temperatura. Essa constatação provavelmente está relacionada com o menor tempo de operação em relação aos demais experimentos em temperaturas inferiores.

O ângulo Hue é o valor em graus correspondente ao diagrama tridimensional de cores, em que 0° é vermelho, 90° é amarelo, 180° é verde e 270° é azul. Os valores de Hue obtidos para praticamente todas as amostras apresentam-se entre os ângulos de 90 e 180°, ou seja, entre as cores amarelo e verde. Apenas as amostras desidratadas a 40 e 60°C, apresentaram valores que ficam entre as cores verde e azul. A amostra desidratada em temperatura de 80°C apresentou diferença significativa em relação as amostras *in natura* e branqueadas, porém ainda se apresenta dentro do limite de cores esperado para a casca de banana verde desidratada, confirmando que a temperatura de 80°C degradou menos o produto.

Os parâmetros de cor da parte interna da casca da banana nos experimentos de secagem nas temperaturas de 40, 60 e 80°C estão demonstrados na Tabela 11.

Tabela 11: Parâmetros de cor, Luminosidade (L), Cromaticidade (a* e b*) e Ângulo de Hue da parte interna da casca da banana verde *in natura*, após branqueamento e ao final das secagens em temperaturas de 40, 60 e 80°C.

Parâmetro	Amostra	40°C	60°C	80°C
L	<i>In natura</i>	74,11 ^{aA} ±3,62	78,06 ^{aA} ±2,36	79,95 ^{aA} ±2,51
	Branqueada	59,86 ^{cB} ±0,26	62,04 ^{bB} ±0,98	67,14 ^{aB} ±0,79
	Desidratada	33,21 ^{bC} ±0,96	33,41 ^{bC} ±1,10	38,19 ^{aC} ±1,27
a*	<i>In natura</i>	-4,18 ^{bB} ±0,93	-3,01 ^{abB} ±0,22	-2,53 ^{aB} ±0,38
	Branqueada	-4,48 ^{aB} ±0,95	-5,20 ^{aC} ±0,16	-5,73 ^{aC} ±1,04
	Desidratada	-0,43 ^{aA} ±0,29	-0,37 ^{aA} ±0,28	-0,69 ^{aA} ±0,51
b*	<i>In natura</i>	18,14 ^{aA} ±0,55	16,73 ^{aA} ±1,89	17,08 ^{aA} ±1,42
	Branqueada	12,04 ^{bB} ±1,29	16,27 ^{baA} ±2,32	17,30 ^{aA} ±1,37
	Desidratada	-0,34 ^{bC} ±0,96	2,75 ^{bB} ±0,45	9,37 ^{aB} ±3,97
Hue	<i>In natura</i>	102,14 ^{aC} ±2,41	100,41 ^{aB} ±0,41	98,44 ^{aB} ±1,86
	Branqueada	109,45 ^{aB} ±2,67	106,90 ^{aA} ±3,04	108,72 ^{aA} ±3,57
	Desidratada	216,47 ^{aA} ±64,70	99,75 ^{bBA} ±5,71	95,15 ^{bB} ±1,93

Valor médio ± erro médio. Letras minúsculas diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa (p<0,05). Letras Maiúsculas diferentes na mesma coluna para cada parâmetro (L, a, b* e Hue) apresentam diferença significativa (p<0,05).

O parâmetro Luminosidade para a parte interna da casca da banana verde demonstrou um escurecimento das amostras desidratadas em relação as amostras *in natura*, mesmo comportamento observado para a parte externa das amostras.

A cromaticidade a* para a parte interna da casca de banana verde também apresentou comportamento similar ao obtido para a parte externa do produto. Todos os valores apresentam-se negativos, ou seja, dentro do quadrante de tonalidade verde do diagrama tridimensional de cores. As amostras desidratadas não apresentaram diferença significativa em relação as amostras branqueadas, demonstrando que a secagem apresenta menor ação de degradação da cor na parte interna do produto, tendo em vista que na parte externa foi evidenciado diferença significativa das amostras desidratadas em relação as branqueadas e *in natura*.

Para a cromaticidade b* foi evidenciado redução da tonalidade amarela comparando as amostras desidratadas com as amostras branqueadas e *in natura*, mostrando a ação da secagem

sobre a coloração da parte interna da amostra. No entanto, também foi evidenciado diferença significativa da amostra desidrata a 80°C em relação as demais temperaturas, evidenciando novamente que a operação na temperatura de 80°C foi a que degradou menos a coloração da amostra.

Da mesma forma que para a parte externa das amostras os valores de ângulo de Hue apresentam-se entre os ângulos de 90° e 180°, ou seja, entre as cores amarelo e verde; exceto a amostra desidratada a 40°C que apresentou valor que fica entre as cores verde e azul, evidenciando que a operação de secagem a esta temperatura é que mais degrada a coloração da amostra.

5.4 Composição centesimal

Tendo em vista que a operação de secagem a 80°C apresentou melhor eficiência energética; que o produto desta operação está entre os dois com maior atividade antioxidante, junto com o produto obtido na temperatura de 60°C, e que a temperatura de 80°C foi a que menos degradou a coloração do produto desidratado; foi escolhido o produto obtido com esta temperatura de secagem para realizar a caracterização da casca de banana verde desidratada. A caracterização foi feita quanto a composição centesimal e quando ao conteúdo de minerais.

A Tabela 12 apresenta a composição centesimal obtida para a casca de banana verde desidratadas em temperatura de 80°C.

Tabela 12: Composição centesimal (g.100g⁻¹) da casca de banana verde desidratada em temperatura de 80°C.

Componente	Quantidade (b.u.)	Quantidade (b.s.)
Umidade (g.100g ⁻¹)	6,31±0,22	-
Proteínas (g.100g ⁻¹)	4,40±0,0	4,70±0,0
Fibras (g.100g ⁻¹)	9,48±0,32	10,12±0,34
Lipídios (g.100g ⁻¹)	2,52±0,47	2,69±0,51
Cinzas (g.100g ⁻¹)	9,01±0,01	9,62±0,01
Carboidratos (g.100g ⁻¹)	68,28±1,45	72,87±1,54

Na composição centesimal da casca da banana verde o nutriente que se destaca é o carboidrato devido ao alto teor encontrado, no entanto, é importante levar em consideração que

grande parte desta fração glicídica apresenta comportamento de fibras, é o chamado amido resistente. Ormenese (2010), ao avaliar a composição centesimal da polpa de três variedades da banana verde, evidenciou que 81% do carboidrato presente na polpa desta fruta é amido resistente. De acordo com Lunn e Buttriss (2007), a Organização de Pesquisa Científica e Industrial da Austrália (SCIRO) recomenda uma ingestão de aproximadamente 20 g de Amido Resistente por dia, quantidade 4 vezes superior à normalmente fornecida por uma dieta ocidental típica.

Segundo Dokkum (2008), o Amido Resistente pode melhorar a resposta glicêmica e insulinêmica e, portanto, tem efeito importante no controle da síndrome metabólica, a qual está diretamente relacionado com os perfis clínicos dos maiores problemas de saúde de hoje: obesidade, doenças cardiovasculares e diabetes. Ainda, um dos potenciais efeitos benéficos do Amido Resistente se refere à liberação retardada da glicose como combustível, com a subsequente utilização de lipídios, e ao controle do apetite (TAPCELL, 2004).

Quanto aos demais nutrientes, apresentaram-se dentro do esperado, fazendo um comparativo com os dados de polpa da banana verde apresentados por Borges et al. (2009): teor de proteína é igual (4,73 mg.100 g⁻¹), o teor de lipídios é superior (0,70 mg.100 g⁻¹), o teor de fibras é superior (1,17 mg.100 g⁻¹) e o teor de cinzas é superior (10,12 mg.100 g⁻¹). Quanto ao teor de lipídios, em dados da banana madura também foi apresentado maior valor para a casca (Gondim et al.,2005).

A Tabela 13 apresenta o conteúdo de minerais obtido para a casca de banana verde desidratada em temperatura de 80°C.

Tabela 13: Conteúdo de minerais (mg.100 g⁻¹) na casca da banana verde desidratada em temperatura de 80°C.

Minerais	Conteúdo (mg.100 g ⁻¹)
Ca	55,19±11,58
Mg	293,53±31,07
Fe	21,33±0,84
Na	229,81±0,61
K	8859,84±388,48

Em relação ao conteúdo de minerais o valor que mais chama atenção na Tabela 13 é também o que causa mais interesse quando pensamos em banana, o potássio. Através da análise foi obtido um valor cerca de 7 vezes mais alto que o valor encontrado por Borges et al. (2009) na polpa da banana verde (1180 mg.100 g⁻¹). Em relação a casca da banana madura analisada por Gondim et al. (2005), o valor obtido neste trabalho para casca da banana verde foi cerca de 3 vezes maior, considerando ambos em base seca. Quanto ao teor de cálcio, o valor obtido se assemelha o da casca da banana madura (66,71 mg.100 g⁻¹ em base seca); os conteúdos de Magnésio (29,96 mg.100 g⁻¹), Ferro (1,26 mg.100 g⁻¹) e Sódio (54,27 mg.100 g⁻¹), foram maiores que os obtidos para a casca da banana madura. O Ferro comparado com a polpa da banana verde, apresentou valor similar, evidenciando que a banana verde de forma geral apresenta mais Ferro que a banana madura.

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste trabalho foi possível fazer as seguintes conclusões:

Os experimentos de secagem mostraram-se eficientes para a secagem de casca de banana verde, sendo que os produtos obtidos apresentaram percentual de umidade de 6,8, 5,3 e 6,3% para as temperaturas de 40, 60 e 80°C respectivamente.

A secagem em camada delgada da casca de banana verde em estufa de circulação de ar apresentou três períodos bem definidos: um período de taxa constante e dois períodos de taxa decrescente.

Os modelos empíricos que apresentaram melhor ajuste aos dados experimentais foram Henderson e Pabis para a temperatura de 60°C e Henderson e Henderson para a temperatura de 80°C, com coeficiente de determinação de 0,985 e 0,939, respectivamente.

A constante da secagem (K) e a difusividade efetiva (D_{ef}) apresentaram-se maiores nas temperaturas mais elevadas como esperado. Os valores de D_{ef} ficaram dentro da faixa prevista para alimentos (10^{-11} a 10^{-8} m²/s).

O parâmetro termofísico, condutividade térmica, apresentou redução com a perda de água do material. O fluxo de calor durante a operação de secagem é maior para a maior temperatura empregada, no entanto a menor temperatura consome maior energia para concluir o processo devido ao tempo necessário. Assim, a secagem a 80°C se mostrou mais eficiente do ponto de vista energético.

Quanto a propriedade antioxidante, a temperatura foi uma aliada e o maior poder antioxidante foi evidenciado nas amostras desidratadas nas temperaturas de 60 e 80°C.

Em relação a cor o experimento que degradou menos o produto foi a operação de secagem em temperatura de 80°C.

Com base nas conclusões de eficiência energética, propriedade antioxidante e cor do produto, foi possível destacar a operação de secagem em temperatura de 80°C como a melhor entre as três estudadas.

A caracterização em relação a composição centesimal e conteúdo de minerais do produto desidratado a 80°C, evidenciou-se que a casca apresenta elevado teor de carboidrato e que provavelmente uma quantidade significativa deste carboidrato é amido resistente. O teor de proteína na casca é igual ao teor da polpa da banana verde. Os resultados de lipídios, fibras e cinzas para a casca da banana verde são superiores aos dados da polpa. Quanto aos minerais

K apresentou maior destaque, apresentando, na banana verde, conteúdo cerca de 7 vezes maior que na polpa da banana verde e cerca de 3 vezes maior que na casca da banana madura.

7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar o comportamento e a qualidade do produto da secagem da casca da banana verde em uma temperatura mais elevada.
- Realizar novos experimentos de secagem coletando outras informações como temperatura interna do material a ser desidratado, temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido no interior da estufa.
- Analisar o teor de amido resistente presente na casca da banana verde.
- Produzir farinha com a casca da banana verde desidratada e avaliar características como capacidade de retenção de água.
- Aplicar a farinha da casca da banana verde em um produto, analisar as diferenças geradas na composição nutricional do produto e analisar sensorialmente o produto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARNEJAD, A.; AZADBAKHT, M.; ASGHARI, A. Determination of thermal properties of the Cavendish banana peel as a function of temperature and moisture. **Agricultural Engineering International**, v. 17. n. 4. p. 369-378, 2015.

AKPINAR, E.; MIDILLI, V.; BICER, Y. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 1, p. 99-104, 2003.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. 14. ed. v. 1. 1995.

ATOUI, A. K.; MANSOURI, A.; BOSKOU, G.; KEFALAS, P. Tea and herbal infusions: their antioxidant activity and phenolic profile. **Food Chemistry**, v. 89. n. 1. p. 27-36, 2005.

BANGA, J.; BALSACANTO, E.; MOLES, C.; ALONSO, A. Improving food processing using modern optimization methods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 14. n. 4. p. 131-144, 2003.

BARROZO, M. A. S.; SARTORI, D. J. M.; FREIRE, J. T. Transferência de calor e massa em leite desluzante e escoamento cruzados. Secagem de sementes de soja. In: **Tópicos especiais em sistemas particulados**. São Carlos: ed. UFSCar. 1998 p. 119-159.

BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; LUCENA, E. M. P. Caracterização da farinha de banana verde. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 29. n. 2 p. 333-339. 2009

BRASIL Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 262, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1, p. 368-369.

CARBONARI, K. A. **Avaliação do Potencial Antioxidante (*In vitro* e *In vivo*) e Antiinflamatório de *Ouratea parviflora*, *Polymnia Sonchifoliae* *Marlierea obscura***. Florianópolis, 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal de Santa Catarina.

CARVALHO, K. H.; BOZATSKI, L. C.; SCORSIN, M.; NOVELLO, D.; PEREZ, E.; DALLA SANTA, H. S.; SCORSIN, G.; BATISTA, M. G. Desenvolvimento de cupcake adicionado de farinha da casca de banana: características sensoriais e químicas. **Alimentos e Nutrição**. v. 23. n. 3. p. 475-481, 2012.

CHIRIFE, J. **Fundamentals of the Drying Mechanism During Air Dehydration of Foods**. In: MUJUNDAR, A. *Advances in drying*. Washington/ New York/ London: Hemisphere Publishing Corporation, 1983. 73-102. p.

CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F. Manejo pós-colheita e amadurecimento comercial de banana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 19. n. 6. p. 761-771, 1984.

CRANK, J. **The Mathematics of diffusion**. Great Britain, 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975, 414 p.

DOKKUM, W. V. Propriedades funcionais de fibras alimentares, amido resistente e oligossacarídeos não digeríveis. In: COSTA, N.M.B.; ROSA, C.O.B. **Alimentos funcionais: Benefícios para a saúde**. Viçosa: Rubio Editora, 2008. 560 p.

EMBRAPA, Agência da informação. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 12 de nov. 2017.

FIGUEROA, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: Editora UFPB, 2004. 229 p.

FORTES, M.; OKOS, M. R. Drying theories: Their bases and limitations as applied to food and grain. In: FORTES, M.; OKOS, M. R. **Advances in Drying**. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1980. 119-154. p.

GANESAPILLAI, M.; REGUPATHI, I.; MURUGESAN, T. Thanapalan. Modelling of thin layer drying of banana (Nendran spp.) under microwave, convective and combined microwave-convective processes. **Chemical Product and Process Modeling**. v. 6. n. 1. p. 1-10, 2011.

GONDIM, J. A. M.; MOURA, M. F. V.; DANTAS, A. S. MEDEIROS, R. L. S.; SANTOS, K. M. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 25 n. 4. p. 825-827. 2005.

HALLIWELL, B.; AESCHBACH, R.; LÖLIGER, J.; ARUOMA, O. I. The characterization of antioxidants. **Food Chemistry Toxicology**. v. 33. n. 7. p. 601-17, 1995.

HOLMAN, J. P. **Transferência de Calor**. São Paulo: Mc Graw Hill do Brasil Ltda, 1983. 638 p.

IBGE, Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>>. Acesso em: 21 de out. de 2017

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: 2005. 1032 p.

KARAKAYA, S. Bioavailability of Phenolic Compounds. **Critical Reviews Food Science Nutrition**. v. 44. n. 6. p. 453-64. 2004.

KAYA, A.; AYDIN, O.; DEMIRTAS, C. Drying Kinetics of Red Delicious Apple. **Biosystems Engineering**. v. 96. n. 4 p. 517–524. 2007.

KAZARIAN, E. A.; HALL, C. W. Thermal properties of grain. **Transactions of the ASAE**. v. 08. n. 01. p. 33-37. 1965.

LUNN, J.; BUTRISS, J.L. Carbohydrates and dietary fiber. **Nutrition Bulletin**. v. 32. n. 1. p. 21-64, 2007.

MARSHALL, M.R.; KIM, J.; WEI, C.I. Enzymatic browning in fruits, vegetables and seafoods. Food and Agricultural Organization. v. 41. n.- p. 259-312. 2000.

MASSARO, A.; PINTO, L. A. A. Enriquecimento proteico de farelo de arroz desengordurado com sangue bovino, utilizando a técnica de leite de jorro. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. v. 61. n. 2. p. 77-84, 2002.

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.

MIGLIO, C.; CHIAVARO, E.; VISCONTI, A.; FOGLIANO, V.; PELLEGRINI, N. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.56, n. 1, p.139–147, 2008.

MIRANDA, A. L. P.; FRAGA, C. A. M. Atividade sequestradora de radical livre determinação do potencial antioxidante de substâncias bioativas. In: MONGE A.; GANELLIN, C. R. **Practical studies for medicinal chemistry**. Genebra: IUPAC, 2006. p. 1-14.

NEGRI, M.L.S.; POSSAMAI, J.C.; NAKASHIMA, T. Atividade antioxidante das folhas de espinheira-santa - *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss., secas em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**. v. 19. n. 2b. p. 553-556. 2009.

OLIVEIRA, H. V. A., FREITAS, L. A. P. The effect of processing factors on the efficiency of hard gelatin capsules coating in a spouted bed. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14. 2004. São Paulo. **Proceedings of the 14th International Drying Symposium**. São Paulo: p. 852-859, 2004.

OMOLOLA, A. O.; JIDEANI, A. I. O.; KAPILA, P. F. Modeling microwave drying kinetics and moisture diffusivity of banana (*Mabonde variety*). **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**. v. 7. n. 6. p. 107 – 113, 2014.

ORDÓÑEZ, J. A. P.; RODRIGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, 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. 294 p.

ORMENESE, R. DE C. S. C. **Obtenção de farinha de banana verde por diferentes processos de secagem e aplicação em produtos alimentícios**. 2010. 182 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

PARK, K. J., MURR, F. E. X., SALVADEGO, M. Medição da condutividade térmica de milho triturado pelo método da sonda. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 17. n. 3. p. 242-247. 1997.

PERRY, J. D.; GREEN, D. **Perry's chemical engineers' handbook**. Kansas: Mc Graw Hill, 1986. 2417. p.

PERRY, R. H.; CHILTON, G. H. **Manual de Engenharia Química**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980. 1300. p.

PORTER, H.F.; SCHURR, G.A.; WELLS, D.F; SEMRAU, T.K. Solids drying and gas-solid. In: PERRY, J. D.; GREEN, D. **Perry's chemical engineers' handbook**. Kansas: Mc Graw Hill, 1986. 2417. p.

RAMASWAMY, H.; MARCOTTE, M. **Food Processing Principles and Applications**. Boca Ratom: Taylor & Francis. 2006, 420. p.

- ROBY M. H. H., SARHAN, M. A. , SELIM K. A., KHALEL, K. I. Evaluation of antioxidant activity, total phenols and phenolic compounds in thyme (*Thymus vulgaris* L.), sage (*Salvia officinalis* L.), and marjoram (*Origanum majorana* L.) extracts. **Industrial Crops and Products**, v. 43, n. 1. p. 827– 831. 2013.
- SACILIK, K.; ELICIN, A.K. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. **Journal of Food Engineering**. v. 73. n. 3. p. 281–289. 2006.
- SACILIK, K.; UNAL, G. Dehydration characteristics of kastamonu garlic slices. **Biosystems Engineering**. v. 92. n. 2. p. 207-215. 2005.
- SHARMA, G. P.; PRASAD, S. Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. **Journal of Food Engineering**. v. 65. n. 4. p. 609–617. 2004.
- SILVA, A. S.; MELO, K. S.; ALVES, N. M. C.; GOMES, J. P. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. v. 9. n. 2. p. 107-115. 2009.
- SILVA, S. de O.; BORGES, A. L.; CALAFANGE, P. L.; PASSOS, A. R.; BOHOROUZ ALVARADO, L.; CASTRO DE BOHOROUZ, N. **Processamento de banana: pratos doces e salgados e bebidas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2001. 75 p.
- SOARES, S. E. Phenolic acids as antioxidants. **Revista de Nutrição**, v. 15. n. 1. p. 71-81, 2002.
- SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T. M.; WISBECK, E. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14. n. 4. p. 438–443, 2010.
- SRINIVASA, P. C.; RAMESH, M. N.; KUMAR, K. R.; THARANATHAN, R. N. Properties of chitosan films prepared under different drying conditions. **Journal of Food Engineering**. v. 63. n. 1. p. 79–85. 2004.
- STRUMILLO, C. Z.; KUDRA, T. Drying: Principles, Applications and Design. In: HUGHES, R. **Topics in Chemical Engineering**. UK: Gordon and Breach Science Publisher, 1986.
- TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 4. ed. Campinas: NEPA UNICAMP, 2011. 161 p.

TAPCELL, L.C. Diet and metabolic syndrome: where does resistant starch fit in? **Journal of AOAC International**. v. 87. n. 3. p. 756-760, 2004.

TOBINAGA, S.; PINTO, L. A. A. Secagem de Materiais Fibrosos: Músculos de Peixe. In: FREIRE, J.T.; SARTORI, D.M.J. **Tópicos especiais em secagem**, São Carlos: UFSCar, 1992. p. 211-251.

VALKO, M.; IZAKOVIC, M.; MAZUR, M.; RHODES, C. J.; TELSER, J. Role of oxygen radicals in DNA damage and cancer incidence. **Molecular and Cellular Biochemistry**, v. 266. n. 1. p. 37-56, 2004.

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. 1. p. 39–46. 2007.

WHITAKER, J. R.; LEE, C. Y. Recent advances in chemistry of enzymatic browning. In: WHITAKER, J. R.; LEE, C. Y. **Enzymatic Browning and Its Prevention**. Califórnia: American Chemical Society, 1995. p. 2-7.

ZANDONADI, R. P. **Massa de banana verde: uma alternativa a exclusão do glúten**. 2009. 74f. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde) – Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**. v.14. n.10. p. 2225–2253. 1996.