

GENILSON DE PAIVA

**IMPACTO DO PROCESSAMENTO SOBRE OS TEORES DE AMIDOS
RESISTENTE E LENTAMENTE DIGERÍVEL EM BANANA VERDE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Paiva, Genilson de, 1973-
P149i Impacto do processamento sobre os teores de amidos
2018 resistente e lentamente digerível em banana verde / Genilson de
Paiva. – Viçosa, MG, 2018.
xviii, 111 f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Mônica Ribeiro Pirozi.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 87-100.

1. *Musa*. 2. Farinha de banana. 3. Amido.
4. Digestibilidade. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Tecnologia de Alimentos. Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.
II. Título.

CDD 22. ed. 664.804772

GENILSON DE PAIVA


**IMPACTO DO PROCESSAMENTO SOBRE OS TEORES DE AMIDOS
RESISTENTE E LENTAMENTE DIGERÍVEL EM BANANA VERDE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 08 de junho de 2018.


Luiz Fernando Dias Ferreira


Erica Nascif Rufino Vieira


Eduardo Basílio de Oliveira
(Coorientador)


Edimar Aparecida Filomeno Fontes
(Coorientadora)


Mônica Ribeiro Pirozi
(Orientadora)

*“Se eu vi mais longe, foi por estar
sobre ombros de gigantes.”*

(ISSAC NEWTON, 1643-1727)

*À minha mãe, Geralda
e aos meus irmãos Gilberto e Gilsimar.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa - UFV, ao Departamento de Tecnologia de Alimentos – DTA, Viçosa – MG, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, *Campus* Venda Nova do Imigrante - ES, pela concessão do afastamento para capacitação e apoio institucional, em todas as etapas desta jornada.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo financiamento deste projeto de pesquisa.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER, Fazenda Experimental de Alfredo Chaves – ES, pelo fornecimento dos cachos de banana verde, para realização dos experimentos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro - RJ, pela realização dos ensaios de caracterização das farinhas de banana verde por Analisador Rápido de Viscosidade – RVA.

À minha orientadora Profa. Mônica, pelos ensinamentos, amizade e ajuda incondicional em todas as etapas deste trabalho.

Ao meus coorientadores Prof. Afonso, Prof. Eduardo e Profa. Edimar pelos aconselhamentos, pela disponibilização de seus laboratórios e todo tipo de apoio necessário para realização dos experimentos.

Aos demais professores do DTA, em especial aos Prof. Stringheta, Prof. Frederico Barros, Profa. Regina, Profa. Érica, Prof. José Antônio, Profa. Jane, Prof. Benício, Profa. Márcia e Profa. Monique, pelos ensinamentos, sugestões, palavras de incentivo e disponibilidade.

Ao Prof. José Ivo e aos colegas de pós-graduação Elder Ronchet, Juliana e Mila, pela amizade e valiosa ajuda nas análises estatísticas dos resultados.

Ao Aloisio Carnielle, Fabiano Caliman, Maíra, Fabiano Santiliano pelo respaldo institucional e aos demais colegas dos IFES, que sempre me apoiaram nas demandas mais diversas.

Ao José Aires, Alciro, Adriano e Ronaldo, do INCAPER, por terem sido tão generosos, gentis e solícitos.

Aos técnicos administrativos do DTA, pela disponibilidade, troca de experiências e amizade, em especial Juliana, Talita, José Geraldo e Helvécio.

Aos colegas do Laboratório de Pesquisa em Química de Cereais, em especial à Bruna Bernabé, Michele, Ana Paula, Oscar, Rana, Anna Letícia e Bruna Tonole.

Aos colegas da Pós-Graduação, pela amizade, boas conversas e apoio mútuo.

À minha família, de modo especial à minha mãe, Geralda, pelo apoio e pelo “porto seguro”.

Aos amigos Patrícia, Parré, Guta, Letícia, Margareth, Lorena, Viviane, Denise, Fabrício e Romilda, pelo afeto e por estarem sempre na torcida pelo meu sucesso.

Sincero e plenamente grato a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para realização de sonho.

BIOGRAFIA

GENILSON DE PAIVA, filho de Geraldo Carlos de Paiva Gê (*in memoriam*) e Geralda Maria de Moura Paiva, nasceu em Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, em 31 de maio de 1973.

Graduou-se em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa em julho de 1997. Concluiu Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal de Viçosa, em junho de 2000. Trabalhou como Engenheiro de Controle de Qualidade na Empresa Firenze, Vila Velha-ES entre 2000 e 2001. Foi consultor do Programa de Alimentos Seguros – PAS, pelo SENAC, Vitória-ES de 2002 a 2006.

Iniciou a carreira de docente em 2001, lecionando até 2010 em várias instituições de ensino superior do ES (UCL, Novo Milênio, UNESC, UVV, FAESA e CEFET/IFES). Além de pós-graduação em Gestão de Alimentos e Alimentação Coletiva na EMESCAN, Vitória-ES e Cultura Gastronômica e Degustação na UVV, Vila Velha -ES.

A partir de setembro de 2010 ingressou no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFES, Campus Venda Nova do Imigrante - ES como professor de ensino básico, técnico e tecnológico - EBTT.

Em agosto de 2013 iniciou curso de Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | x |
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE TABELAS | xiv |
| RESUMO | xv |
| ABSTRAT | xvii |
| 1. INTRODUÇÃO | 01 |
| 1.1. Objetivos | 03 |
| 1.1.1. Objetivo geral | 03 |
| 1.1.2. Objetivos específicos | 03 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 04 |
| 2.1. Amido: química, morfologia e nutrição | 04 |
| 2.2. Amido de banana verde | 11 |
| 2.3. Análises de amido | 14 |
| 2.3.1. Amido total | 14 |
| 2.3.2. Amido resistente | 16 |
| 2.4. Aspectos gerais e aproveitamento industrial da banana | 20 |
| 2.5. Farinha de banana verde | 23 |
| 2.5.1. Processamento | 24 |
| 2.5.2. Propriedades | 27 |
| 2.5.3. Aplicações | 29 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 32 |
| 3.1. Local do experimento | 32 |
| 3.2. Matéria-prima | 34 |
| 3.2.1. Colheita e estocagem | 34 |
| 3.2.2. Caracterização da matéria-prima | 34 |
| 3.3. Efeito de ciclos de autoclavagem/refrigeração sobre a digestibilidade do amido | 35 |
| 3.4. Efeito da temperatura de secagem sobre a digestibilidade do amido ... | 35 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.1. Modelagem da cinética de secagem | 36 |
| 3.5. Processamento de farinha de banana verde | 39 |
| 3.6. Análises de amido | 42 |
| 3.6.1. Amido total | 42 |
| 3.6.2. Digestibilidade de amido <i>in vitro</i> | 43 |
| 3.6.3. Amido resistente tipo 2 (AR2) | 44 |
| 3.7. Propriedades da farinha de banana verde | 45 |
| 3.7.1. Análises físicas | 45 |
| 3.7.1.1. Granulometria | 45 |
| 3.7.1.2. Cor instrumental | 45 |
| 3.7.2. Análises químicas e físico-químicas | 46 |
| 3.7.2.1. Composição química | 46 |
| 3.7.2.2. Potencial hidrogeniônico | 46 |
| 3.7.2.3. Acidez total titulável | 47 |
| 3.7.2.4. Atividade de água | 47 |
| 3.7.2.5. Minerais | 47 |
| 3.7.2.6. Compostos fenólicos | 47 |
| 3.7.2.7. Capacidade antioxidante <i>in vitro</i> | 48 |
| 3.7.3. Propriedades de pasta | 48 |
| 3.8. Delineamentos Experimentais | 50 |
| 3.8.1. Efeito de ciclos de autoclavagem/refrigeração sobre a digestibilidade do amido | 50 |
| 3.8.2. Efeito da temperatura de secagem sobre a digestibilidade do amido | 50 |
| 3.8.3. Caracterização das farinhas de banana verde | 51 |
| 3.9. Análises estatísticas | 51 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 53 |
| 4.1. Efeito de ciclos de tratamento térmico/estocagem sobre a digestibilidade do amido | 53 |
| 4.2. Efeito da temperatura de secagem sobre a digestibilidade de amido .. | 56 |
| 4.2.1. Modelagem da cinética de secagem | 59 |
| 4.2.2. Digestibilidade do amido | 66 |
| 4.2.3. Cor instrumental | 69 |

| | |
|--|------------|
| 4.3. Produção e caracterização das farinhas | 70 |
| 4.3.1. Rendimento | 70 |
| 4.3.2. Propriedades físicas | 71 |
| 4.3.2.1. Granulometria | 71 |
| 4.3.2.2. Cor instrumental | 73 |
| 4.3.3. Composição química e físico-química | 74 |
| 4.3.4. Compostos fenólicos e capacidade antioxidante | 77 |
| 4.3.5. Digestibilidade do amido <i>in vitro</i> | 78 |
| 4.3.6. Propriedades de pasta | 80 |
| 4.3.7. Análise por componentes principais | 83 |
| 5. CONCLUSÕES | 85 |
| 6. REFERÊNCIAS | 87 |
| APENDICE A – Análise de amido total | 101 |
| APENDICE B – Análise de digestibilidade <i>in vitro</i> de amido | 103 |
| B1 – Preparo de amostra | 103 |
| B2 - Determinação de ARD e ALD | 103 |
| APENDICE C – Coeficientes dos modelos ajustados aos dados experimentais da secagem de banana verde | 106 |
| C1 – Banana verde com casca | 106 |
| C2 - Banana verde com casca, modificada por autoclavagem / refrigeração | 107 |
| C3 - Banana verde sem casca | 108 |
| C4 - Banana verde sem casca, modificada por autoclavagem / refrigeração | 109 |
| APÊNDICE D - Estatísticas dos dados experimentais de secagem de banana verde a diferentes temperaturas, ajustados aos modelos matemáticos | 110 |
| D1 – Banana verde com casca | 110 |
| D2 - Banana verde sem casca | 110 |
| D3 - Banana verde com casca, modificada por autoclavagem / refrigeração | 111 |
| D4 - Banana verde sem casca, modificada por autoclavagem / refrigeração | 111 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACC - *American Association of Cereal Chemists*

AD – amido disponível

AGCC – ácidos graxos de cadeia curta

ALD – amido lentamente digerível

AOAC - *Association of Official Analytical Chemist*

AR – amido resistente

AR1 – amido resistente tipo 1

AR2 – amido resistente tipo 2

AR3 – amido resistente tipo 3

AR4 – amido resistente tipo 4

AR5 – amido resistente tipo 5

ARD – amido rapidamente digerível

b. s. – expresso em base seca

b. u. – expresso em base úmida

CC – banana com casca

CCM – banana com casca modificada

CG – carga glicêmica

FAT - fibra alimentar total

FBV – farinha de banana verde

FBVI – farinha de banana verde integral

FBVIM - farinha de banana verde integral modificada

FPBV – farinha de polpa de banana verde

FPBVM - farinha de polpa de banana verde modificada

GOPOD - glicose oxidase-peroxidase

IG – índice glicêmico

RQMR – raiz do quadrado médio do resíduo

RU – razão de umidade

RVU – unidades do rápido viscoamilografo

SC – banana sem casca

SCM – banana sem casca modificada

U_e – umidade de equilíbrio

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | Estrutura molecular da amilose | 04 |
| Figura 2 | Estrutura molecular da amilopectina | 05 |
| Figura 3 | Representação esquemática do amido resistente tipo 3 (AR3) em modelo de micelas (A) e lamelas (B) | 09 |
| Figura 4 | Microscopia eletrônica de varredura de amido de farinha de banana verde | 11 |
| Figura 5 | Representação esquemática do processamento de produtos derivados de bananas | 23 |
| Figura 6 | Representação esquemática das etapas da pesquisa experimental | 33 |
| Figura 7 | Esquema do processamento de farinha de banana verde | 40 |
| Figura 8 | Esquema geral do balanço de massa do processamento de farinha de banana verde | 41 |
| Figura 9 | Curva de viscosidade típica do Analisador Rápido de Viscosidade | 49 |
| Figura 10 | Digestibilidade do amido da polpa da banana verde submetida a ciclos de autoclavagem/refrigeração | 54 |
| Figura 11 | Umidade (U) e amido total (AT) da polpa da banana verde submetida a ciclos de autoclavagem/refrigeração | 54 |
| Figura 12 | Tempo de secagem de banana em secador de camada delgada entre 50 °C e 71 °C, a 1,5 m·s ⁻¹ | 57 |
| Figura 13 | Variação da umidade de equilíbrio (U _e) para banana verde em função da temperatura de secagem | 58 |
| Figura 14 | Curvas de secagem de banana verde com casca (CC) entre 50 °C e 71 °C, com o modelo de Page ajustado aos dados experimentais | 60 |
| Figura 15 | Curvas de secagem de banana verde sem casca (SC) entre 50 °C e 71 °C, com o modelo de Page ajustado aos dados experimentais | 60 |
| Figura 16 | Curvas de secagem de banana verde com casca, modificada por autoclavagem/refrigeração (CCM), entre 50 °C e 71 °C, com o modelo de Page ajustado aos dados experimentais | 61 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 17 | Curvas de secagem de banana verde sem casca, modificada por autoclavagem/refrigeração (SCM), entre 50 °C e 71 °C, com o modelo de Page ajustado aos dados experimentais | 61 |
| Figura 18 | Linearização das curvas de secagem de banana verde com casca (CC) | 62 |
| Figura 19 | Linearização das curvas de secagem de banana sem casca (SC) | 63 |
| Figura 20 | Linearização das curvas de secagem de banana verde com casca, modificada por autoclavagem/refrigeração (CCM) | 63 |
| Figura 21 | Linearização das curvas de secagem de banana verde sem casca, modificada por autoclavagem/refrigeração (SCM) | 64 |
| Figura 22 | Efeito da temperatura [$1/T(K)$] na difusividade efetiva [$\ln(D_{ef})$] de banana verde | 64 |
| Figura 23 | Efeito da temperatura de secagem (50 °C a 71 °C) sobre a digestibilidade <i>in vitro</i> de amido de banana verde | 66 |
| Figura 24 | Variações do percentual de amido rapidamente digerível (ARD) em função da temperatura de secagem da banana verde | 68 |
| Figura 25 | Valores médios (n = 12) para o percentual de amido granular (AR2) de banana verde seca em secador de camada delgada | 68 |
| Figura 26 | Valores médios (n = 12) para luminosidade (A) e índice de escurecimento (IE) (B) de banana verde seca em secador de camada delgada | 69 |
| Figura 27 | Distribuição granulométrica de farinhas de bananas verdes | 72 |
| Figura 28 | Análise da cor instrumental de farinhas de bananas verdes | 73 |
| Figura 29 | Compostos fenólicos totais (A) e capacidade antioxidante (CAT) por ABTS (B) em farinhas de bananas verdes | 77 |
| Figura 30 | Perfil das curvas de viscosidade do RVA para farinhas de bananas verdes | 80 |
| Figura 31 | Propriedades de pastas de farinhas de bananas verdes | 81 |
| Figura 32 | Análise por componentes principais da digestibilidade <i>in vitro</i> do amido em farinhas de bananas verdes | 83 |
| Figura 33 | Análise por componentes principais das propriedades de cor, de digestibilidade <i>in vitro</i> do amido, de pasta e da composição | |

| | |
|---|----|
| química, físico-química e de minerais para caracterização das farinhas de bananas verdes | 84 |
|---|----|

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 1 | Classificação dos tipos de amido resistente (AR) | 08 |
| Tabela 2 | Conteúdo (%) de amido resistente (AR) de diferentes fontes de amido, empregando métodos padronizados | 19 |
| Tabela 3a | Pesquisas com farinha de banana verde | 25 |
| Tabela 3b | Pesquisas com farinha de banana verde | 26 |
| Tabela 4 | Modelos matemáticos utilizados para descrever os dados de secagem da banana verde | 38 |
| Tabela 5 | Características físicas e químicas da polpa da banana verde (n = 3), no estágio 1 de maturação | 53 |
| Tabela 6 | Características físicas e químicas da polpa da banana verde (n = 3), no estágio 1 de maturação | 56 |
| Tabela 7 | Valores médios (n = 12) da umidade de equilíbrio (U_e) de bananas verdes, obtidas em secador de camada delgada, entre 50 °C e 71 °C, a 1,5 m·s ⁻¹ | 58 |
| Tabela 8 | Valores de difusividade efetiva (D_{ef}) para secagem de banana verde entre 50 °C e 71 °C, a 1,5 m.s ⁻¹ | 64 |
| Tabela 9 | Digestibilidade <i>in vitro</i> do amido de banana verde submetida a secagem na faixa de 50 °C a 71 °C, a 1,5 m.s ⁻¹ | 67 |
| Tabela 10 | Rendimentos das farinhas de banana verde obtidas por diferentes métodos de processamento | 71 |
| Tabela 11 | Composição química média (n = 3) de farinhas de bananas verdes | 74 |
| Tabela 12 | Propriedades físico-químicas de farinhas de bananas verdes | 76 |
| Tabela 13 | Conteúdo de minerais, expresso em base seca, em farinha de banana verde (mg·100 g ⁻¹) | 76 |
| Tabela 14 | Digestibilidade <i>in vitro</i> do amido de farinhas de bananas verdes, expresso em percentual de base seca | 77 |

RESUMO

PAIVA, Genilson, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2018. **Impacto do processamento sobre os teores de amidos resistente e lentamente digerível em banana verde.** Orientadora: Mônica Ribeiro Pirozi. Coorientadores: Afonso Mota Ramos, Edimar Aparecida Filomeno Fontes e Eduardo Basílio de Oliveira.

A banana verde é um alimento amiláceo, rico em amido resistente (AR), que pode ser processado na forma de farinha, para emprego como ingrediente na agroindústria de alimentos. O objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades de digestibilidade *in vitro* do amido de banana verde, da cultivar BRS Vitória, subgrupo prata, na farinha de banana verde (FBV), com casca e sem casca, por método tradicional de processamento e método modificado por tratamento da banana verde com autoclavagem/refrigeração, em secador experimental de camada delgada. Avaliou-se o efeito da presença de casca, de ciclos de autoclavagem/refrigeração e da temperatura de secagem em relação às frações de amido rapidamente digerível (ARD), lentamente digerível (ALD) e resistente (AR), e sobre as propriedades físicas, químicas, físico-químicas e de pasta em quatro tipos de FBV: farinha de banana verde integral (FBVI), farinha de polpa de banana verde (FPBV), farinha de banana verde integral modificada (FBVIM) e farinha de polpa de banana verde modificada (FPBVM). A modificação consistiu de tratamento térmico em autoclave (121 °C / 30 min) e estocagem sobre refrigeração (4 °C / 24 h) das bananas verdes, previamente à secagem. Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) em relação à temperatura de secagem (50 °C, 57 °C, 64 °C e 71 °C) sobre a digestibilidade de amido. Todos os tratamentos seguiram modelo de Page para cinética de secagem a 71 °C e $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. A FBVI e FPBV não diferiram ($p > 0,05$) em relação à fração de ALD (6,61 % e 7,61 %, respectivamente) e AR (54,98 % e 58,53 %, respectivamente). O tratamento de autoclavagem/refrigeração resultou em redução do AR e aumento de ALD e ARD, em relação ao método tradicional, além de diferença ($p < 0,05$) entre FBVIM (ARD: 19,32 %; ALD: 21,23 % e AR: 23,18 %) e FPBVM (ARD: 17,04 %; ALD: 24,79 % e AR: 29,93 %). No método modificado obteve-se a conversão de amido granular (AR2) em amido retrogradado (AR3). Com a gelatinização o AR2 é reduzido, o que limita o uso de FBVI e FPBV para formulação de produtos que empregam calor e umidade, mas podem ser

usadas como suplementos, para consumo direto. Além elevados teores de AR e ALD, as farinhas estudadas apresentaram amido como componente majoritário (70 % a 74 % em b. s.), elevadas concentrações de compostos fenólicos e minerais, que indicam potencial como alimento com propriedades funcionais. Além de diferenças marcantes nas propriedades de digestibilidade do amido a FBVI e FPBV apresentaram perfil de viscosidade em analisador rápido de viscosidade (RVA) diferente da FBVIM e FPBVM. Conclui-se que FBVIM e FPBVM possui potencial para emprego na formulação de produtos alimentícios com a vantagem de maior estabilidade térmica do AR.

ABSTRAT

PAIVA, Genilson, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2018. **Impact of processing on resistant and slowly digestible starch contents in unripe banana.** Adviser: Mônica Ribeiro Pirozi. Co-advisers: Afonso Mota Ramos, Edimar Aparecida Filomeno Fontes and Eduardo Basílio de Oliveira.

Unripe banana is a starchy food, rich in starch resistant (SR), which can be processed in the form of flour, for use as an ingredient in the food industry. The objective of this study was to evaluate the digestibility of unripe banana starch of the cultivar BRS Vitoria, silver subgroup, in unripe banana flour (UBF), obtained from unripe banana with shell and without shell, by traditional method and modified method, in thin layer experimental drier. The effect of peeling, starch retrogradation and drying temperature on rapidly digestible starch (RDS), slowly digestible starch (SDS) and starch resistant (SR) fractions was evaluated on physical, chemical, physicochemical and folder properties were used in four types of UBF: whole unripe banana flour (WUBF), unripe pulp banana flour (UBPF), modified whole unripe banana flour (MWUBF) and modified unripe pulp banana flour (MUBPF). The modification consisted of autoclaving (121 ° C / 30 min) and storage on cooling (4 ° C / 24 h) of unripe bananas prior to drying. There was no significant difference ($p > 0.05$) in relation to the drying temperature (50 °C, 57 °C, 64° C and 71 °C) on starch digestibility. All treatments followed the Page model for drying kinetics at 71 °C and $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. The WUBF and UBPF did not differ ($p > 0.05$) in relation to the fraction of SDS (6.61 % and 7.61 %, respectively) and SR (54.98 % and 58.53 %, respectively). The autoclaving / cooling treatment resulted in a reduction of SR and an increase in SDS and RDS compared to the traditional method, besides a difference ($p < 0.05$) between MUBPF (RDS: 19.32 %, SDS: 21.23 % and SR: 23.18 %) and MUBF (RDS: 17.04 %, LDS: 24.79 % and AR: 29.9 3%). In the modified method the conversion of granular starch (RS2) into retrograded starch (RS3) was achieved. With gelatinization, RS2 is reduced, which limits the use of WUBF and UBPF for the formulation of products that use heat and humidity but can be used as supplements for direct consumption. In addition to high levels of RS and SDS, the flours studied presented starch as a major component (70 to 74 % in d. b.), high concentrations of phenolic compounds and minerals, indicating potential as food with functional properties. In addition to marked differences in the digestibility properties of the starch,

WUBF and UBPF presented a viscosity profile in a rapidly viscosity analyzer (RVA) different from MWUBF and MUBPF. It is concluded that MWUBF and MUBPF have potential for employment in the formulation of food products with the advantage of higher thermal stability of SR.

1. INTRODUÇÃO

É crescente o desenvolvimento de produtos com a substituição parcial ou total de farinha de trigo por farinhas que resultem em produtos com propriedades nutricionais diferenciadas. A farinha de banana verde pode ser empregada para estes fins, destinada aos consumidores que necessitam de uma dieta específica ou que buscam alimentos que auxiliam na prevenção de doenças e a garantia de uma melhor qualidade de vida.

A farinha de banana verde vem sendo estudada pelos seus efeitos benéficos para saúde, devido à sua composição química em níveis elevados de minerais, fibras e, sobretudo de amido resistente à hidrólise, que neste caso é exclusivo desta fruta no estágio verde de maturação. Isto se deve a um percentual de amido que não é digerido pelas amilases pancreáticas no intestino delgado, sendo denominado de amido resistente (AR). Este possui propriedades semelhantes às fibras solúveis, sendo fermentado total ou parcialmente pelas bactérias do cólon, com benefícios diretos para o organismo e para a microbiota intestinal. Por outro lado, a fração de amido denominada amido lentamente digerível (ALD), é completamente digerida sob a ação das enzimas digestivas; porém, liberando glicose lentamente ao longo do intestino delgado, o que resulta em redução do índice glicêmico.

Nas últimas décadas, muitas variedades híbridas de banana, algumas das quais resistentes à pragas e doenças, foram avaliadas quanto às propriedades agrônômicas, adaptação às diferentes condições de cultivo, aceitação para consumo *in natura* e recomendações para cultivo em várias regiões do país. Contudo, são escassos os estudos quanto ao processamento, como neste caso, para produção de farinha de banana verde. O emprego de banana verde para produção de farinha proporciona benefícios significativos para a sustentabilidade da bananicultura, reduzindo perdas. Uma vez que a matéria-prima pode ser aproveitada integralmente, antes de atingir o estágio de maturação para consumo *in natura*, em que se torna perecível. É possível inclusive a produção de farinha a partir da casca e com a casca, minimizando a geração de resíduo e agregando propriedades nutricionais, com aumento do teor de fibras, minerais e compostos antioxidantes.

A proporção de AR e de ALD na banana pode variar em função das cultivares e do estágio de maturação. A resistência dos grânulos de amido à digestão pode ser

reduzida durante o processamento, quando são expostos a temperaturas elevadas e, principalmente, quando empregados como ingrediente para formulação de produtos com elevada atividade de água e necessidade de tratamento térmico adicional.

Farinhas ricas em amido resistente permitem formular produtos com valor calórico reduzido e, possivelmente melhor aceitação sensorial em comparação a outros tipos de produtos integrais. Já níveis elevados de amido lentamente digerível podem reduzir o índice glicêmico dos alimentos, em comparação a outras fontes de amido, como a farinha de trigo. A banana da variedade BRS Vitória, subgrupo prata, é uma fonte promissora, ainda não explorada, para este fim.

A produção de farinha de banana verde, empregando método tradicional de secagem de frutas em secador de bandeja, apresenta-se como uma alternativa para agroindustrialização da banana, pois requer baixo investimento inicial e contribui para agregar valor à matéria-prima.

A modificação do processo tradicional de processamento de farinha de banana, verde avaliada neste estudo, consistiu no emprego de ciclos de autoclavagem/refrigeração das bananas, antes do processo de secagem. O tratamento térmico promove a gelatinização do amido, ou seja, a perda da sua estrutura granular, dispersando as cadeias de amilose e amilopectina, conseqüentemente aumentando a proporção de amido disponível (AD) ou digerível. Durante o armazenamento sob refrigeração ocorre a retrogradação das moléculas de amilose e amilopectina, ocorrendo uma reorganização destas macromoléculas em um novo arranjo, também resistente à hidrólise enzimática, porém com maior estabilidade térmica.

Nesse trabalho avaliou-se o efeito de ciclos de autoclavagem/refrigeração e da temperatura de secagem no processamento de farinha de banana verde, sobre a digestibilidade *in vitro* do amido e sobre as propriedades físicas, químicas e reológicas, visando a sua futura utilização como ingrediente para formulação de produtos alimentícios que requerem tratamento térmico durante processamento ou no preparo final.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Obter farinha de banana verde (FBV) com máximo rendimento em amido resistente e lentamente digerível, por meio de processamento tradicional e modificado.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o efeito de ciclos de autoclavagem/refrigeração, antes da secagem, sobre as frações de amido resistente e lentamente digerível, em relação ao método tradicional de processamento de banana verde;
- b) Avaliar a cinética de secagem da banana verde, com e sem casca, submetida ou não a ciclos de tratamento térmico e estocagem sob refrigeração, em secador de camada delgada, em relação às frações de amido resistente e lentamente digerível;
- c) Avaliar as alterações nas propriedades químicas, físicas, físico-químicas e de pasta das farinhas obtidas pelos diferentes tratamentos.
- d) Avaliar o potencial de emprego de banana verde, variedade BRS Vitória, subgrupo prata, com casca e sem casca, para processamento de farinha de banana verde;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Amido: química, morfologia e nutrição

O amido é uma das principais fontes de energia da nossa dieta, extraído de matérias-primas de origem vegetal, que pode ser empregado como ingrediente ou aditivo alimentar na formulação de produtos industrializados, devido às suas propriedades espessante, estabilizante, gelificante, de expansão e de retenção de água (ELIASSON, 2004; SINGH et al., 2007; TAKO et al., 2014).

É formado basicamente por dois tipos de homopolissacarídeos de D-glicose, denominados amilose (Figura 1) e amilopectina (Figura 2), em proporções de 15 % a 25 % e 85 % a 75 %, respectivamente, que representam de 98 % a 99 % de sua composição em massa seca e diferem em tamanho molecular (polimerização) e níveis de ramificação (MOORE, 2013). As conformações mais estáveis de polissacarídeos são as duplas hélices rígidas, que por sua vez associam-se em pares, estabilizados por ligações de hidrogênio e forças de *van der Waals*. A amilopectina ramificada, forma duplas hélices ordenadas com certa facilidade, embora as ramificações pareçam ocorrer em zonas amorfas (CEREDA, 2002).

Por meio de difração de raios X podem-se distinguir três tipos de padrões de grânulos denominados de tipo A, B e C (ENGLYST et al., 1992), devido à diferença no conteúdo de água e na configuração de empacotamento de suas cadeias poliméricas em duplas hélices (CEREDA, 2002)

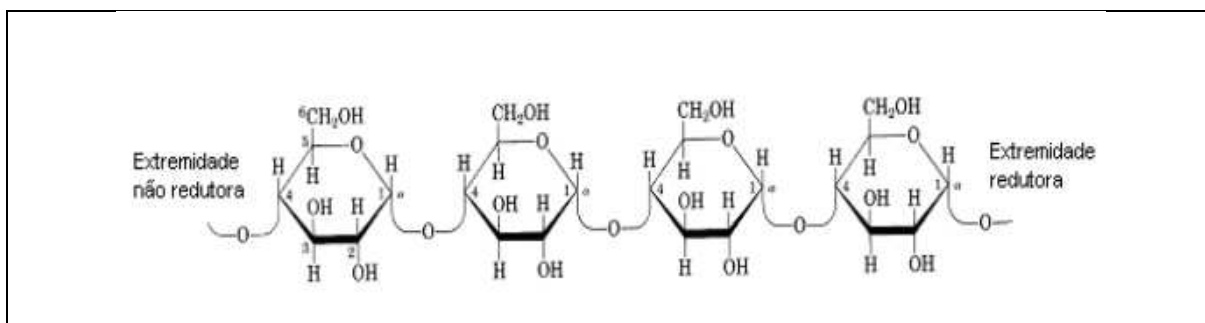


Figura 1. Estrutura molecular da amilose. Fonte: THOMAS e ATWELL, (2009)

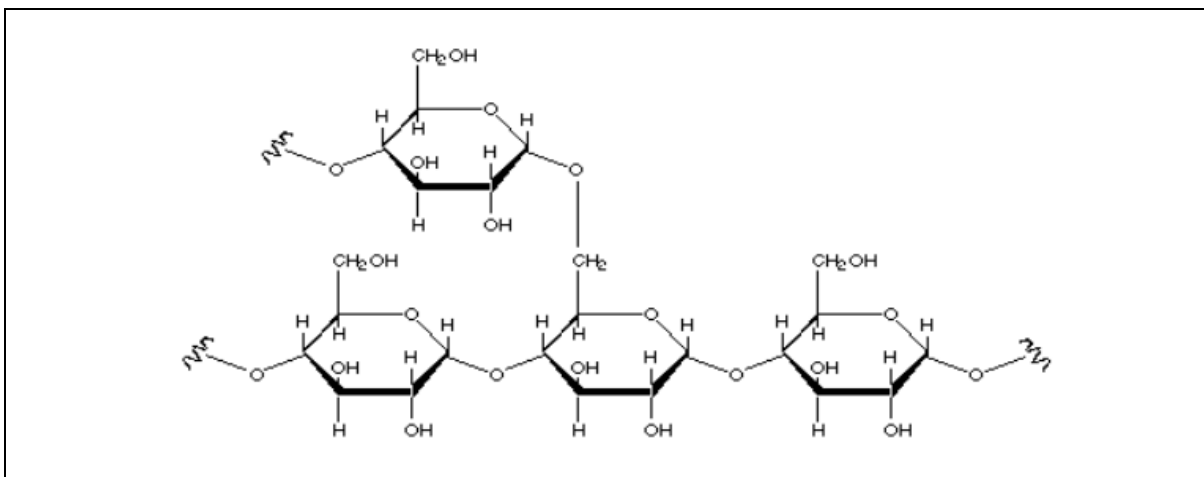


Figura 2. Estrutura molecular da amilopectina. Fonte: THOMAS e ATWELL, (2009)

O polimorfo A ocorre com frequência em amidos de cereais, enquanto polimorfo B é característico dos amidos de tubérculos, de frutas verdes, de milho com alto teor de amilose e de amidos retrogradados. O polimorfo tipo C reside essencialmente na complexação de amilose com compostos, tais como iodo, álcoois ou lipídios, e raramente é detectado como um material cristalino em amidos nativos (PARIS et al. 1999; CEREDA, 2002), com exceção de algumas leguminosas¹.

As condições necessárias para gerar conformações de cristal de tipo A e B são razoavelmente bem compreendidas. Sob condições de menor temperatura e maior umidade (como num tubérculo de batata), formam-se cristais de amido de tipo B, enquanto em condições mais quentes e mais secas (por exemplo, num grão de cereal), padrão tipo A é favorecido (BeMILLER e WHISTLER, 2009). O comprimento da cadeia ou grau de polimerização (DP²) das cadeias ramificadas da amilopectina parece ser um fator determinante para a cristalinidade. Os amidos com padrão A apresentaram comprimentos de cadeia mais curtos ($DP \leq 19,7$) do que amido do tipo B ($DP \geq 21,6$), enquanto os amidos com DP entre 20,3 e 21,3 estiveram presentes em todos os tipos de amido A, B e C. Por outro lado, cadeias muito longas parecem não afetar o polimorfismo (DENARDIN e SILVA, 2009).

¹ Certas raízes e sementes (ervilha lisa e fava) apresentam uma estrutura intermediária entre os modelos A e B, a qual é denominada de padrão C e é subclassificada em Ca, Cb e Cc, de acordo com a semelhança com os padrões A e B ou entre os dois tipos, respectivamente (ELIASSON, 2004).

² DP: “*degree of polymerization*” ou grau de polimerização.

Uma transição irreversível do amido de tipo B para o amido de tipo A pode ocorrer sob condições de baixa umidade e alta temperatura, denominado de tratamento de calor-úmido ou hidrotérmico, envolvendo o rearranjo dos pares de duplas hélices (BeMILLER e WHISTLER, 2009).

Embora o grau de resistência à hidrólise dependa da fonte, geralmente grânulos dos tipos B e C tendem a ser mais resistentes à digestão enzimática (WALTER et al., 2005). A maior suscetibilidade, dos amidos com cristalinidade do tipo A, à hidrólise ocorre devido à presença de poros superficiais que podem ser alargados pela ação das enzimas, facilitando sua ação no interior do grânulo. Ao passo que a presença de cascas protetoras (chamados blocos cristalinos) incorporadas estruturalmente ao redor dos grânulos tipo B podem reduzir o acesso das enzimas (DENARDIN e SILVA., 2008).

Durante o aquecimento em meio aquoso, comum no processamento de alimentos, ocorrem mudanças na estrutura dos grânulos de amido, envolvendo a ruptura das ligações de hidrogênio. Se o aquecimento prossegue com uma quantidade suficiente de água, rompe-se a região cristalina e a água é absorvida, o que caracteriza o processo de gelatinização (LOBO e SILVA, 2003). Amido completamente gelatinizado é denominado amido disponível (AD), pois torna-se facilmente digerível. Contudo, com o resfriamento do gel, os polímeros mais uma vez formam uma estrutura parcialmente cristalina. Esta recristalização caracteriza o fenômeno denominado de retrogradação (THOMAS e ATWELL, 1999), que por sua vez depende da formação de ligações de hidrogênio e ocorre mais rapidamente entre as cadeias lineares da amilose. A retrogradação da amilopectina é limitada pela sua estrutura ramificada e os polímeros de amilopectina retrogradada são menos firmemente ligados que os de amilose (ENGLYST et al., 1992).

As características de retrogradação da amilose e amilopectina são cineticamente diferentes. A amilose retrograda mais rápido, tendo forte tendência a se reassociar formando ligações de hidrogênio com outras moléculas de amilose adjacentes, formando estruturas cristalinas de duplas hélices quando a solução esfria e se mantém por longo período de tempo. Por outro lado, a amilopectina retrograda numa taxa muito menor durante maior período de tempo (SINGH et al., 2003).

A resistência à hidrólise pelas amilases pancreáticas afeta a digestibilidade dos alimentos ricos em amido normalmente consumidos crus, como banana, e alimentos

processados, como biscoitos, onde o amido não foi completamente gelatinizado (ENGLYST et al., 1992).

Os fatores que determinam a digestão incompleta do amido podem ser agrupados em intrínsecos ao alimento (grânulo inacessível na matriz alimentar em grãos e sementes inteiras, protegido pela parede celular, cristalinidade do grânulo, amido retrogradado, complexos entre amilose e lipídios, inibidores de amilase, presença de polissacarídeos não amiláceos) e extrínsecos ao alimento (nível de mastigação, tempo de trânsito intestinal, concentração de enzimas amilases) (ENGLYST et al., 1992).




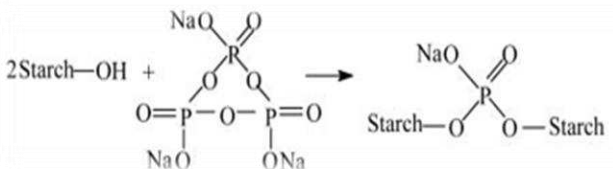
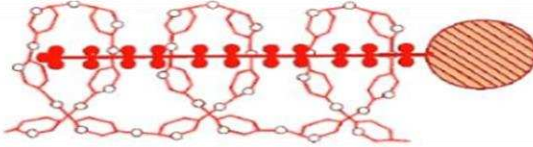
Segundo Englyst et al. (1992), o amido pode ser classificado, quanto aos aspectos nutricionais, em amido rapidamente digerível (ARD), lentamente digerível (ALD) e resistente (AR). O AR por sua vez pode ser dividido em cinco classes, em função dos fatores que determinam sua resistência à digestão (Tabela 1).

A gelatinização dos grânulos de amido culmina na perda de AR2, mas durante a retrogradação frações do amido se tornam resistente às enzimas amilolíticas, estas são denominadas de AR tipo 3 (AR3) (BELLO-PÉREZ et al., 2005).

O AR3 é normalmente formado por segmentos lineares curtos de alfa-(1-4)-glucanos dispostos em uma estrutura cristalina tipo A ou B, que é termicamente muito estável (SAJILATA et al., 2006). A tendência geral é que a recristalização em alto teor de água e/ou condições de baixa temperatura levam ao polimorfo B, enquanto baixo teor de água e/ou altas temperaturas produzem a forma A (FARHAT et al., 2001). O que é de particular interesse para a indústria de alimentos, devido à sua estabilidade térmica, garantindo a manutenção de suas propriedades nutricionais na maioria das operações empregadas para tratamento térmico, e sua utilização como ingrediente em uma variedade de alimentos (HARALAMPU, 2000).

A quantidade e a qualidade do AR3 podem ser afetadas por diferentes fatores que influenciam na formação (cristalização) dessas estruturas: concentração inicial do amido, tipo ou fonte de amido, proporção entre amilose e amilopectina, comprimento das cadeias de poliméricas, condições de estocagem após a gelatinização de amido (tempo e temperatura) e a presença de outros compostos químicos (EERLINGEN e DELCOUR, 1995; SAJILATA et al., 2006).

Tabela 1. Classificação dos tipos de amido resistente (AR).

| Classificação | Fator de Resistência | Fontes | Resistência Minimizada por |
|---------------|--------------------------------------|--|--|
| AR1 | Fisicamente protegido. | Grãos, sementes e leguminosas inteiros ou parcialmente moídos | Moagem e Mastigação |
| | |  | |
| AR2 | Grânulos não gelatinizados (tipo B). | Batata crua, banana verde, milho com alta teor de amilose e algumas leguminosas | Processamento de alimentos e cozimento |
| | |  | |
| AR3 | Amido retrogradado | Batatas cozidas e resfriadas, pães, flocos de milho, produtos com repetidas operações de cozimento via úmida | Condições de processamento |
| | |  | |
| AR4 | Amido modificado quimicamente. | Produtos industrializados em que são empregados amidos modificados (pães, bolos, etc) | Menos susceptível à digestão <i>in vitro</i> . |
| | |  | |
| AR5 | Complexo amilose:lipídio | Amidos com alto teor de amilose, mais suscetíveis a retrogradação | ----- |
| | |  | |

AR1: amido resistente tipo 1; AR2: amido resistente tipo 2; AR3: amido resistente tipo 3; AR4: amido resistente tipo 4; AR5: amido resistente tipo 5.

Fontes: ENGLYST et al., 1992; SAJILATA et al., 2006; POLESI, 2011 e MOORE, 2013.

A representação esquemática do AR3 formado em soluções aquosas de amilose pode ser descrita por um modelo de micelas ou lamelas (Figura 3).

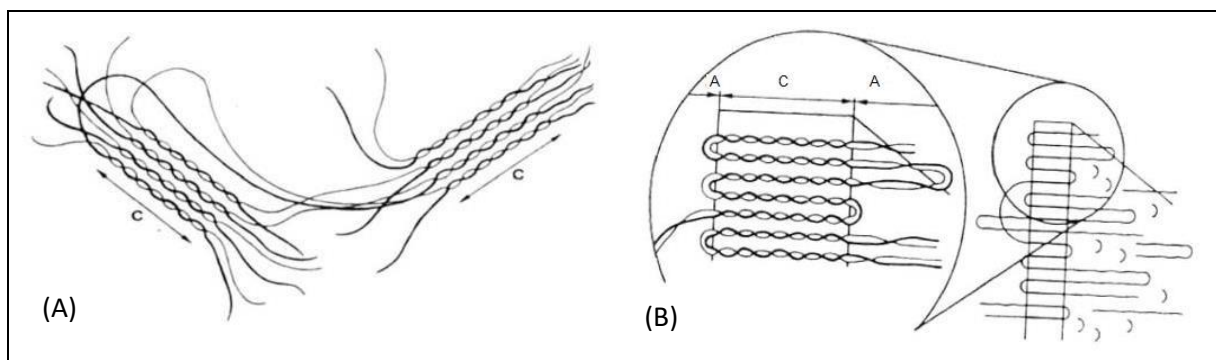


Figura 3. Representação esquemática do AR3 em modelo de micelas (A) e lamelas (B).

Fonte: SAJILATA et al., 2006.

O ALD é a fração de amido que é completamente hidrolisada no intestino delgado, porém a uma menor velocidade, com benefícios fisiológicos em comparação ao ARD, com perfil hormonal e metabólico distintos, com benefícios ligados ao controle de diabetes e à saciedade (LEHMANN et al., 2002).

Para manter as propriedades de digestão lenta de amidos nativos, a estrutura granular deve ser protegida na matriz alimentar, já que é perdida por gelatinização. O tratamento hidrotérmico pode aumentar a quantidade de ALD, dependendo da fonte botânica e das condições de tratamento. A hidrólise controlada de amido seguida por retrogradação foi aplicada para obter ALD (LEHMANN et al., 2002).

Um produto alimentar rico em ALD pode ser obtido de duas formas: seja usando um ingrediente ou matéria-prima que contém naturalmente e assegurando a manutenção destas propriedades na matriz alimentar ou pela produção de ALD durante o processamento. Contudo encontra aplicações limitadas na indústria de alimentos devido à baixa estabilidade térmica. No entanto, os componentes da matriz alimentar, tais como proteína ou fibra, podem ser utilizados para proteger as estruturas de ALD (LEHMANN et al., 2002).

As diferenças entre amido granular e retrogradado podem ser avaliadas por diferentes técnicas analíticas como a difração de raios X, a calorimetria diferencial de varredura ou DSC, a espectroscopia de infravermelho, a ressonância magnética nuclear e os testes reológicos (BELLO-PÉREZ et al., 2005).

ALD é totalmente digerido no intestino delgado, favorecendo a liberação completa e prolongada de glicose no sangue, de suma importância na prevenção de doenças como a diabetes (APARCIO-SAGUILAN et al., 2015).

O AR não é digerido ou absorvido no intestino delgado, e ao atingir o cólon, torna-se substrato para fermentação pela microbiota intestinal, resultando na produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), como o acético, propiônico e butírico. Estes ácidos possuem efeitos benéficos para a saúde humana, prevenindo câncer de cólon e doenças cardiovasculares, e também podem regular a absorção e a excreção de água e íons no epitélio intestinal (APARCIO-SAGUILAN et al., 2015).

Santos (2010), avaliou o efeito de barras de cereais com FBV (7,22 g·100 g⁻¹ de AR em b. u.³) em comparação com um controle (2,11 g·100 g⁻¹ de AR em b. u.), obtendo um menor índice glicêmico⁴ (IG) e carga glicêmica⁵ (CG) em ensaios com humanos, associado à maior produção de AGCC *in vitro*. As barras de cereais com FBV apresentaram baixo IG (em relação à glicose) (41 %) e baixa CG (4), ao passo que no controle obteve-se IG médio (60 %) e CG baixa (5).

O IG compara quantidades iguais de carboidrato e os classifica de acordo com sua qualidade, mas não considera a quantidade da porção consumida. Ao passo que a CG está associada à mensuração do impacto glicêmico sobre uma dieta ou porção. O AR contribui para a queda do IG dos alimentos, proporcionando uma menor CG, consequentemente, uma menor resposta insulínica (PEREIRA, 2007).

O AR tem sido identificado como o principal substrato para a microbiota intestinal humana e a taxa de fermentação varia de acordo com o tipo de AR. Alguns tipos, como AR2 de batata crua, podem ser totalmente consumidos em 24 h de fermentação *in vitro* com produção de altas concentrações de AGCC, enquanto outros (como AR3) podem ser mais resistentes, levando mais de 24 h para serem completamente fermentados. A fermentação *in vitro* de AR2 apresentou maior proporção de butirato em relação ao acetato e ao propionato, quando comparada com outros tipos de fibras (MENEZES et al., 2010).

³ b.u. – em base úmida.

⁴ IG – Índice glicêmico é definido como o incremento da área abaixo da curva glicêmica, produzido por uma porção de um alimento padrão, que pode ser pão branco ou glicose (FAO/WHO, 1998).

⁵ CC – Carga glicêmica = [(IG x gramas de carboidrato disponível por porção)/100], segundo LIU et al. (2000).

2.2 Amido de banana verde

A banana verde é um alimento rico em compostos não digeríveis como o amido resistente e polissacarídeos não amiláceos, como as fibras. Vários estudos têm sugerido que o consumo de banana verde tem efeitos benéficos para a saúde humana. Porém, quando os frutos amadurecem ocorrem a conversão do amido a açúcares simples, como glicose, frutose e sacarose; além disso o cozimento de certas cultivares de banana pode resultar na modificação de amido resistente a amido disponível (APARICIO-SAGUILÁN et al., 2015).

Os amidos isolados de diferentes cultivares de banana podem apresentar diferenças em relação às características morfológicas, estruturais, físico-químicas e de digestibilidade. Em geral, quando avaliados microscopicamente em diferentes estudos, disponíveis na literatura especializada, apresentaram formato irregular, com predominância de formato oval alongado e superfície lisa e irregular (Figura 4). Os padrões de difração do tipo B e do tipo C para o amido de banana têm sido relatados com frequência na maioria dos estudos (MENEZES et al., 2011; JIANG et al., 2015).

O conteúdo de amilose no amido de banana já foi reportado em diversos trabalhos, com variações numa ampla faixa, entre 9,0 % a 40 %, mas na maioria das cultivares encontra-se em torno de 30% (LEONEL et al., 2011).

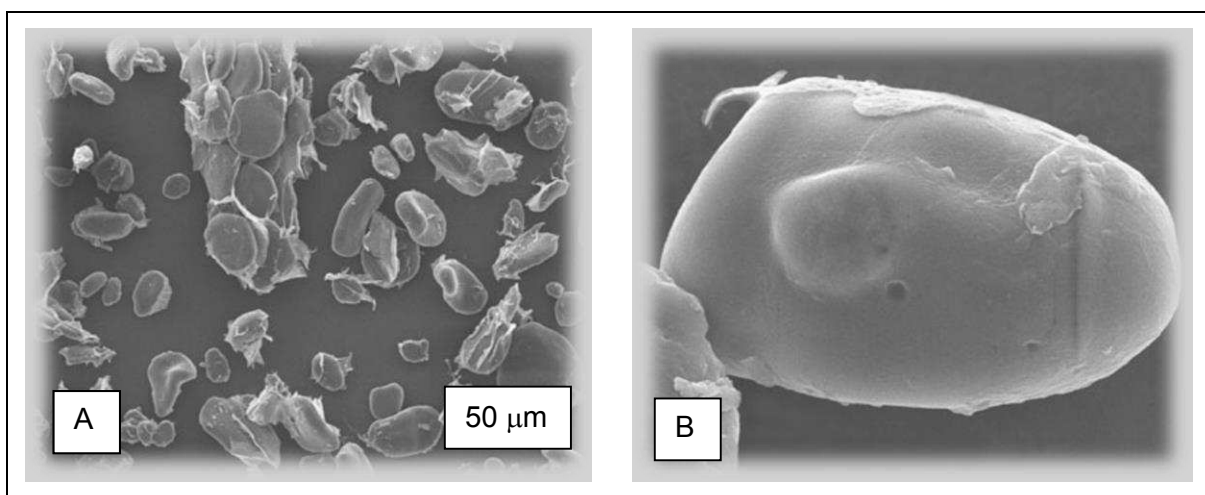


Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura de amido de farinha de banana verde. A – Grânulos de amido de banana verde com fragmentos de parede celular de amiloplastos. B – Superfície do grânulo de amido. Fonte: MENEZES et al., 2011.

A Figura 4-A mostra que os grânulos de amido na FBV estão intactos, sem fraturas, com a presença de material fibroso. A Figura 4-B mostra que a superfície dos

grânulos não é completamente lisa, indicando que, embora os frutos estivessem imaturos (verdes), a degradação do amido já havia sido iniciada por enzimas hidrolíticas (MENEZES et al., 2011). No entanto, ainda não foi estabelecida qual propriedade estrutural do grânulo de amido de banana é responsável por sua resistência ao ataque enzimático (HARALAMPU, 2000).

Segundo Jiang et al. (2015), de maneira geral e não específica do amido de banana, as características estruturais dos grânulos de amido, tais como a cristalinidade, distribuição de comprimento de cadeia e conteúdo de amilose são os principais responsáveis pela variação na susceptibilidade à degradação enzimática.

Jiang et al. (2015) mostraram por análise microscópica que os grânulos de amido de banana além do formato oval e irregular, diferem do amido de trigo por apresentar superfície lisa e de maior tamanho. Ao passo que o amido de trigo que apresentou menor resistência à digestão, possuía duas características morfológicas opostas, que podem explicar este fato, por apresentar menor tamanho (maior área superficial) e fissuras superficiais.

A fração de AR2 depende da cultivar de banana, do seu estágio de maturação e pode ser alterado em função dos métodos empregados para processamento (RAMOS et al., 2009; ORMENESE, 2010).

Ramos et al., (2009) avaliaram 13 variedades de banana, obtendo FBV (secagem a 40 °C/48 h) com AR variando de 10 % a 40 %. Ormenese (2010) indica o método de secagem em secador de bandeja (55 °C e 1,5 m·s⁻¹) para produção de FBV, pois otimiza o custo de produção e a preservação do AR (50,39 % em b.s.). Enquanto, Moongngarm (2013) empregando mesmo método de processamento (50 °C) obteve 35,14 % a 45,87 % de AR em FBV (a 8 % de umidade) entre três cultivares de banana da Tailândia. Englyst et al. (1992) obtiveram FBV (75 % de amido total) com 15 % e 57 % de ALD e AR, respectivamente. Já no amido extraído de banana verde, estudos indicam de 75 % a 84 % de AR (ENGLYST e CUMMINGS, 1986; FAISANT et al., 1995).

O ALD e AR podem ser obtidos a partir de modificações físicas do amido nativo, usando repetidos ciclos de autoclavagem/refrigeração, extrusão e modificação enzimática ou química (APARCIO-SAGUILAN et al., 2015).

Segundo Lehmann e Robin (2007) o amido extraído de banana verde pode ser modificado por meio de tratamento hidrotérmico, em que AR2 é convertido em AR3,

resultando em maiores proporções de ALD e de AR. No entanto, investigações são ainda necessárias para compreender a aplicação de matérias-primas como fontes de AR, particularmente em relação à sua estabilidade durante o processamento, quando este é empregado como ingrediente para formulação de outros produtos (MOONGNARM, 2013).

A análise da estrutura fina da amilopectina de algumas variedades de banana revelou maior proporção de cadeias longas, quando comparada com outras fontes tradicionais de amido, como trigo e batata (ESPINOSA-SOLIS et al., 2009; ZHANG e HAMAKER, 2012), conseqüentemente, resultando em maior tendência à retrogradação e à conversão de AR2 em AR3, por meio de ciclos de tratamento térmico e estocagem sob refrigeração (BELLO-PÉREZ et al., 2005; ZHANG e HAMAKER, 2012).

A elevada proporção de ramificações do tipo alfa-1,6 da amilopectina em amido de banana reflete a hipótese de que estas podem retrogradar sob resfriamento mais rapidamente que outras fontes tradicionais de amido (ZHANG e HAMAKER, 2012). Assim, algumas pesquisas mostraram ser possível obter AR3 a partir de AR2, e que depende da temperatura de processamento, concentração de amido, condições de armazenamento e presença de lipídios ou substâncias de baixo peso molecular, como açúcares (LEHMANN et al., 2002).

Lehmann et al. (2002) propôs modificações no método de processamento do amido de banana verde, por meio de desramificação enzimática da amilopectina, seguido de retrogradação por meio de autoclavagem (121 °C / 30 min) e estocagem a 4 °C ou 25 °C / 24 h, seguido de liofilização. Os produtos resultantes compreendiam conteúdos de AR de cerca de 50 % e elevada estabilidade térmica.

O tratamento hidrotérmico também resulta em aumento dos níveis de ALD, dependendo das condições de tratamento e da fonte botânica. Alguns resultados satisfatórios foram obtidos empregando hidrólise ácida e enzimática do amido, seguido de retrogradação (LEHMANN e ROBIN, 2007).

Aparicio-Saguilán et al. (2015) obtiveram rendimento satisfatório em AR a partir de amido de banana nativo (16 %) e modificado (19 %) submetidos a três ciclos de autoclavagem (121 °C / 1 h) e estocagem sob refrigeração (4 °C / 24 h). Porém, são escassas na literatura informações referentes ao emprego de ciclos de tratamento térmico/estocagem diretamente sobre a banana, para produção de FBV.

2.3 Análises de amido

2.3.1 Amido total

A solução de Lugol (iodeto de potássio + iodo metálico) muito empregada para provas qualitativas da presença de amido, em função do desenvolvimento de coloração azul, constitui o princípio analítico de alguns métodos baseado na formação de um complexo insolúvel de amido-iodo que pode ser determinado gravimetricamente (ELIASSON, 2004).

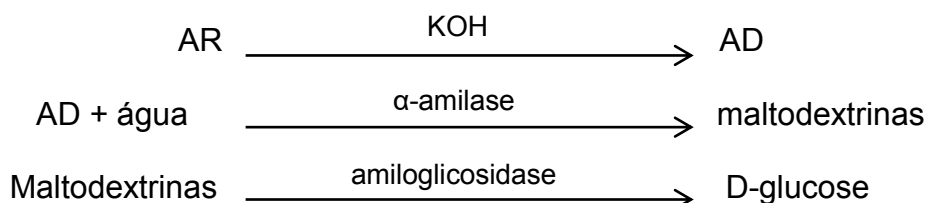
A propriedade redutora dos açúcares (aldoses ou cetoses) constitui o princípio analítico de alguns métodos colorimétrico, que também podem ser empregados para dosagem do amido: método Lane-Eynon (titulação), método Munson-Walker (gravimétrico) e método Somogyi (titulação) (CECCI, 2003). Eliasson (2004) ressalta que as propriedades de oxirredução não são exclusivas da glicose, e muito menos apenas de carboidratos, o que requer a avaliação de possíveis interferentes, dependendo da composição de cada tipo de amostra de alimento.

O conteúdo do amido total nos alimentos não pode ser determinado diretamente, pois este encontra-se indisponível na matriz alimentar, quimicamente complexa, quer seja na forma granular ou retrogradada, o que normalmente vai requerer que este seja inicialmente extraído ou isolado dos outros compostos, por meio da desintegração da amostra, seguido da solubilização do amido (gelatinização) e sua conversão em glicose (ELIASSON, 2004). Portanto, a determinação de amido é feita indiretamente por meio da dosagem das unidades de glicose, que formam os polímeros do amido.

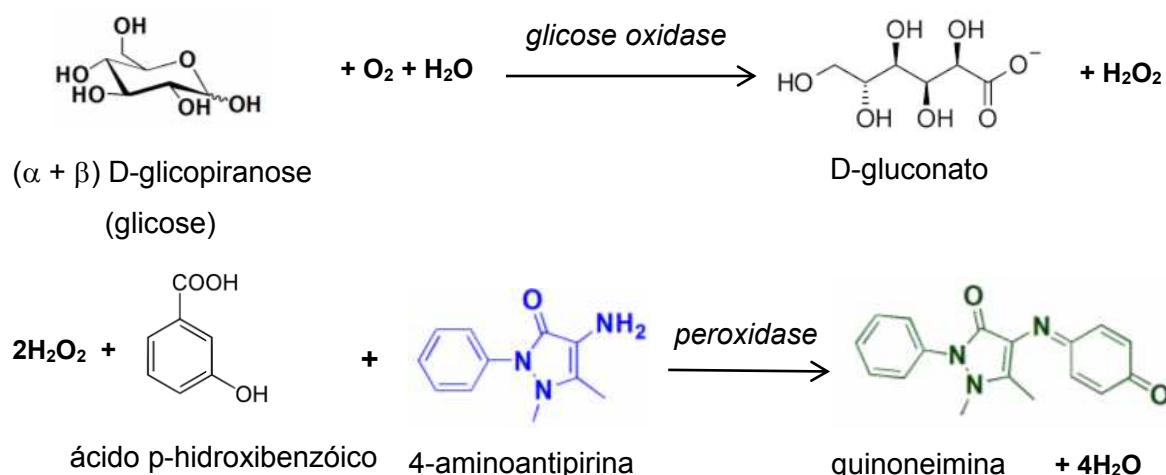
A ação de ácidos minerais fortes (sulfúrico, clorídrico e fosfórico) sobre a glicose leva à formação de produtos de decomposição que podem ser coloridos. E a sua reação com outros reagentes específicos, consistem no princípio analítico de alguns métodos de dosagem do amido por colorimetria, como o método antrona e o fenol (CECCI, 2003).

Amido total pode ser determinado por hidrólise enzimática com alfa-amilase e amiloglicosidase, seguido de reação da glicose com glicose oxidase (ENGLYST et al., 1992), disponível atualmente como kit enzimático pela Megazyme ® e descrito detalhadamente a seguir. Este método tem como pré-requisito a gelatinização do

amido em água fervente, e no caso da amostra possuir AR, um tratamento com hidróxido de potássio (KOH) é necessário para dispersar o AR. A glicose liberada é medida por técnicas colorimétricas, usando o sistema glicose oxidase-peroxidase (ENGLYST et al., 1992):



A glicose é oxidada a gluconato e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) pela glicose oxidase. Com a liberação de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), este pode ser quantificado por meio da reação com peroxidase, que produz quinoneimina (colorido):



Caso a amostra possua glicose e/ou maltodextrinas livres, devem ser removidas previamente com o emprego de etanol, para prevenir a superestimação destes resultados. A quantificação final é feita com o emprego de uma curva de calibração para D-glicose como padrão.

2.3.2 Amido resistente

A presença de uma fração de amido resistente à hidrólise enzimática foi reconhecida pela primeira vez por Englyst et al. (1982), por meio de uma pesquisa sobre métodos de determinação de polissacarídeos não-amiláceos. Este trabalho foi aprimorado por Berry (1986), que desenvolveu um processo para a determinação de AR que consistia no tratamento da amostra com alfa-amilase e pululanase, mas omitindo uma etapa de aquecimento inicial a 100 °C, de forma a mimetizar as condições fisiológicas. Sob estas condições, o conteúdo de AR das amostras era muito maior. Estes resultados foram posteriormente corroborados por dois trabalhos publicados por Englyst e Cummins (1985; 1987), por meio de estudos com indivíduos saudáveis ileostomizados (McCLEARY e MONAGHAN, 2002). Assim, comprovando que estes métodos determinavam apenas amido que não era digerido no intestino delgado de humanos.

Posteriormente, um número significativo de métodos *in vitro* e *in vivo* foram desenvolvidos para a quantificação de AR. Por outro lado, a complexidade dos fatores associadas à digestibilidade do amido, fazem da determinação *in vitro* um problema considerável (LOBO e SILVA, 2003). Por outro lado, métodos *in vivo* não são práticos e possuem algumas desvantagens quanto à padronização e reprodutibilidade.

Os principais métodos *in vivo* empregam os seguintes princípios: utilização de indivíduos ileostomizados, permitindo a determinação direta e quantitativa do amido e de outros nutrientes que saem do intestino delgado; teste de respiração, onde o amido não digerido é quantificado de forma indireta através do teor de H₂ expirado (após fermentação); e a utilização de indivíduos intubados com uma cânula até o ceco, permitindo a determinação do teor de carboidratos diretamente no conteúdo intestinal aspirado (LOBO e SILVA, 2003).

Os métodos *in vitro* podem ser diretos ou indiretos. Os métodos diretos determinam o AR após a remoção da fração de AD ou digerível por tratamento enzimático, enquanto os indiretos quantificam o AR como a diferença entre o amido total e o AD. A utilização de diferentes enzimas, assim como diferentes quantidades de amostra, levam a variações nos resultados, dificultando a comparação dos entre diferentes procedimentos analíticos, bem como sua relação com respostas biológicas (WALTER *et al.*, 2005).

No método direto proposto por Berry (1986), o AD é removido usando diferentes amilases e a fração residual de AR é hidrolisada e quantificada após sua solubilização em em hidróxido de potássio ($\text{KOH } 2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$). Um procedimento alternativo foi proposto por Siljestrijm e Asp (1985) que consistia na preparação e quantificação do resíduo de fibra dietética (McCLEARY e MONAGHAN, 2002), antes da determinação de AR. Este também é o princípio de outros métodos, derivados dos métodos empregados para determinação de fibra alimentar, uma vez que AR é um dos componentes das fibras alimentares.

O método indireto, proposto por Englyst, et al., (1992), estima as frações de AD por hidrólise enzimática controlada (mistura de alfa-amilase e amiloglicosidase a 37°C e pH 5,2), de forma que a glicose liberada nos 20 minutos iniciais corresponde ao amido rapidamente digerível (ARD), a glicose liberada entre 20 e 120 minutos corresponde ao ALD. O AR corresponde à fração que resiste à hidrólise além de 120 minutos e é determinado por diferença em relação ao amido total (AT):

$$\text{AR} = \text{AT} - (\text{ALD} + \text{ARD}) \quad (1)$$

Sendo:

- AR: amido resistente;
- AT: amido total;
- ALD: amido lentamente digerível;
- ARD: amido rapidamente digerível.

Os resultados obtidos para diferentes amostras empregando este método foi corroborado com métodos *in vivo*.

O método proposto por Champ (1992) foi baseado em modificações do método de Berry (1986), com a medição direta do AR. Basicamente, a quantidade da amostra foi aumentada de 10 mg para 100 mg, empregando apenas alfa-amilase pancreática e incubação em pH 6,9; em vez de pH 5,2 como empregado por Englyst et al. (1985) ou Berry (1986).

Muir e O'Dea (1992) desenvolveram um protocolo em que as amostras são previamente mastigadas, tratadas com pepsina e com uma mistura de alfa-amilase pancreática e amiloglicosidase em pH 5,0 a 37°C , sob agitação, durante 15 h. Após centrifugação, o *pelete* residual (AR) é lavado com tampão de acetato, solubilizado

em dimetil-sulfóxido (DMSO) e tratado com alfa-amilase termoestável. Posteriormente, Akerberg et al. (1998), propuseram modificações deste método, permitindo determinar paralelamente os teores de AR, AD e fibra alimentar.

Estes métodos ainda foram modificados por Fausant et al. (1995), Gõni et al. (1996) e Champ et al. (1999). Estas modificações incluíram alterações nas concentrações de enzimas, tipos de enzimas (todos empregam alfa-amilase pancreática, alguns incluíram amiloglicosidase), pré-tratamento da amostra por mastigação, pH de incubação e a adição ou não de etanol, após incubação com alfa-amilase. Ressalta-se que as modificações descritas acima terão algum efeito sobre os resultados de AR.

O método proposto por Gõni et al. (1996) baseia-se na simulação das condições fisiológicas do metabolismo de amido, como modificações do método de Berry (1986), que consiste no emprego de protease (pepsina em pH 1,5 a 40 °C / 60 min); remoção de AD com alfa-amilase pancreática (pH 6,9, a 37 °C/16 h); centrifugação e descarte do sobrenadante; ressuspensão com KOH 4 mol·L⁻¹; tratamento do AR com amiloglicosidase (pH 4,5 a 60 °C / 45 min); centrifugação e dosagem de glicose com *kit* GOPOD. A precipitação de AR com etanol e a secagem com acetona do método de Berry (1986) foram suprimidas.

Segundo McCleary (2010), os métodos baseados na remoção do AD e na quantificação do AR na fração residual devem ser utilizados em combinação com o método 985.29, de determinação da fibra alimentar total, da *Association of Official Analytical Chemist* (AOAC). É proposto que AR deva ser previamente solubilizado com DMSO ou hidróxido de sódio, antes da determinação da fibra alimentar (McCleary e Monaghan, 2002).

McCleary e Monaghan (2002) realizaram uma abordagem robusta ao desenvolver um método modificado para determinação direta de AR que refletisse as condições *in vivo*. Avaliaram o efeito da concentração de alfa-amilase pancreática, do pH de incubação, da importância da inibição de alfa-amilase por maltose, necessidade de inclusão de amiloglicosidase e os problemas na recuperação e análise do sedimento contendo AR. O método proposto foi submetido a uma avaliação interlaboratorial sob os auspícios da AOAC International e AACC (American Association of Cereal Chemists). Reconhecido por ambas as associações foi

empregado para produção de um *kit* enzimático para análise de AR, que é comercializado pela Megazyme International Ireland Ltda (Megazyme®).

Segundo Englyst K. et al. (2013), vários métodos *in vitro* para determinação de AR têm sido empregados, porém apresentam resultados discordantes para uma mesma amostra de alimentos. Como ilustra os resultados (Tabela 2) obtidos por Moore (2013), que avaliou os níveis de AR em amidos nativos e amidos modificados usando três métodos diferentes.

Tabela 2. Conteúdo (%) de amido resistente (AR) de diferentes fontes de amido, empregando métodos padronizados.

| Amidos | Métodos AOAC | | Método Englyst | |
|-------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| | 991.43 | 2002.02 | Cozido | Natural |
| milho | 0,65 ± 0,45 | 1,45 ± 0,19 | 8,50 ± 1,68 | 41,95 ± 1,31 |
| milho alto teor amilose | 32,92 ± 1,97 | 39,84 ± 0,24 | 34,45 ± 1,39 | 67,19 ± 0,83 |
| trigo normal | 0,44 ± 0,99 | 0,32 ± 0,51 | 12,38 ± 4,18 | 31,53 ± 1,91 |
| banana verde | 1,00 ± 0,47 | 27,17 ± 3,83 | 9,74 ± 0,76 | 84,39 ± 0,30 |
| Batata | 1,09 ± 0,78 | 57,39 ± 3,45 | 0,27 ± 0,54 | 90,92 ± 0,41 |
| Novelose 330® | 46,58 ± 0,79 | 45,23 ± 2,43 | 58,60 ± 2,21 | 60,89 ± 0,25 |

Fonte: Adaptado de MOORE, 2013.

Embora o AR tenha sido definido fisiologicamente, como a soma de amido e produtos de degradação de amido não absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis, a determinação dessa fração de amido não digerível não é simples (EERLINGEN e DELCOUR, 1995).

O conteúdo de AR e suas características podem ser afetados pelo procedimento analítico tanto *in vivo* como *in vitro*. Além disso, os níveis de AR e as características dos gêneros alimentícios não dependem apenas do tipo de amido (*waxy*, normal ou alta de amilose), mas também são fortemente afetados pelas condições do processo (temperatura, tempo de armazenamento) e pela presença de outros componentes (EERLINGEN e DELCOUR, 1995).

O método AOAC 991.43 (1994) é empregado para determinar fibra alimentar total (FAT), solúvel e insolúvel em alimentos e o método AOAC 2002.02 (2002) foi

desenvolvido para determinar especificamente o conteúdo de AR em alimentos e materiais vegetais (Kit RSTAR da Megazyme ®), enquanto o método original de Englyst et al. (1992) ainda é empregado em muitos trabalhos que foram publicados recentemente (MOORE, 2013).

Muitos métodos de quantificação de AD e AR foram desenvolvidos nos últimos anos. Entretanto, a utilização de diferentes enzimas e de diferentes quantidades de amostra, leva a variações que dificultam a comparação entre os resultados obtidos (WALTER et al., 2005). Como AR não é uma fração química distinta, mas sim uma sub-fração de amido total, a quantidade que é recuperada por diferentes métodos poderá variar dependendo das técnicas de preparação das amostras, das enzimas e das condições de incubação (ENGLYST K. et al., 2013).

A classificação de AR (AR1, AR2, AR3, AR4 e AR5) fornece a base conceitual para sua diferenciação, entretanto, pode limitar o entendimento do AR porque sugere que há homogeneidade dentro de cada tipo, e que a diferenciação entre os tipos é simples. Portanto, o emprego das diferentes metodologias descritas e discutidas acima mostram que a análise de AR não é um tarefa fácil e provavelmente ainda será muito discutida em trabalhos futuros, dada a importância desta temática. O conceito de AR é, portanto, subjetivo e qualquer generalização para um produto ou matéria-prima alimentar em particular, deve ser feita com muita cautela (PERERA et al., 2010).

2.4. Aspectos gerais e aproveitamento industrial da banana

A bananicultura é uma atividade, do agronegócio mundial e brasileiro, de grande importância econômica e social, não só pela geração de renda, mas também, por contribuir com a fixação do homem no campo. No Brasil, a maioria dos bananicultores praticam a agricultura familiar, embora, a cada dia, aumenta-se o número de empresários de pequeno, médio e grande porte que se inserem na cadeia produtiva desta fruta (FERREIRA et al., 2016).

A banana (*Musa spp.*) é uma das frutas mais importantes do mundo, tanto no que se refere à produção quanto à comercialização (FIORAVANÇO, 2003; SEBRAE, 2008). Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), é o quarto produto agrícola mais importante para as nações em

desenvolvimento, atrás de arroz, trigo e milho. O Brasil destaca-se em quinto lugar na produção mundial de banana, depois da Índia, Filipinas, China e Equador (BORGES et al., 2009; FAO, 2009). É a segunda fruta mais produzida no Brasil, presente em todos os estados, desde a faixa litorânea até os planaltos centrais, correspondendo a 15,1 % do volume da produção nacional, lidera a venda *in natura* com 30,7 % em volume de frutas (VILELA et al., 2006; SEBRAE, 2008; BORGES et al., 2009).

A produção mundial de banana em 2012 foi de aproximadamente 102 milhões de toneladas, e o Brasil foi o quinto maior produtor, com 6,9 milhões de toneladas (FAO, 2014). Já em 2015, 2016 e 2017 a produção foi de 7,0; 6,9 e 6,8 milhões de toneladas, respectivamente (IBGE, 2017).

O cultivo de banana no Brasil representa grande relevância socioeconômica, como fonte de renda para várias famílias, gerando trabalho no campo e na cidade e contribuindo para o desenvolvimento das regiões de produção. É considerada como uma cultura fixadora de mão-de-obra, com possibilidade de produção o ano todo, elevado rendimento por hectare, ciclo reduzido de cultura, que não pode ser colhida por meio mecânico, além de ser majoritariamente praticada por agricultores familiares (FIORAVANÇO, 2003; RODRIGUES e LEITE, 2008).

A bananicultura no mundo é uma preocupação da FAO, por sua importância para a segurança alimentar em países pobres, que tem financiado pesquisas que visem o desenvolvimento de variedades resistentes a pragas (CHRISTANTE, 2011). Segundo Pimentel et al. (2010), a baixa variabilidade genética da banana representa um grande risco para bananicultura em relação às pragas e requer o emprego de genótipos resistentes, para aumentar produção e reduzir custo, principalmente em relação ao uso de defensivos agrícolas.

A resistência a pragas é fator determinante para a sustentabilidade da bananicultura e constitui o caminho seguido nas pesquisas de melhoramento genético da bananeira. Segundo Silva et al. (2008), as novas variedades devem ser avaliadas em relação ao destino (consumo *in natura* ou industrialização).

No Brasil, a partir do ano 2000 a Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical (Cruz das Almas – BA) em parceria com outras instituições nacionais e internacionais, vem desenvolvendo novos genótipos resistentes às doenças, com diferentes níveis de desempenho agrônomico e aceitação pelos consumidores (SILVA et al., 2008).

A variedade de banana BRS “Vitória”, subgrupo prata, é um híbrido gerado pela Embrapa, como resultado do cruzamento da variedade “Pacovan” com o diplóide M53. Possui a vantagem de ser resistente às Sigatokas amarela e negra, ao mal-do-panamá e à antracnose em pós-colheita, além de possuir sabor idêntico ao da “Pacovan” (SILVA JUNIOR et al., 2009; VENTURA et al., 2011).

Um aspecto relevante na cadeia produtiva da banana são as perdas decorrentes das operações da colheita e da logística, que afetam significativamente a sustentabilidade desta cultura. Segundo a Fundação Getúlio Vargas (FGV) ocorre uma perda média de 40 % entre a plantação e a comercialização. Outras fontes, como o Instituto de Economia Agrária (IEA) do Estado de São Paulo, chegam a apontar um índice de perda de 60 % (SEBRAE, 2008). Já Sardá et al., (2016) que relata estimativa de perda em 30 % na fase pós-colheita, enfatiza a necessidade de desenvolvimento e utilização de novas tecnologias ou processos que garantam o seu melhor aproveitamento.

A maior parte da produção brasileira de bananas é consumida *in natura*. Cerca de 2,5 % a 3,0 % da produção é industrializada, sendo 33 % desses produtos consumidos no mercado interno (FOLEGATTI e MATISUURA, 2004).

A industrialização pode ser uma opção para o aproveitamento de frutos com aparência comprometida para consumo *in natura* e do excedente de produção, que resultam em grandes variações do preço da fruta ao longo do ano. Assim, resultando em aumento da vida-de-prateleira e agregação de valor ao produto (JESUS et al., 2005; BORGES et al., 2009).

Poucos produtores se dedicam a atividades de beneficiamento da banana, que representa possibilidades adicionais de vendas e redução de perdas, o que em geral fica a cargo de terceiros (SEBRAE, 2008). Em grandes propriedades ou em associações de produtores, pode-se justificar a implantação de unidades industriais para processamento da fruta descartada, que apresente adequada para processamento (POIANI et al., 2008)

Uma visão geral dos diferentes produtos derivados da banana verde ou madura é representada na Figura 5. Alguns produtos derivados da banana podem ser facilmente convertidos em produtos de maior valor agregado como banana-passa, banana tipo *chips*, doce em massa (bananada), geleia, banana em calda, vinagre e licor. Assim como pode ser empregada como ingrediente (polpa ou purê de banana

madura, biomassa de banana verde, farinha de banana verde e amido de banana verde) para formulação de outros produtos (SEBRAE, 2008; POIANI et al., 2008).

Suntharalingam e Ravindran (1993), relataram o potencial de converter frutos de banana verde rejeitadas para comércio *in natura* em farinha, destacando o fato de constituir uma fonte de matéria-prima de baixo custo para aplicação em produtos de padaria, com extensa vida de prateleira.

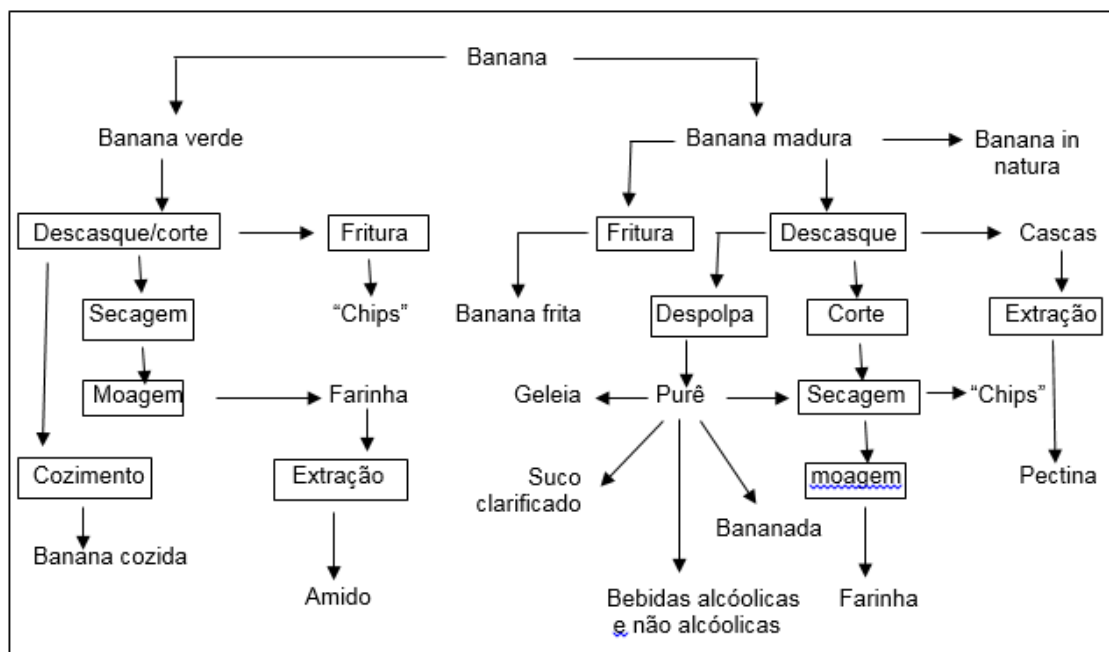


Figura 5. Representação esquemática do processamento produtos derivados de bananas. Fonte: MOHAPATRA et al., 2011.

2.5. Farinha de banana verde

Muitas variedades híbridas de banana, principalmente resistentes à Sigatoka negra, foram avaliadas quanto às propriedades agronômicas, adaptação às diferentes condições de cultivo e aceitação para consumo *in natura* e recomendadas para cultivo em várias regiões do país (SILVA et al., 2002; LIMA et al., 2005; DONATO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2008; SILVA JUNIOR et al., 2009; FARIA et al., 2010; AZEVEDO et al., 2010; PIMENTEL et al., 2010; VENTURA et al., 2011; SANTOS, 2011; BARKER et al., 2011; AMORIM et al., 2012; GARRUT et al., 2012). Porém, são escassos os estudos para análise destas variedades de banana que melhor se adequam ao processamento, especialmente banana verde.

Devido à elevada concentração de amido (mais de 70 % b.s.), o processamento de banana verde para produção de farinha é potencialmente importante para a agroindústria de alimentos (WALISZEWSKI et al., 2003). Inclusive podendo ser aproveitada integralmente, com a casca. A farinha de banana verde pode ser empregada como ingrediente na formulação de pães, biscoitos e massas alimentícias, como substituto parcial de outras farinhas (SEBRAE, 2008; POIANI et al., 2008).

2.5.1. Processamento

Tradicionalmente, empregam-se bananas verdes descascadas e fatiadas, submetidas a operações de secagem e moagem para obtenção da farinha. Cozinhando as bananas previamente facilita a operação de descasque, reduz a descoloração, retém mais tanino, mas requer mais tempo de secagem. Farinha de banana, cozida no vapor, tem seu uso potencial na formulação de alimentos infantis como o amido pré-gelatinizado, produzindo dispersão sem formação de grumos. Enquanto a farinha de banana crua, sem qualquer tratamento térmico antes da desidratação e moagem, pode ser empregada como agente espessante em sopas e como ingrediente à base de amido para produtos extrusados e de panificação (MOHAPATRA et al., 2011).

A secagem é operação unitária clássica e um dos métodos mais importantes para conservação de alimentos, que aumenta a vida de prateleira, além de diminuir o volume e peso para transporte e armazenamento. Estudar a cinética de secagem de frutas é necessário, a fim de fornecer informações sobre o tempo necessário para atingir a umidade desejada no produto final (ZABALAGA e CARBALLO, 2014).

Nas publicações de pesquisas sobre farinha de banana verde observam-se muitas variações nos métodos de processamento quanto à operação de descasque, métodos de inibição enzimática, espessura do corte da polpa, métodos e temperaturas de secagem, umidade final, além da cultivar de banana e do grau de maturação, conseqüentemente podem gerar produtos com propriedades muito diferentes, principalmente em relação à digestibilidade do amido, que foi o principal objeto de estudo deste trabalho. A Tabela 3 mostra uma lista de referências de pesquisas sobre farinha de banana verde, destacando a variedade de banana e o teor de AR na banana e na farinha.

Tabela 3a. Pesquisas com farinha de banana verde.

| Cultivar | Origem | Processo | Amido Resistente (%) | | Referências |
|---|-----------------------|---|----------------------|------------------------|----------------------------|
| | | | Banana | Farinha | |
| NE | NE | NE | ND | 56,0 | ENGLYST e CUMMINGS, 1995 |
| NE | NE | NE | ND | 52 b.s. | GOÑI et al., 1996 |
| Nanicão | Vale do Ribeira, SP | Secador industrial de ar forçado | 57,5 | 54,0 | MENDEZ, 2013 |
| Nanicão | Vale do Ribeira, SP | Túnel de secagem (52; 55 e 58 °C / 0,6; 1,0; 1,4 m·s ⁻¹) | ND | 40,9 a 58,5 | TRIBESS et al., 2009 |
| Cavendish (Nanica) | Malásia | Secagem em forno (AFOS Mini Kiln) 60 °C <i>overnight</i> | ND | ND | ALKARKHI et al., 2011 |
| Prata | Juazeiro do Norte, CE | Estufa de circulação de ar forçado a 70 °C / 12 h | ND | ND | BORGES et al., 2009 |
| Terra | ES, Brasil | Forno de convecção de circulação de ar forçado a 45 °C / 48 h | ND | 49,5 | PELISSARI et al., 2012 |
| Ouro colatina, Nanica, Nanicao, Prata anã, Prata comum, Mysore, Maçã e Ouro da mata | UFV, Viçosa | Liofilização | ND | ND | MOTA et al., 2000 |
| Awakcv (ABB) | Malásia | Secagem em secador de ar quente (AFOS Ltd, Hessle, United Kingdom) a 60 °C / 15 h | ND | 40 (polpa e com casca) | HASLINDA, et al. 2009 |
| Kluai Hom' (AAA), 'K. Khai' (AA), 'K. Lebmueng' (AA) e 'K. Namwa' (ABB) | Bangkok, Tailândia | Secagem em forno de ar quente a 50 °C / 8 h | ND | 54 a 58 | VATANASUCHART et al., 2012 |

ND – não determinado; NE – não especificado

Tabela 3b. Pesquisas com farinha de banana verde.

(Continuação)

| Cultivar | Origem | Processo | Amido Resistente (%) | | Referências |
|--|-----------------------|---|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | Banana | Farinha | |
| NE | NE | Estufa com circulação de ar a 55 °C / 96 h (polpa) | ND | 70,7 a 73,7 b.s. | WALTER et al., 2005 |
| <i>Musa paradisiaca</i> L. | Morelos, México | Forno convencional, 40 °C / 24 h | ND | 65,6 | RODRÍGUEZ-DAMIAN et al., 2012 |
| <i>Musa acuminata</i> , subgrupo Cavendish | Vale do Ribeira, SP | Secador, 55 °C / 1 m·s ⁻¹ | ND | 56 | SANTOS, 2010 |
| <i>Musa cavendishii</i> | Mysore, Índia | Secador de ar quente, fluxo cruzado, 60 a 65 °C / 1,5 m·s ⁻¹ | ND | ND | MUYONGA et al., 2001 |
| <i>Musa acuminata</i> , variedade Nanicão | Vale do Ribeira, SP | Secador a 60 °C | ND | 8,2 | MENEZES et al., 2010 |
| <i>Musa paradisiaca</i> L. | Morelos, México | Secador a 50 °C | ND | 17,5 b.s. | JUAREZ-GARCIA et al., 2006 |
| Cavendish | Belém, PA | Secagem em leite de jorro | 35,6 / 33,0 | 35,1 / 32,7 | BEZERRA et al., 2013 |
| | | Polpa a 80 °C / 90 °C Banana com casca 80 °C / 90 °C | 42,4 / 38,0 | 42,0 / 38,2 | |
| Prata e Caturra | Rio Grande-RS, Brasil | Forno com circulação de ar, a 50 °C / 7 h | ND | Prata (24,1) e Caturra (13,7) | ANDRADE et al., 2018 |

ND – não determinado; NE – não especificado

2.5.2. Propriedades

Diferentes fatores associados à produção de FBV, como o tipo de banana, o grau de maturação e as etapas do processamento, especialmente quanto à operação de secagem, são determinantes para as suas propriedades (SARDÁ, et al. 2016).

Uma das principais alterações observadas na polpa da banana, durante a maturação, consiste na hidrólise das reservas de amido a açúcares solúveis. Como a banana verde constitui a maior fonte de AR na natureza, é importante avaliar o estágio adequado de amadurecimento de frutos para produzir farinha com altas concentrações de AR (ENGLYST e CUMMINGS, 1986; ZHANG et al., 2005).

A quantidade de AR em FBV foi relatada em estudos de Englyst et al. (1992) em níveis de 57,0 %, enquanto Faisant et al. (1995) relataram valor de 54,0 %. Tribess et al. (2009) estabeleceram um processo para produzir FBV com alto teor de AR ($51,0 \pm 7,3$ %), a temperatura abaixo da temperatura de gelatinização do amido.

Alguns pesquisadores têm sugerido que o emprego de banana verde com casca, que resulta em farinhas com melhores propriedades nutricionais, devido ao maior conteúdo de minerais e FAT, além de compostos fenólicos, que contribuem para uma maior atividade antioxidante (HASLINDA et al., 2009; ZHU, 2015).

As propriedades funcionais dos amidos comerciais, normalmente obtidos a partir de culturas de cereais, são modificadas quimicamente, para satisfazer a demanda da indústria alimentar em relação à transparência, sinérese e estabilidade ao congelamento/degelo. No entanto, a tendência atual é buscar amidos "naturais", que possuam propriedades semelhantes aos modificados e que podem ser processadas sem tratamento químico ou, no máximo, tratadas por métodos físicos ou enzimáticos (MOTA et al., 2000). A farinha de banana verde, como um potencial ingrediente para aplicação em formulações alimentares, também vem sendo alvo de modificações das suas propriedades funcionais, especialmente em relação ao amido.

As propriedades térmicas e reológicas das farinhas são pré-requisitos para a indicação como ingredientes para formulação de produtos específicos. Estas propriedades são afetadas pela composição física e química da farinha. O amido como componente majoritário da farinha de banana verde, em sua forma granular, gelatinizada ou retrogradada é determinante para as propriedades tecnológicas e sensoriais dos produtos.

O analisador rápido de viscosidade (RVA) é um viscosímetro de aquecimento e resfriamento que pode ser empregado para avaliar o perfil de pasta da mistura de água e farinha ou água e amido, por meio da medida da resistência ao cisalhamento sob condições controladas (COPELAND et al., 2009), de forma a simular o processamento de alimentos. Segundo Haslinda et al. (2009), o emprego de banana com casca resulta em melhores propriedades de pasta.

Mota et al. (2000) avaliaram a composição química e propriedades funcionais de farinhas de oito variedades de banana obtidas por liofilização, obtendo grande variação na composição química (61 % a 76,5 % em amido; 19 % a 23 % em amilose; 2,5 % a 3,3 % em proteína; 4 % a 6 % em umidade; 0,3 % a 0,8 % em lipídios; 2,6 % a 3,5 % em cinzas e 6,0 % a 15,5 % em fibra total) e conseqüentemente nas propriedades funcionais, como a temperatura de pico de gelatinização que variou entre 68 °C e 76 °C, porém não foram avaliados os teores de AR e ALD.

Alkarkhi et al. (2011) avaliaram a composição química e propriedades funcionais de farinha de banana obtida a partir da polpa e da casca da fruta, verde e madura. Estes destacam dois aspectos importantes, que é a subutilização da casca, que corresponde em média 40 % da fruta e a possibilidade de obtenção de materiais (ingredientes) com potencial de aplicações específicas.

Haslinda et al. (2009) avaliaram farinha de banana verde com casca e sem casca. Os resultados obtidos indicaram que a farinha com casca possui melhores valores nutricionais quanto aos níveis de minerais, fibras e compostos fenólicos, além de melhores propriedades de pasta. Porém, não apresentaram diferenças em relação ao teor de AR.

Ormenese (2010), avaliou o teor de AR em farinha de banana verde, obtidas por diferentes equipamentos de desidratação. Com exceção do secador rotativo que propiciou elevada perda de AR (4,72 % \pm 0,15), os demais equipamentos empregados resultaram em farinha de banana verde com alto teor de AR: secador de bandeja (50,39 % \pm 2,30); liofilizador (39,93 % \pm 0,75) e secador tipo *spray dryer* (54,29 % \pm 1,35). Porém, os elevados custos operacionais e de investimento para desidratação em *spray dryer* e liofilizador podem não justificar a opção por estes equipamentos em relação à secagem em secador de bandejas.

As avaliações das propriedades das farinhas de banana verde, disponíveis na literatura científica, variam em relação às metodologias e aos objetivos das pesquisas.

A grande maioria dos trabalhos não avaliaram os níveis de AR. Embora ALD não seja um tema inédito, são ainda mais escassos nos estudos em farinha de banana verde.

2.5.3. Aplicações

A polpa de banana verde (14 % a 23 % em b. u.) é reconhecida como uma fonte não convencional de amido, como potencial para emprego na indústria de alimentos, como no segmento de produtos de panificação (ZUWARIAH e AZIAH, 2009).

O emprego de farinha mista de trigo e FBV para formulação de pães, com substituição até 30 % tem sido avaliado com impacto negativo em relação à cor mais escura e ao menor volume, porém com aceitação sensorial satisfatória e aumento no nível de AR e compostos fenólicos (MEPBA et al., 2007; AURORE et al., 2009; ZUWARIAH e AZIAH, 2009; ORMENSESE, 2010; AZIAH et al., 2012; ADUBOFUOR et al., 2016; ANDRADE et al., 2018). Em formulação de biscoitos, o emprego farinha mista de trigo e FBV já foi avaliado, mas também é possível obter biscoitos com substituição 100 % por FBV (MEPBA et al., 2007; PAIVA et al., 2012; FASOLIN et al., 2007; APARICIO-SAGUILAN et al., 2007).

Segundo Andrade et al. (2018), apesar do aumento na dureza dos pães adicionados de FBV, a diferença no teste de aceitação foi associada principalmente aos atributos cor e sabor do pão.

Massas alimentícias podem ser obtidas com farinha mista de FBV com farinha de trigo ou de arroz, que mesmo com mudanças em diferentes propriedades podem ter aceitação similar ao padrão com trigo (AGAMA-ACEVEDO et al., 2009; OVANDO-MARTINEZ et al., 2009; ZANDONADI, 2012), além de agregar propriedades nutricionais desejáveis como redução na taxa de hidrólise de carboidratos e aumento na capacidade antioxidante (OVANDO-MARTINEZ et al., 2009). Camelon-Mendéz et al. (2015), relacionou o aumento de 11 % a 12% de AR em massas com substituição de 45 % em FBV, e destaca a necessidade de mais investigações a respeito da interação entre amido e compostos fitoquímicos, sobre a digestibilidade de amido em produtos desta natureza.

Pré-mistura para bolo com substituição de até 60 % de farinha de trigo por FBV, resultou em aceitação sensorial equivalente ao padrão, e com maiores notas em relação aos atributos aroma e sabor (BORGES, 2007).

Um leite fermentado formulado com 3 % de FBV também gerou um produto simbiótico, com viabilidade adequada de ácido láctico e culturas probióticas ($> 6 \log \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$) e níveis de amido resistentes (3 a $10 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) (BATISTA et al., 2017).

A FBV também já foi avaliada para emprego em barras de cereais (SANTOS, 2010; ORMENESE, 2010).

Alguns estudos indicaram que o amido de banana é adequado para aplicações alimentares que exigem altas concentrações de amilose e elevada taxa de retrogradação, mas é inapropriado para uso em produtos refrigerados ou congelados (AURORE et al., 2009).

Estudos semelhantes ao proposto nesta pesquisa já foram efetuados por outros pesquisadores:

- a) Muyonga et al. (2000) empregou ciclos de tratamento térmico/estocagem sobre banana verde, antes da secagem, para produção de FBV, porém não avaliou o efeito sobre a digestibilidade do amido.
- b) Lehmann et al. (2002); González-Soto et al. 2004 aplicaram o mesmo tratamento selecionado neste estudo, porém sobre o amido extraído de banana verde, após desramificação da amilopectina com *pullulanase*.
- c) Zuwariah e Aziah (2009) obtiveram FBV modificada, a partir de modificações sobre uma suspensão de 20 % de farinha em água, seguido de autoclavagem ($121 \text{ }^\circ\text{C} / 30 \text{ min}$ a $121 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-2-1}$) e estocagem ($25 \text{ }^\circ\text{C} / 16 \text{ h}$), nova autoclavagem ($121 \text{ }^\circ\text{C} / 60 \text{ min}$), resfriamento por 2 h a temperatura de ambiente e estocagem ($25 \text{ }^\circ\text{C} / 60 \text{ min}$) e liofilização.
- d) Rodríguez-Damian et al. (2013), avaliaram o efeito do cozimento da banana antes da secagem para produção de FBV, sem efetuar ciclos de tratamento térmico/estocagem, mas empregou este tratamento sobre a FBV, a 30 % de umidade. Adotou tratamento térmico mais drástico ($120 \text{ }^\circ\text{C} / 24 \text{ h}$), sem hidrólise enzimática e armazenamento a $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ por sete dias;
- e) LIAO e HUNG (2015) também obtiveram FBV modificada, aplicando hidrólise enzimática e ciclos de tratamento térmico/estocagem, como González-Soto et

- al. (2004), com a diferença que estes tratamentos foram aplicados sobre a FBV, obtendo a mesma proporção de AR na FBV modificada ($68,60 \% \pm 0,36$) em comparação com FBV obtida por método tradicional ($67,43 \% \pm 0,48$);
- f) Sánchez-Rivera et al. (2017), obtiveram FBV modificada, empregando modificação química do amido por meio de esterificação com ácido cítrico.

Atualmente, não existe legislação específica para os padrões de identidade e qualidade da FBV no Brasil, Canadá, Austrália ou Estados Unidos, entre outros países. Embora no Brasil, FBV seja comercialmente encontrada em lojas especializadas em produtos naturais e pela internet (SARDÁ et al. 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi estruturada nas seguintes etapas (Figura 6):

- a) Caracterização da matéria-prima: banana verde da cultivar BRS Vitória, subgrupo prata, com casca e sem casca;
- b) Estudo do efeito de ciclos de tratamento térmico/estocagem sob refrigeração da banana verde sobre a digestibilidade do amido (ARD, ALD e AR);
- c) Estudo da cinética de secagem da banana verde, com casca e sem casca (CC, SC), bem como submetidas ou não a ciclos de autoclavagem/refrigeração, processo modificado (CCM e SCM), empregando secador de camada delgada, a diferentes temperaturas (50 °C, 57 °C, 64 °C e 71 °C);
- d) Análise do efeito da temperatura de secagem sobre a digestibilidade do amido;
- e) Produção de farinhas com máximo rendimento em ALD e AR: farinha de polpa de banana verde (FPBV), ou seja, banana sem casca; farinha de banana verde integral (FBVI), ou seja, com casca; farinha de polpa de banana verde modificada (FPBVM), ou seja, que foi submetida a ciclos de autoclavagem/refrigeração e farinha de banana verde integral modificada (FBVIM);
- f) Caracterização das amostras de farinhas de banana verde, obtidas nos quatro tratamentos (FPBV, FBVI, FPBVM e FBVIM), em relação às propriedades físicas, químicas, físico-químicas e de pasta.

3.1. Local do experimento

Este trabalho foi desenvolvido nos laboratórios do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), com a colaboração de parceiros, descritos a seguir:

- a) Fazenda Experimental de Alfredo Chaves - ES, do Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência e Extensão Rural (INCAPER);
- b) Laboratório de Pesquisa em Química de Cereais; Laboratório de Panificação; Laboratório de Química e Análise de Alimentos; Laboratório

de Pesquisa em Frutas e Hortaliças; Laboratório de Pesquisa em Embalagem, DTA/UFV, Viçosa-MG;

- c) Planta de Processamento de Frutas e Hortaliças, DTA/UFV, Viçosa-MG;
- d) Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante, do Departamento de Solos/UFV, Viçosa-MG;
- e) Laboratório de Estudos Reológicos de Cereais, Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar (CTAA)/Embrapa, Rio de Janeiro, RJ.

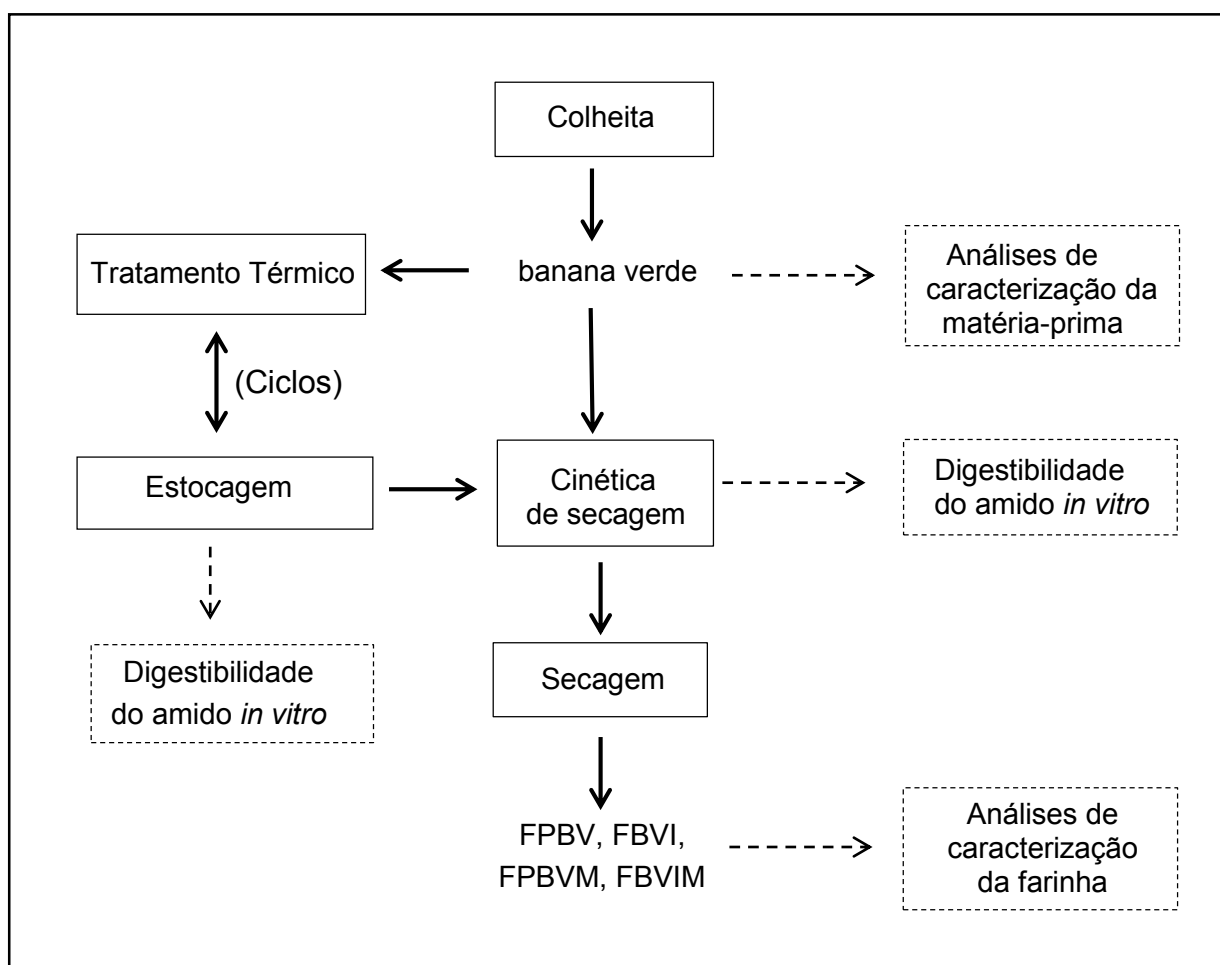


Figura 6. Representação esquemática das etapas da pesquisa experimental. FPBV: farinha de polpa de banana verde; FBVI: farinha de banana verde integral; FPBVM – farinha de polpa de banana verde modificada por autoclavagem/refrigeração; FBVIM – farinha de banana verde integral modificada por autoclavagem/refrigeração.

3.2. Matéria-prima

Cachos de banana (*Musa spp.*) verde, da cultivar BRS Vitória, subgrupo prata, foram adquiridos na Fazenda Experimental do INCAPER, do município de Alfredo Chaves, estado do Espírito Santo (latitude 20°37'0,1''S e longitude 41°46'50''W a 25 metros de altitude em relação ao nível do mar).

3.2.1. Colheita e estocagem

Os cachos foram colhidos no estágio 1 de maturação (completamente verdes), em média 90 a 120 dias após florescência, transportados para a Planta de Processamento de Frutas e Hortaliças (DTA/UFV) e armazenadas a 4 °C (ZABALAGA e CARBALO, 2014), até as análises e o processamento (máximo 15 dias).

3.2.2. Caracterização da matéria-prima

Quatro “dedos” de banana (um por penca), foram avaliados em relação à firmeza, umidade, amido total e à digestibilidade do amido *in vitro*, para determinar o grau de maturação dos frutos e o rendimento em farinha e amido. Todas as análises foram realizadas em duplicata.

A maturação das bananas foi avaliada subjetivamente, no campo, por meio de análise visual, e também objetivamente, empregando as seguintes metodologias:

- a) Firmeza (N): empregando texturômetro (TRIBESS et al., 2009);
- b) Matéria seca e umidade (%): utilizando estufa a 105 °C, pelo método 925.09 da AOAC (2002);
- c) Amido total (%): empregou-se o kit K-TSTA da Megazyme®, que é baseado nos métodos 996.11 da AOAC (2002) e 76-13.01 da AACC, que consiste em um método enzimático empregando alfa-amilase termoestável e amiloglicosidase;
- d) Digestibilidade do amido *in vitro*: ARD (%), ADL (%) e AR (%), método enzimático, empregando alfa-amilase porcina (Sigma®) e amiloglicosidase (Megazyme®), segundo método de Englyst et al. (1992).

3.3. Efeito de tratamento térmico/estocagem sobre a digestibilidade do amido

Realizou-se um estudo sobre o efeito de ciclos de autoclavagem/refrigeração, sobre a digestibilidade *in vitro* do amido, com adaptações dos métodos propostos por Zhang e Hamaker (2012) e Salgado et al. (2005). Avaliou-se de um a três ciclos:

- D1/C1, D1/C2, D1/C3;
- D2/C1, D2/C2, D2/C3;
- D3/C1, D3/C2, D3/C3.

Assim, D1/C1 correspondeu a um ciclo de autoclavagem/refrigeração por um dia de estocagem; D1/C2 a dois ciclos autoclavagem/refrigeração por um dia e D1/C3 três ciclos de autoclavagem/refrigeração por um dia. Cada tratamento foi avaliado em três repetições.

Amostras de quatro “dedos” de bananas com casca, para cada tratamento, foram acondicionadas em sacolas de polietileno e depois transferidas para béquer de plástico (2L), submetidas a tratamento térmico (121 °C / 30 min.), em autoclave vertical (Primatec ® / modelo CS), seguido de resfriamento por imersão em banho de gelo por 30 minutos e estocagem a 4 °C (refrigeração) em incubadora BOD digital microprocessada (CIENLAB/CE-300/120) por um, dois ou três dias (D1, D2 e D3) em um, dois e três ciclos (C1, C2 e C3).

Após o término de cada tratamento (ciclo) as amostras de bananas foram descascadas, homogeneizadas e avaliadas quanto à digestibilidade do amido, conforme método de Englyst et al., (1992), que será descrito posteriormente. O tratamento que resultou no maior rendimento em AR e ALD foi empregado nas etapas seguintes, como modificação do método tradicional de processamento de FBV.

3.4. Efeito da temperatura de secagem sobre a digestibilidade do amido

Um estudo sobre a cinética de secagem e o efeito da temperatura sobre a digestibilidade do amido, foi realizado empregando-se banana verde com e sem casca (CC e SC), bem como banana verde previamente submetida à tratamento térmico / estocagem sob refrigeração (CCM e SCM), pelo tratamento D1/C1, definido no experimento anterior (item 3.3), que consiste na autoclavagem (121 °C / 30 min)

seguida de um ciclo de estocagem (C1) sobre refrigeração (4 °C) por 24 horas ou um dia (D1).

A seguir as bananas foram fatiadas, com faca inoxidável, no sentido transversal (rodela) e espessura em torno de 5 mm, e distribuídas sobre três bandejas de tela de alumínio.

A secagem foi realizada em diferentes temperaturas (50 °C, 57 °C, 64 °C e 71 °C) utilizando um secador experimental de camada delgada, constituído por um ventilador centrífugo, um aquecedor elétrico, e uma câmara de secagem com estrutura de sustentação para três bandejas, além de controlador de temperatura MT-511R, (Fullgauge, Canoas, RS). A velocidade do ar de secagem foi ajustada a 1,5 m·s⁻¹ com um termoanemômetro digital portátil de fio quente (Instrutherm ® / modelo TAFR-180).

O peso das bandejas com as bananas foi tomado no tempo zero e em intervalos de 5 minutos, na primeira hora de secagem, 30 minutos na segunda hora, 60 minutos a partir da terceira hora, até massa constante, ou seja, variação não significativa na massa de banana seca (diferenças entre duas pesagens consecutivas $\leq 0,200$ g). Considerou-se, para efeito de cálculos, que a umidade de equilíbrio (U_e) foi atingida quando não houve mais variação de massa. As pesagens ocorreram em balança eletrônica de precisão (0,01 g) (Marte ®, modelo AS 500).

As fatias de banana secas foram moídas em moinho de facas (Marconi®, Modelo MA 345), peneiradas (0,5 mm) e avaliadas quanto à digestibilidade do amido *in vitro* [ARD (%), ALD (%) e AR (%)], empregando método de Englyst (Englyst et al., 1992). A U_e foi determinada por secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 2002).

3.4.1. Modelagem da cinética de secagem

Aos dados experimentais de secagem das fatias de bananas a diferentes temperaturas, foram ajustados quatro modelos de secagem em camada delgada (Tabela 4). No modelo, RU é um número adimensional, conhecido como razão de umidade, determinado pela seguinte equação (ZABALAGA e CARBALLO, 2014):

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} \quad (2)$$

Sendo:

- U é a umidade em determinado tempo (b.s.);
- U₀ é a umidade inicial (b.s.).
- U_e é a umidade de equilíbrio (b.s.);

O termo exponencial presente nos modelos descreve a transferência de massa por difusão, que é predominantemente na secagem de frutas e vegetais. A taxa de difusão é regida pelo gradiente de umidade como força motriz e é descrita pela segunda lei de Fick (NGUYEN e PRICE 2007):

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_e \frac{\partial U}{\partial x} \right) \quad (3)$$

Sendo:

- x: a distância na direção da difusão;
- D_e: difusividade efetiva ou coeficiente de difusividade (m²·s⁻¹).

Considerando que não ocorre encolhimento do material vegetal durante a secagem, a D_e permanece constante e a U₀ é uniforme, a solução da Eq. (3) para a secagem de uma fatia infinita em uma dimensão:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n + 1)^2} \exp \left[- \left(\frac{2n + 1}{2} \right)^2 \frac{\pi^2 D_e}{L^2} t \right] \quad (4)$$

Para longos tempos de secagem, essa equação pode ser simplificada para somente o primeiro termo:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left(\frac{\pi^2 D_e}{L^2} t \right) \quad (5)$$

Sendo:

- L: à metade da espessura (m) da camada de banana, se a perda de umidade ocorre em apenas um dos lados;
- t: tempo (s).

Os modelos matemáticos (Tabela 4) foram avaliados por meio da comparação dos valores de coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e a raiz do quadrado médio de resíduo (RQMR). Os maiores valores de R^2 e os menores valores de χ^2 e RQMR indicam os melhores ajustes dos modelos (ZABALAGA e CARBALLO, 2014).

Os valores de χ^2 e RQMR foram determinados pelas seguintes equações:

$$\chi^2 = (\sum_{i=1}^n (RU_{exp,i} - RU_{pre,i})^2) / (N - n) \quad (6)$$

$$RQMR = [(\frac{1}{N}) \sum_{i=1}^N (RU_{pre,i} - RU_{esp,i})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Sendo:

- $RU_{exp,i}$: i-ésima razão de umidade experimental;
- $RU_{pre,i}$: i-ésima razão de umidade predita pelo modelo ajustado;
- N: número de observações;
- n: número de parâmetros do modelo.

Tabela 4. Modelos matemáticos utilizados para descrever os dados de secagem de da banana verde.

| Nome do modelo | Equação ¹ |
|-------------------------|---|
| Newton | $RU = exp(k_1 t)$ (8) |
| Page | $RU = exp(-k_1 t^n)$ (9) |
| Henderson-Pabis | $RU = a exp(-k_1 t)$ (10) |
| Dois termos exponencial | $RU = a exp(-k_1 t) + (1 - a) exp(-k_2 t^n)$ (11) |

¹ RU: razão de umidade; k_1 e k_2 são as constantes de secagem por minuto; a e n são os coeficientes dos modelos; e t é o tempo de secagem em minutos. Fonte: ZABALAGA e CARBALLO, 2014.

O comportamento da secagem também foi descrito pelo coeficiente de difusividade efetiva (D_e), que explica a difusão interna de água nas fatias de banana. Assim, de acordo com a Eq. (5), tomando o logaritmo natural da RU obtém-se uma linha reta ao longo do tempo. A inclinação da reta (a), determinam o valor do

coeficiente de difusividade efetivo, que foi calculado pela equação (ZABALAGA e CARBALLO, 2014):

$$D_e = -\frac{4L^2\alpha}{\pi^2} \quad (12)$$

A dependência da difusividade efetiva pela temperatura foi expressa por uma equação do tipo equação de Arrhenius:

$$D_e = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (13)$$

Sendo:

- D_0 : fator pré-exponencial da equação de Arrhenius ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$);
- R : constante universal dos gases ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}$);
- T : temperatura absoluta (K).

Da equação da reta de $\ln(D_e)$ pelo recíproco da temperatura (K), conforme descrito pela equação de Arrhenius, determinou-se a energia de ativação (E_a).

3.5. Processamento de farinha de banana verde

Os quatro tipos de FBV (Figura 7) foram obtidos conforme adaptações dos métodos propostos por Stringheta e Bertoldi (2009), Ramos et al., (2009); Ormenese (2010) e Vatanasuchart et al. (2012).

Após a colheita dos cachos, procedeu-se à remoção das pencas, usando-se faca de aço inoxidável. As pencas foram pesadas, higienizadas por imersão em água contendo $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de cloro ativo, por 20 minutos.

O tratamento térmico I (Figura 7) consistiu na imersão das bananas em água fervente por 2 a 2,5 minutos, seguido de resfriamento em água gelada, visando facilitar o descascamento manual, além de prevenir o escurecimento enzimático.

O tratamento térmico II ($121 \text{ }^\circ\text{C}$ / 30 min) é uma operação equivalente ao tratamento térmico I, que após resfriamento e estocagem a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h, tem a função adicional de trocas na digestibilidade do amido nativo, por meio de retrogradação, que

consistiu na modificação do método tradicional de processamento de FBV, destinados à obtenção de FBVIM (a) e FPBVM (b).

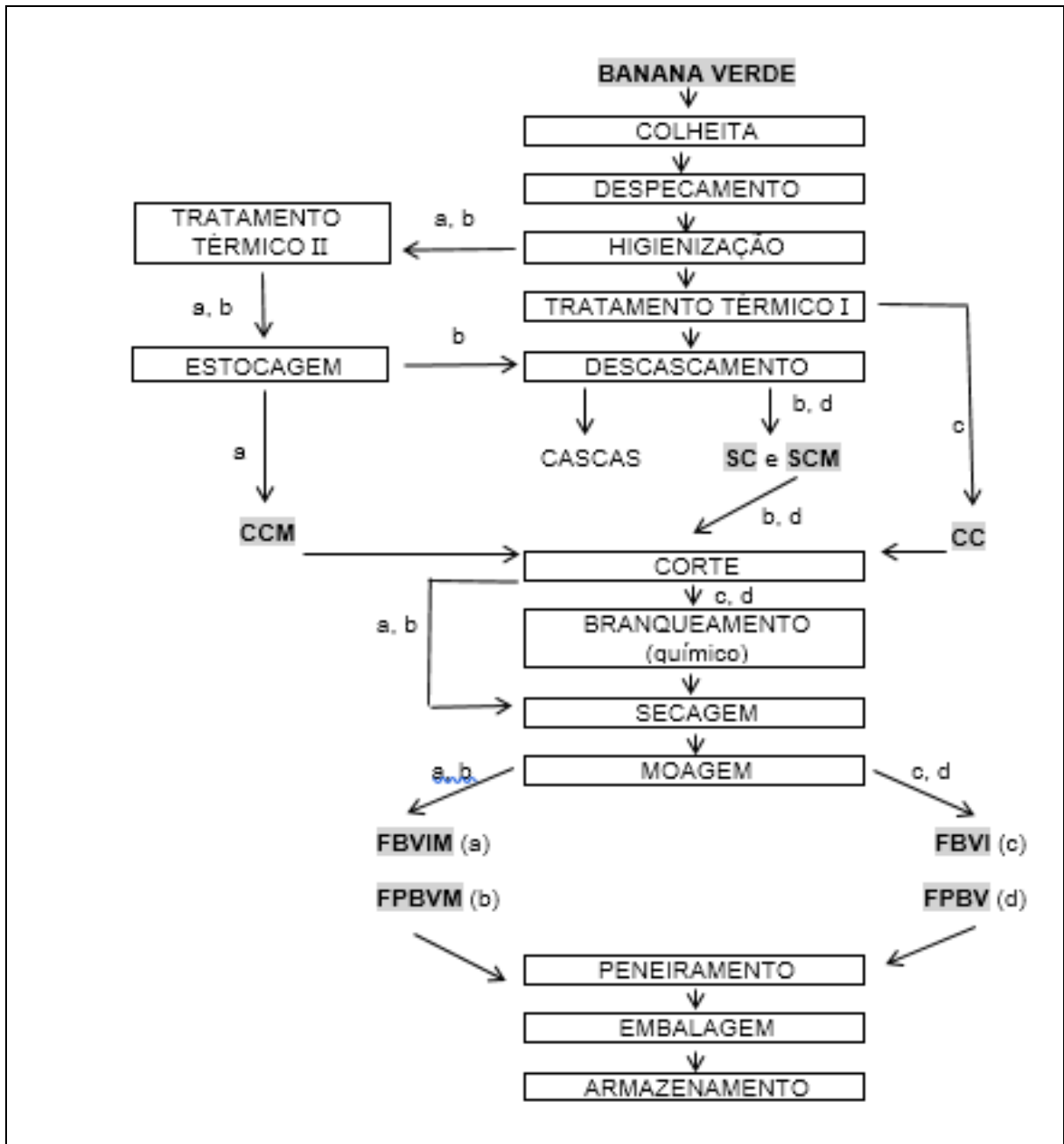


Figura 7. Esquema do processamento de farinha de banana verde. CC: banana com casca; SC: polpa de banana sem casca; CCM: banana com casca modificada; SCM: polpa de banana sem casca modificada; FBVIM: farinha de banana verde integral modificada (a); FPBVM: farinha de polpa de banana verde modificada (b); FBVI: farinha de banana verde integral (c); FPBV: farinha de polpa de banana verde (d).

As bananas destinadas ao método de processamento tradicional seguiram diretamente para corte após tratamento térmico I (FBVI) ou descascamento (FPBV).

Após descascamento manual, com auxílio de facas de aço inoxidável, a polpa foi fatiada no sentido perpendicular (rodela com espessura de $5,5 \pm 1,15$ mm), seguido de branqueamento químico, por meio de imersão em solução de ácido cítrico (0,5 % / 15 min). A operação de corte foi comum aos quatro tipos de tratamentos.

As rodela de banana verde foram distribuídas em três bandejas (aproximadamente 750 g, 800 g, 450 g, e 500 g para bananas CC, CCM, SC e SCM, respectivamente) e submetidas à secagem em secador experimental de camada delgada, até massa constante, ou seja, até o estabelecimento da U_e .

Após resfriamento a temperatura ambiente, as rodela de banana secas foram moídas em moinho de facas (Marconi ®, Modelo MA 345) e as farinhas obtidas (FBVIM; FPBVM; FBVI e FPBV) foram submetidas à operação de peneiramento (0,5 mm), acondicionadas em embalagem de polipropileno e armazenadas sob refrigeração (10 °C), para análises posteriores.

O rendimento dos quatro tipos de farinhas foi determinado segundo o balanço de massa (Figura 8), associado às operações de descascamento/corte, secagem e moagem, empregando método gravimétrico (diferença de massa).

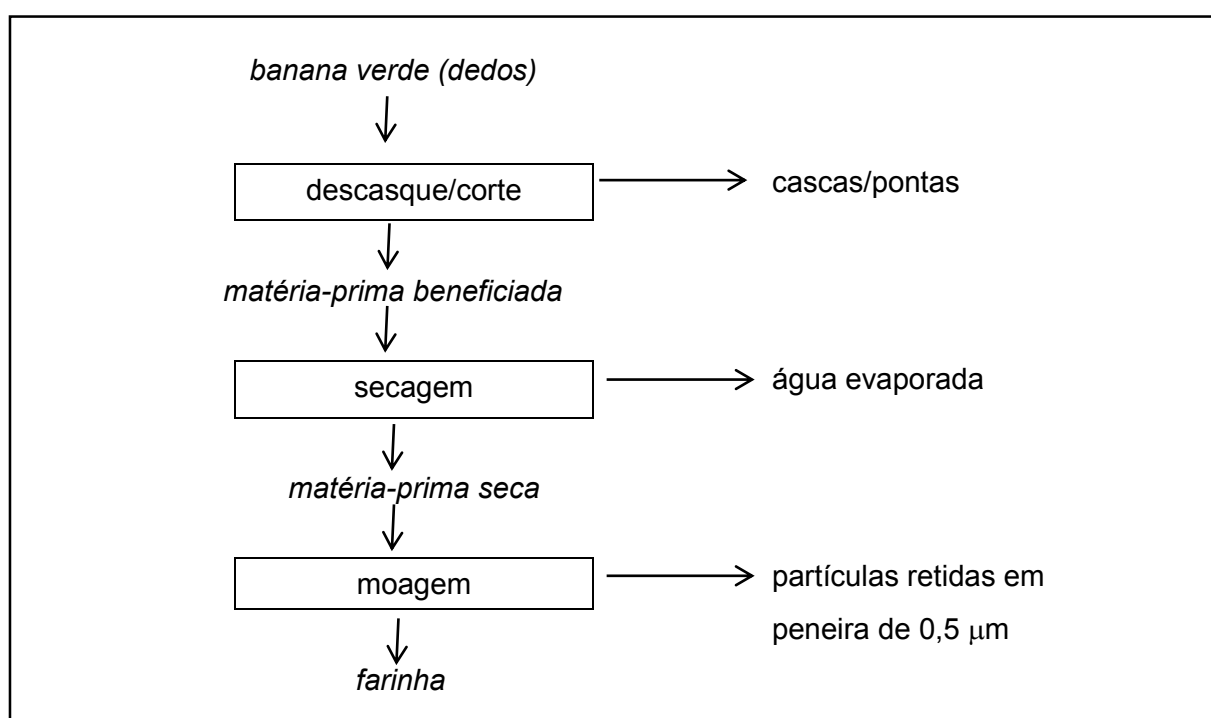


Figura 8. Esquema geral do balanço de massa do processamento de farinha de banana verde.

3.6. Análises de amido

3.6.1. Amido total

O amido total (AT) foi determinado empregando kit enzimático K-TSTA (Megazyme®), baseado em métodos oficiais da AOAC (996.11) e AACC (76-13.01), que consiste nas seguintes etapas (APENDICE A):

- Pesagem da amostra, solubilização em etanol 80 % e aquecimento, seguido da extração de glicose e maltodextrinas (sobrenadante) por centrifugação;
- Dispersão de AR em solução alcalina de KOH 2 mol·L⁻¹ em banho de gelo;
- Hidrólise enzimática do amido a glicose, empregando enzimas alfa-amilase termoestável e amiloglicosidase, em tampão de acetato de sódio (pH 3,8), a 50 °C / 30 min;
- Determinação da concentração de glicose, por método enzimático (glicose oxidase-peroxidase ou GOPOD) colorimétrico (absorvância a 510 nm).
- Determinação da concentração de AT (% em b. u.), pela conversão de glicose total (GT) em amido:

$$AT_{b.u.} = A_a \cdot \left(\frac{100}{A_p}\right) \cdot \left(\frac{VF}{0,1}\right) \cdot \left(\frac{1}{1000}\right) \cdot \left(\frac{100}{m_a}\right) \cdot 0,9 \quad (14)$$

- Determinação da concentração de AT (% em b. s.):

$$AT_{b.s.} = AT_{b.u.} \cdot \left(\frac{100}{100-U}\right) \quad (15)$$

Sendo:

- A_a: absorvância da amostra;
- A_p: absorvância do padrão;
- VF: volume final;
- m_a: massa (mg) da amostra;
- 0,9: fator de conversão de glicose em amido (glicose anidro);
- U: umidade da amostra (% p/p).

3.6.2. Digestibilidade de amido *in vitro*

As frações de ARD e ALD foram determinadas de acordo com o método de digestibilidade do amido *in vitro*, originalmente, proposto por Englyst et al. (1992), com modificações (APENDICE B):

O amido total foi determinado com emprego de *kit* enzimático K-TSTA da Megazyme® (item 3.6.1) e o AR determinado indiretamente por meio de cálculo.

O emprego de pepsina, na etapa de hidrólise, foi suprimido pois este tratamento não é significativo para amido de banana verde, de acordo com Walter et al. (2005). Assim, como não foi empregado enzima invertase, com base em ensaios preliminares, uma vez que no grau de maturação das bananas empregados neste estudo, o nível de açúcares (incluindo sacarose, glicose, entre outros) foi menor que 0,5 % (glicose livre ~ 0).

Esta análise consistiu nas seguintes etapas:

- a) Pesagem da amostra, solubilização em etanol 80 % e aquecimento, seguido da extração de glicose e maltodextrinas (sobrenadante) por centrifugação;
- b) Hidrólise enzimática do amido em glicose, empregando enzimas alfa-amilase pancreática e amiloglicosidase, em tampão de acetato de sódio (pH 5,2), sob agitação em banho-maria a 37 °C, que visa simular a digestão de amido no intestino delgado;
- c) Durante a hidrólise enzimática foram tomadas alíquotas aos 20 e 120 minutos, com adição de etanol 66 % para interromper a reação enzimática;
- d) Após centrifugação destas alíquotas, determinou-se a concentração de glicose no sobrenadante, por método enzimático (glicose oxidase-peroxidase ou GOPOD) colorimétrico (absorvância a 510 nm);
- e) Determinação da concentração (% em b.s.) de ARD, ALD e AR, empregando as seguintes equações:

$$ARD = (G_{20} \cdot 0,9 \cdot 100)/AT \quad (16)$$

$$ALD = ((G_{120} - G_{20}) \cdot 0,9 \cdot 100)/AT \quad (17)$$

$$AR = AT - (ARD + ALD) \quad (18)$$

Sendo:

- ARD: amido rapidamente digerível (% b. s.);
- ALD: amido lentamente digerível (% b. s.);
- AR: amido resistente (% b. s.);
- AT: amido total (% b. s.);
- G₂₀: glicose liberada após 20 minutos de hidrólise (g);
- G₁₂₀: glicose liberada entre 20 e 120 minutos de hidrólise (g);
- 0,9: fator de conversão de glicose em amido (glicose anidro);

3.6.3 Amido resistente tipo 2 (AR2)

A análise de AR2 foi avaliada segundo Englyst et al. (1992): duas porções (1,0 g) de cada tipo de FBV, foram tratadas como descrito para digestibilidade de amido *in vitro*, incluindo a adição de goma *guar* e pérolas de vidro. A cada uma destas porções foi adicionado 20 mL de tampão acetato de sódio 0,1 mol·L⁻¹. Uma das porções foi aquecida sob ebulição por 30 minutos em banho-maria, com agitação e resfriada a 37 °C. A seguir ambas foram incubadas em banho metabólico termostático. Após 120 minutos de hidrólise enzimática transferiu-se alíquotas de 0,5 mL de cada porção para 20 mL de etanol 66 % e submetidas à dosagem de glicose com GOPOD. A fração de AR2 foi determinada pela diferença entre a glicose liberada entre as duas porções:

$$AR2 = G_{120(C)} - G_{120(S)} \cdot 0,9 \quad (19)$$

Sendo:

- AR2: amido resistente tipo 2 (%);
- G_{120(C)}: glicose liberada após 120 minutos de hidrólise na porção com tratamento térmico (C);
- G_{120(S)}: glicose liberada após 120 minutos de hidrólise na porção sem tratamento térmico (S);
- 0,9: fator de conversão de glicose em amido (glicose anidro);

3.7. Propriedades da farinha de banana verde

As farinhas resultantes dos quatro tratamentos (FPBV; FBVI; FPBVM e FBVIM) foram caracterizadas por meio da digestibilidade de amido *in vitro* (item 3.6.2), além de suas propriedades físicas, químicas, físico-químicas e de pasta.

3.7.1. Análises físicas

3.7.1.1. Granulometria

A distribuição granulométrica (%) foi determinada empregando método 965.22 (AOAC, 2002) no equipamento Ro-Tap Testing Sieve Shaker (Cleveland, USA) com um conjunto de peneiras (20,3 cm de diâmetro) com aberturas de malha de 0,420; 0,297; 0,250; 0,210; 0,177 e 0,149 mm.

3.7.1.2. Cor instrumental

A análise objetiva da cor das farinhas foi determinada em colorímetro (Minolta Color Reader CR-10), por meio de leitura direta da amostra, trabalhando com iluminante D₆₅ (luz do dia, 6.500K), ângulo de observação de 10°, com resultados expressos no sistema CIELab (coordenadas L*, a*, b*) e pelo índice de escurecimento (IE), de acordo com a equação (PALOU et al., 1999):

$$IE = \frac{100 \cdot (X - 0,31)}{0,172} \quad (20)$$

$$X = \frac{(a + 1,75 \cdot L)}{(5,645 \cdot L) + (a - 3,021 \cdot b)} \quad (21)$$

3.7.2. Análises químicas e físico-químicas

3.7.2.1. Composição química

As análises da composição química em macronutrientes foram determinadas empregando os seguintes métodos:

- a) Umidade e extrato seco total (%): secagem em estufa a 105 °C até massa constante (0,01g) (AOAC, 2002).
- b) Cinzas ou resíduo mineral fixo: calcinação das amostras em mufla a 550 °C até obtenção de cinzas brancas e massa constante, pelo método 923.03 da AOAC (2002);
- c) Proteínas: digestão da amostra em micro Kjeldahl, segundo método 960.52 da AOAC (2002), empregando fator 6,25;
- d) Lipídios totais: pelo método 945.16 da AOAC (2002), utilizando-se destilador de Soxhlet e éter de petróleo;
- e) Amido total: determinado pelo emprego do kit enzimático K-TSTA da Megazyme ® (item 3.6.1).
- f) Amilose/amilopectina: a proporção entre amilose e amilopectina em relação ao amido foi determinada empregando Kit enzimático (K-AMYL 07/11) da Megazyme ®, que consiste na dispersão do amido em tampão dimetilsilfóxido (DMSO), seguido da extração de amilopectina por complexação com reagente concavalina A e centrifugação, e dosagem de amilose com GOPOD.
- g) Carboidratos não amiláceos: foram estimadas por cálculo [100 - (umidade + cinzas + proteína + lipídios + amido)].

3.7.2.2. Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) das farinhas foi determinado em pHmetro digital pelo método 981.12 (AOAC, 2002).

3.7.2.3. Acidez total titulável

A acidez total titulável em ácido málico (%) foi determinada por titulação com hidróxido de sódio 0,05N e indicador fenolftaleína pelo método 942.15 (AOAC, 2002).

3.7.2.4. Atividade de água

A atividade de água (a_w) das farinhas foi determinada diretamente em equipamento digital AquaLab, modelo 4TE (Decagon Devices Inc., EUA), com leituras em temperatura controlada de $25 \pm 0,3$ °C.

3.7.2.5. Minerais

A concentração (mg/100g) dos principais minerais presentes em FBV [fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), ferro (Fe), cálcio (Ca), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), e sódio (Na)] foram determinados após digestão prévia de 0,5 g de amostra em solução nitro-perclórica (HNO₃-HClO₄ / 1:4) a 200 °C:

- Sódio e potássio foram determinados em fotômetro de chama;
- Cálcio e Magnésio foram diluídos em solução de cloreto de estrôncio (SrCl₂), após digestão ácida, e determinados em espectrofotômetro de absorção atômica;
- Ferro, Cobre, Zinco e Manganês foram diluídos em água deionizada, após digestão ácida, e determinados em espectrofotômetro de absorção atômica;
- P foi determinado por espectrofotometria a 725 nm pelo método 986.24 (AOAC, 2002).

3.7.2.6. Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos das amostras de FBV foram extraídos em solução de metanol contendo HCl 1 % (10 g / 25 mL por 12 h a 25 °C) seguido de centrifugação.

A seguir foram quantificados segundo Singleton e Rossi (1965), com modificações: 0,5 mL de extrato foi misturado com 5 mL de reagente Folin-Ciocalteu ($1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$), neutralizado com solução de carbonato de sódio saturado, repouso por 2 h, seguido de leitura de absorvância a 765 nm. A reação baseia-se na redução do ácido fosfomolibídico-fosfotúngstico pelas hidroxilas fenólicas, produzindo um complexo de coloração azul em meio alcalino. A concentração de compostos fenólicos foi estimada como equivalente de ácido gálico ($\text{mg AGE}\cdot\text{mL}^{-1}$).

3.7.2.7. Capacidade antioxidante *in vitro*

Empregou-se ensaio da capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC) usando o radical ABTS (2,2'-azinobis-3-etil-benzotiazolin-6-sulfonado) segundo RE et al. (1999), com modificações. A reação com cátion ABTS ocorreu na proporção 1:1 (ABTS:persulfato de potássio), com leituras por espectrofotometria a 734 nm, após 6 minutos de reação. Construiu-se uma curva analítica com o antioxidante padrão Trolox (ácido 2-carboxílico-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano) e procedeu-se à diluição das amostras para estabelecimento da curva de amostra, contrastando com a curva padrão, e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ equivalente Trolox por grama de amostra, em base seca.

3.7.3. Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram determinadas com emprego de “*Rapid Visco Analyser*” - RVA (Newport Scientific), no CTAA/EMBRAPA, conforme método Método 61-02 (AACC, 2009).

Neste método a farinha foi dispersa em água destilada, seguido de aquecimento a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ e agitação durante 1 min, aquecimento a $95 \text{ }^\circ\text{C}$, repouso a esta temperatura por 2,5 min, e resfriamento para $50 \text{ }^\circ\text{C}$ e repouso por 2 min.

Os resultados de viscosidade (RVU) foram avaliados a partir dos gráficos, em função das variáveis de temperatura ($^\circ\text{C}$) e tempo (min), como mostra a Figura 9.

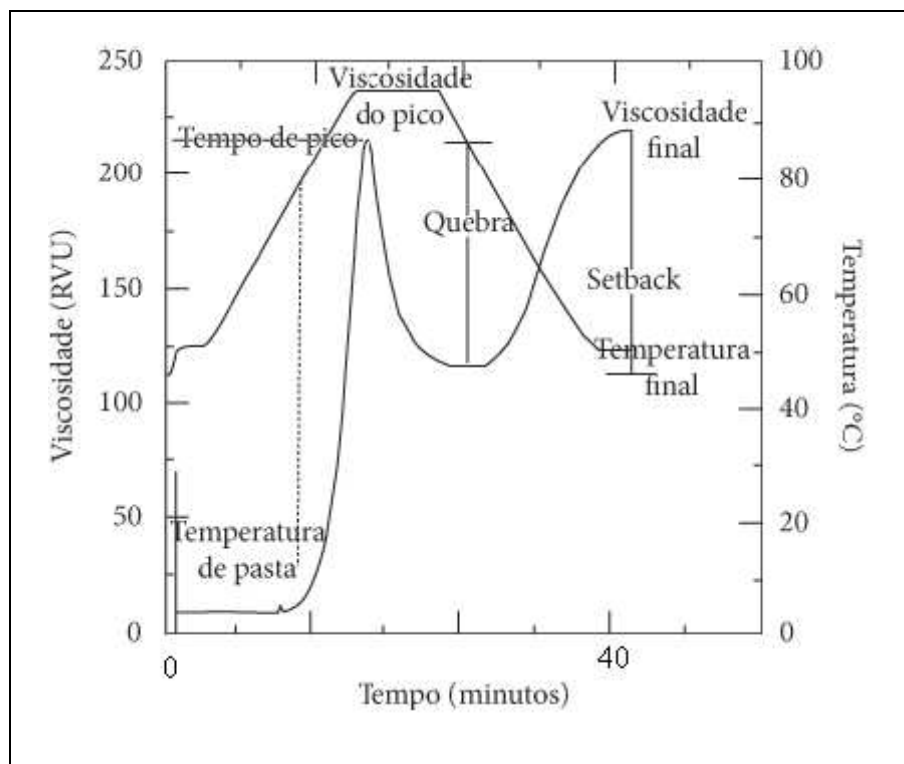


Figura 9. Curva de viscosidade típica do Analisador Rápido de Viscosidade.

Fonte: Adaptado de Newport Scientific (2001).

A partir deste método é possível estimar os seguintes índices:

- Temperatura de pasta (°C): corresponde à temperatura na qual a viscosidade começa a aumentar durante aquecimento, atribuído ao início do inchamento dos grânulos de amido e da lixiviação de moléculas de amilose;
- Viscosidade máxima (RVU) ou de pico: ocorre quando os grânulos em sua maioria, estão totalmente inchados. É um parâmetro relacionado à capacidade do amido em absorver água, e, conseqüentemente ao grau de intumescimento dos grânulos de amido durante o aquecimento. Assim, quando existem grandes quantidades de grânulos com elevada capacidade de intumescimento, ocorrem elevados picos de viscosidade;
- Tempo de viscosidade máxima (min) ou de pico: tempo no qual se dá a viscosidade máxima de pasta;
- Viscosidade mínima (RVU): menor valor da viscosidade à temperatura de 95 °C;
- *Breakdown* ou quebra (RVU): diferença entre a viscosidade de pico e a viscosidade mínima a 95 °C. É um índice associado à estabilidade dos grânulos

de amido ao aquecimento, pois, durante esse período, os grânulos de amido inchados rompem-se, a amilose lixivia do interior dos grânulos. Baixos valores de quebra indicam melhor resistência ao cisalhamento;

- Viscosidade final (RVU): valor da viscosidade obtido no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50 °C;
- *Setback* (RVU): diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima, que expressa a tendência à retrogradação. Durante o resfriamento da amostra, ocorre a reassociação entre as moléculas constituintes do amido, especialmente as de amilose, que resultam na formação de uma estrutura de gel e a viscosidade aumenta novamente até atingir a viscosidade final.

3.8. Delineamentos Experimentais

Este estudo foi estruturado em diferentes etapas, com delineamentos experimentais distintos em cada uma.

3.8.1. Efeito de ciclos de autoclavagem/refrigeração sobre a digestibilidade do amido

Para avaliar os efeitos dos ciclos de autoclavagem/refrigeração, sobre a digestibilidade *in vitro* do amido da banana, foi realizado um planejamento fatorial (3x3), com três repetições, adotando 3 níveis para cada fator (ciclos: 1, 2 e 3; tempo de armazenamento: 1, 2 e 3 dias), totalizando 27 unidades experimentais. As variáveis dependentes corresponderam à digestibilidade do amido *in vitro* (ARD, ALD e AR), amido total (AT), umidade (U) e somatório de AR + ALD, expressos em porcentagem.

3.8.2. Efeito da temperatura de secagem sobre a digestibilidade do amido

O tratamento D1/C1, determinado no ensaio 3.8.1, foi empregado para modificação do método tradicional de processamento de FBV, correspondendo à

autoclavagem (120 °C / 30 min) e estocagem sob refrigeração (4 °C / 24 h) das bananas verdes, antes da secagem.

Para o estudo da cinética de secagem e da digestibilidade do amido *in vitro* em rodelas de banana sem casca (SC), com casca (CC), sem casca por método modificado (SCM) e com casca por método modificado (CCM) foi montado um experimento disposto em blocos casualizados em esquema fatorial (4x4) em três repetições (blocos), para quatro níveis de temperatura (50 °C, 57 °C, 64 °C e 71 °C) e quatro tratamentos da matéria-prima, totalizando 48 unidades experimentais.

A secagem foi avaliada quanto à perda de massa até massa constante e os resultados foram expressos por meio de curvas de secagem (RU *versus* tempo), composto por duas variáveis independentes (matéria-prima e temperatura) e uma variável dependente ou resposta (RU).

A digestibilidade do amido nas fatias de banana, após secagem, foi avaliada quanto às porcentagens de ARD, ALD e AR em função dos tratamentos da matéria-prima (CC, SC, CCM e SCM) e os quatro níveis de temperatura.

3.8.3. Caracterização das farinhas de banana verde

As propriedades físicas, químicas, físico-químicas, digestibilidade do amido *in vitro* e de pastas de FBV obtidas por secagem a 71 °C e 1,5 m·s⁻¹, foram avaliadas em um experimento disposto em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com 4 tratamentos (FBVI, FPBV, FBVIM, FPBVM) e três repetições, totalizando 12 unidades experimentais. Todas as análises foram feitas em duplicata.

3.9. Análises estatísticas

Os dados de caracterização da matéria-prima, para cada etapa dos experimentos, foram avaliados por meio de análise descritiva e expressos por meio da estimativa da média e do desvio padrão.

As variáveis razão de umidade (RU) e tempo (min) relativo à cinética de secagem foram ajustadas a modelos mecanísticos, por meio da aplicação do método de mínimos quadrados.

Os resultados relativos aos efeitos de ciclos de tratamento térmico/estocagem sobre a digestibilidade do amido foram interpretados por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5 % de probabilidade, para determinação da diferença significativa entre as médias dos tratamentos.

Os resultados obtidos quanto aos efeitos da temperatura de secagem sobre a digestibilidade do amido foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e submetidos ao ajuste de modelo de regressão (temperatura) e teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Os dados referentes à caracterização dos quatro tipos de FBV foram inicialmente submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5 % de probabilidade, e posteriormente organizados numa matriz de amostras (em linhas) e propriedades (em colunas), para análise de agrupamento e expressos graficamente pela análise de componentes principais (ACP).

Todas as análises foram implementadas em programa estatístico *Statistical Analysis System* (SAS), versão 9.2, licenciado para a Universidade Federal de Viçosa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Efeito de ciclos de autoclavagem/refrigeração sobre a digestibilidade do amido

Na Tabela 5 encontram-se as propriedades de três lotes (cachos) de banana verde colhidos no estágio 1 (totalmente verde), de acordo com a escala de maturação de Von Loesecke (1950).

Tabela 5. Características físicas e químicas da polpa de banana verde (n = 3), no estágio 1 de maturação.

| Características | Média ± DP ¹ |
|------------------------|-------------------------|
| Firmeza (N) | 30,01 ± 5,76 |
| Umidade (%) | 72,00 ± 1,63 |
| Extrato seco (%) | 28,00 ± 1,63 |
| Amido (%) ² | 19,55 ± 0,35 |
| Amido (%) ³ | 69,82 ± 1,23 |
| ARD (%) ³ | 6,52 ± 4,75 |
| ALD (%) ³ | 0,84 ± 1,03 |
| AR (%) ³ | 62,47 ± 4,37 |

¹ DP: desvio padrão; ² base úmida; ³ base seca; ARD: amido rapidamente digerível; ALD: amido lentamente digerível; AR: amido resistente.

Neste estudo, a cultivar BRS Vitória, do sub-grupo prata, apresentou firmeza de 30,01 ± 5,76 N no estágio 1 de maturação. Tribess et al. (2009) e Sardá et al. (2016) obtiveram 25,8 ± 2,4 N e 31,4 N, respectivamente, para banana *Musa acuminata*, sub-grupo Cavendish, no mesmo estágio de maturação. Segundo Ditchfield, 2004 a medida de firmeza possui boa correlação com o estágio de maturação, além de ser uma medida objetiva, mas pode variar entre cultivares.

O amido é o segundo maior componente químico (19,55 %) na banana verde, após a água (Tabela 5). Este apresentou elevada proporção de AR (62,47 % b.s.). Resultados da literatura relatam níveis de AR em banana verde *in natura* de 42 a 57

% b. s. (FUENTES-ZARAGOZA et al., 2010; MENEZES et al., 2011; SARDÁ et al., 2016).

A banana verde *in natura* não é um alimento palatável, e as principais formas de processamento envolvem tratamento térmico, conseqüentemente perda da estrutura granular devido à gelatinização do amido, e redução da propriedade de AR. Na produção de FBV, é possível secar a fruta sob baixas temperaturas, abaixo da gelatinização do amido, porém quando empregado como ingrediente em outros produtos (panificação, confeitaria e massas alimentícias), o tratamento térmico adicional implicará em perdas mais drásticas de AR.

A principal motivação para realização deste trabalho foi a modificação do método tradicional de processamento de FBV, para obter a conversão do AR tipo 2 para AR tipo 3, por meio de retrogradação do amido, visando a redução das perdas de AR quando a FBV é empregada como ingrediente na formulação de produtos, cujo processamento emprega calor, uma vez que AR3 é termorresistente e AR2 é termosensível.

Na Figura 10 são mostradas as trocas ocorridas na digestibilidade do amido mediante a aplicação de um a três ciclos de tratamento térmico (121 °C / 30 min) e estocagem (4 °C) por diferentes períodos de tempos (24, 48 e 72 h) sobre a polpa da banana verde em comparação com a mesma antes deste tratamento (D0/C0).

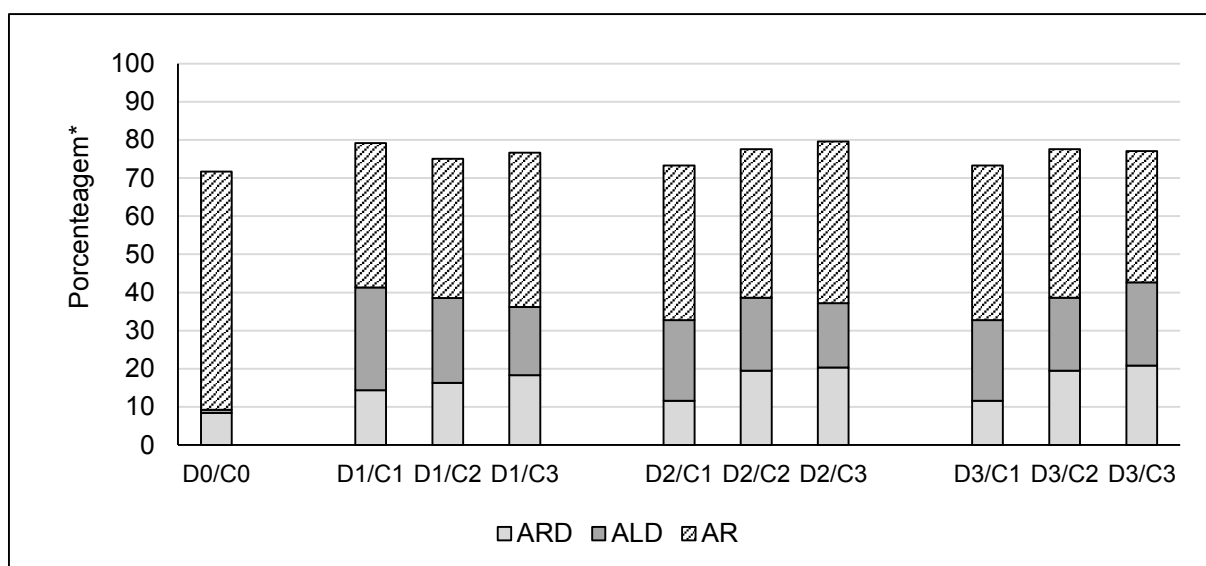


Figura 10. Digestibilidade do amido da polpa da banana verde submetida a ciclos de autoclavagem/refrigeração. D: número de dias; C: número de ciclos; AR: amido resistente; ARD: amido rapidamente digerível; ALD: amido lentamente digerível. * base seca.

Não houve diferença significativa nas proporções de ARD, ALD e AR ($p > 0,05$), em relação ao número de ciclos e dias de estocagem (ARD = $17,7 \% \pm 3,1$; ALD = $20,3 \% \pm 3,1$; AR = $38,5 \% \pm 2,4$), e assim o tratamento D1/C1 (estocagem a $5\text{ }^{\circ}\text{C} / 24\text{ h}$) foi empregado como tratamento da banana verde, antes da secagem e empregado como operação unitária para modificação do método tradicional de processamento de FBV.

As alterações na digestibilidade do amido da banana verde, após os ciclos de autoclavagem/refrigeração (Figura 10) foram devido à gelatinização dos grânulos de amido pelo tratamento térmico e à retrogradação das cadeias de amilose e amilopectina durante a estocagem sobre refrigeração. Como pode ser observado, estes tratamentos resultaram em aumento das frações de ARD e ALD, em função da redução nos níveis de AR.

Outro aspecto importante é que os ciclos de autoclavagem/refrigeração não resultaram em alterações significativas ($p > 0,05$) nos níveis de amido total ($76,54 \% \pm 2,03\text{ b.s.}$) e na umidade ($73,63 \% \pm 1,05$) das bananas verdes (Figura 11).

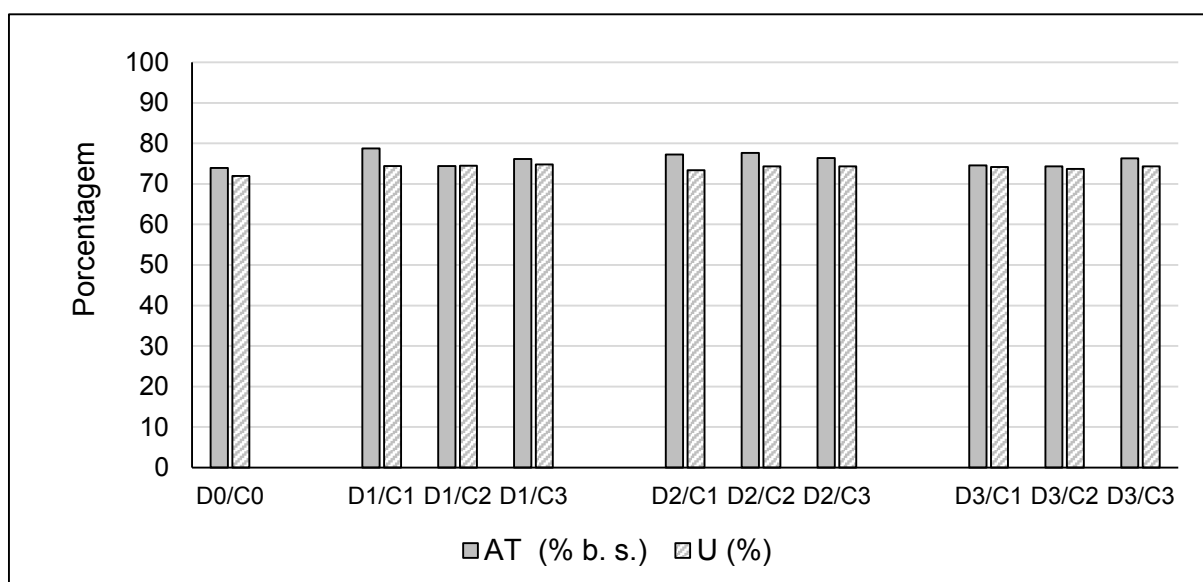


Figura 11. Umidade (U) e amido total (AT) da polpa da banana verde submetida a ciclos de autoclavagem/refrigeração. D: tempo de estocagem, em dias; C: número de ciclos. b. s.: em base seca.

4.2. Efeito da temperatura de secagem sobre a digestibilidade de amido

As características da banana verde de três lotes (repetição), colhidos no estágio 1 de maturação, estão descritas na Tabela 5, com destaque para a banana com casca, que possui cerca de 8 % a mais de umidade. A casca contribuiu para redução do extrato seco em cerca de 5,3 %. Também importante observar que a polpa da banana verde, cultivar BRS Vitória, apresentou 71,69 % de amido em base seca.

Tabela 6. Características físicas e químicas da banana verde (n = 3), no estágio 1 de maturação.

| Características | banana | Média ± DP ¹ |
|------------------|------------------------|-------------------------|
| Firmeza (N) | sem casca | 29,93 ± 0,91 |
| Umidade (%) | com casca | 79,21 ± 0,40 |
| | sem casca | 71,27 ± 0,19 |
| Extrato seco (%) | com casca | 23,46 ± 4,49 |
| | sem casca | 28,79 ± 0,23 |
| Amido (%) | sem casca ² | 20,80 ± 0,28 |
| | sem casca ³ | 71,69 ± 0,74 |

¹ DP: desvio padrão; ² base úmida; ³ base seca.

Os critérios empregados na secagem de bananas verdes para produção de farinhas já foram objeto de vários estudos, mas poucos relatam comparações entre o fruto com e sem casca. Silva et al., (2003) avaliaram a cinética de desidratação osmótica de polpa da banana da terra verde, em diferentes espessuras e concentrações de solução de cloreto de sódio; Nguyen e Price (2007) avaliaram o efeito da época de colheita, estágio de maturação e espessura do corte sobre a cinética de secagem; Ormenese (2010) avaliou o efeito de diferentes métodos de branqueamento e tipos de equipamentos de secagem sobre os níveis de amido resistente em farinha de polpa da banana verde; Cardoso (2012) avaliou a cinética de secagem de polpa de banana nanicão verde em função do estágio de maturação na faixa de 50 °C a 70 °C; Costa et al., (2014) avaliaram a cinética de secagem de banana prata verde, sob diferentes espessuras de corte, na faixa de 50 °C a 70 °C; Zabalaga e Carballo (2014) avaliaram a cinética de secagem de banana verde sem casca, em

relação à espessura do corte sob temperaturas na faixa de 30 °C a 60 °C; Pawan et al., (2015) avaliaram o efeito do branqueamento sobre as propriedades da farinha da polpa de banana verde, obtidas por secagem na faixa de 50 °C a 80 °C;

Neste estudo, o tempo de secagem variou com o tipo de pré-tratamento e com a temperatura empregada (Figura 12). Quanto maior a temperatura menor o tempo necessário para atingir a umidade de equilíbrio (U_e). Fatias de bananas CC necessitaram maior tempo de secagem que as SC (polpa), e a retrogradação do amido, como efeito da modificação do processamento por meio de autoclavagem/refrigeração, resultaram em aumento adicional do tempo de secagem em ambos (CCM e SCM) para a uma dada temperatura (Figura 12). Por exemplo, o tempo de secagem da banana a 71 °C, foi de 390 min (6,5 h), 310 min (5,2 h), 450 min (7,5 h) e 380 min (6,3 h) para fatias de banana CC, SC, CCM e SCM, respectivamente.

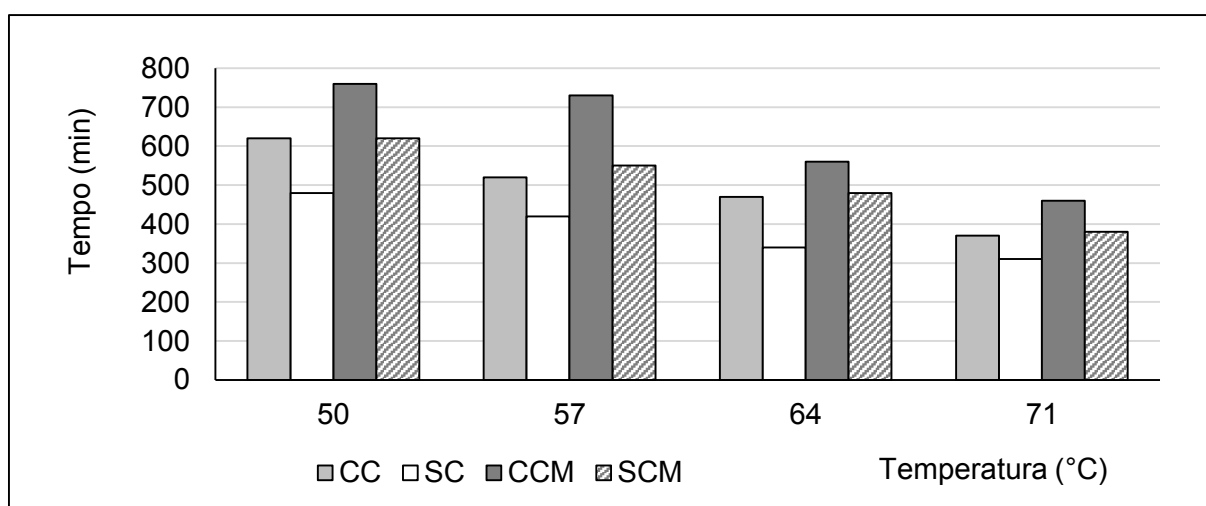


Figura 12. Tempo de secagem de banana verde em secador de camada delgada entre 50 °C e 71 °C, a 1,5 m·s⁻¹. CC: com casca; SC: sem casca; CCM: com casca modificada por autoclavagem/refrigeração; SCM: sem casca modificada por autoclavagem/refrigeração.

A presença da casca não interferiu na U_e , mas houve diferença significativa entre banana *in natura* (SC e CC) e aquelas previamente autoclavadas/refrigeradas (SCM e CCM), como apresentado na Tabela 7. Estes sugerem que ocorreram mudanças na forma de interação da água com os solutos, resultando em diferenças quanto ao tempo total de secagem (Figura 12), bem como na U_e (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios da umidade de equilíbrio (U_e) para bananas verde ($n = 12$), obtidas em secador de camada delgada, entre 50 °C e 71 °C, a 1,5 m·s⁻¹.

| Rodelas de Banana | U_e^* |
|-------------------|---------------------------|
| SC | 5,32 ± 1,31 _a |
| CC | 5,78 ± 0,95 _{ab} |
| SCM | 6,59 ± 1,18 _{bc} |
| CCM | 7,24 ± 1,17 _c |

CC: com casca; SC: sem casca; CCM: com casca modificada; SCM: sem casca modificada.

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ($p > 0,05$).

Quanto maior a temperatura de secagem menor foi a U_e ($p < 0,05$) (Figura 13), o que pode estar relacionado à difusividade efetiva. Esta propriedade será discutida posteriormente (item 4.2.1).

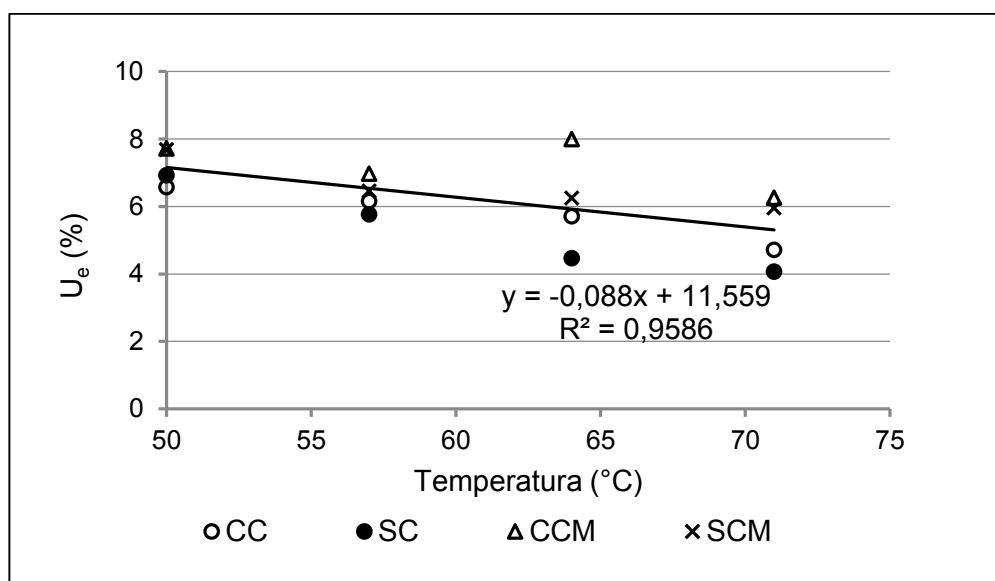


Figura 13. Variação da umidade de equilíbrio (U_e) para banana verde em função da temperatura de secagem. CC: banana com casca; SC: banana sem casca; CCM: banana com casca, modificada por autoclavagem/refrigeração; SCM: banana sem casca, modificada por autoclavagem/refrigeração.

Os resultados obtidos para a U_e , em todas as condições avaliadas, atendem ao limite máximo de 15 % de umidade para alimentos secos ou desidratados, regulamentadas pela RDC 263 (BRASIL, 2005), mas foram superiores aos resultados

obtidos por Borges et al. (2009), que foi de $3,3 \% \pm 0,08$ para secagem de banana do subgrupo prata a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 12 horas.

4.2.1. Modelagem da cinética de secagem

Os dados experimentais obtidos para a secagem de fatias de banana em secador experimental de camada delgada, nas temperaturas de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $57\text{ }^{\circ}\text{C}$, $64\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $71\text{ }^{\circ}\text{C}$, e velocidade do ar de $1,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, foram expressos em termos de razão de umidade (RU) *versus* tempo (min). Mediante regressão não-linear avaliou-se os modelos matemáticos de Newton, Page, Handerson-Pabis e de Dois Termos foras ,

A análise dos coeficientes dos modelos de Newton, Page, Handerson-Pabis (Apêndices C a F) ajustados aos dados experimentais mostrou que estes descrevem a cinética de secagem das fatias de bananas (CC, SC, CCM e SCM) para todas as temperaturas avaliadas ($p < 0,001$). O modelo de Dois Termos não foi adequado, pois apresentou pelo menos um coeficiente (a , k_1 , k_2 ou n) não significativo ($p > 0,001$) para todos os pré-tratamentos e temperaturas avaliados.

Foram analisados os dados estatísticos dos modelos, segundo Zabalaga e Carballo (2014), quanto maior o R^2 e menor os valores de χ^2 e de RQMR, melhor é o ajuste dos dados experimentais ao modelo. Na avaliação dos valores de R^2 , os modelos de Newton, Page e Handerson-Pabis foram adequados para descrever a cinética de secagem nas quatro temperaturas, com $R^2 > 0,99$ (Apêndices G a J).

O modelo de Page forneceu o melhor ajuste aos dados experimentais por resultar nos menores valores de χ^2 e RQMR. O conjunto de dados experimentais da secagem de fatias de banana verde (CC, SC, CCM e SCM) e as curvas preditas pelo modelo de Page estão representados nas Figuras 14 a 17. Os quatro tratamentos avaliados apresentaram um perfil de curva de secagem semelhante (decaimento exponencial). A razão de umidade (RU) diminuiu rapidamente nas primeiras horas, o que corresponde a elevada taxa de secagem, tendendo a diminuir ao longo do tempo e se tornando muito baixa a partir de $\text{RU} < 0,2$; como esperado.

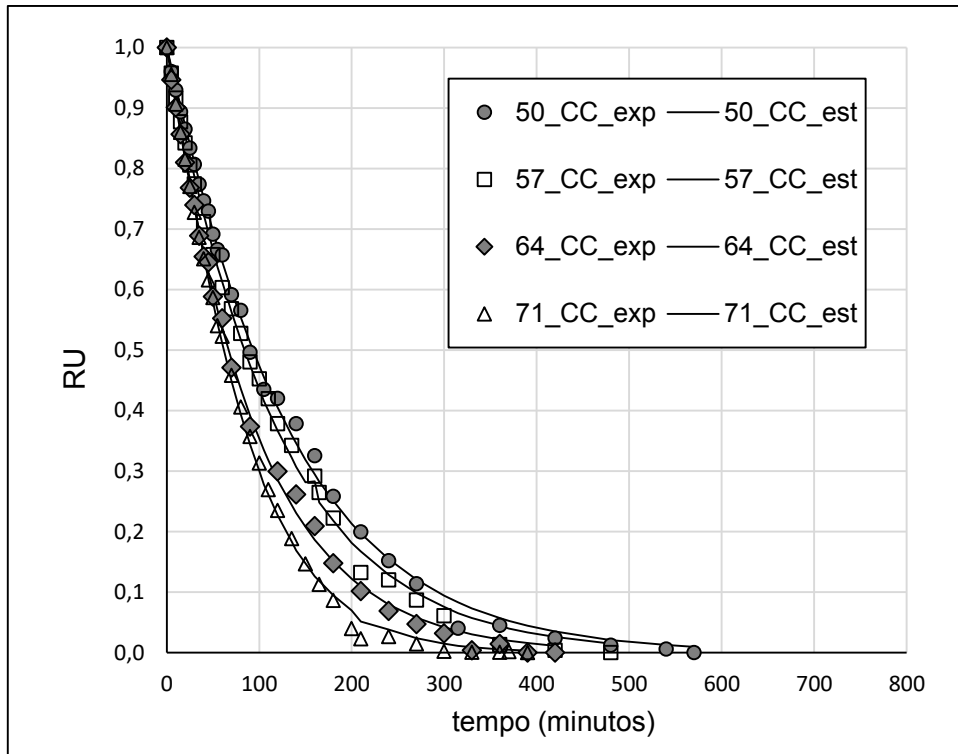


Figura 14. Curvas de secagem de banana verde com casca (CC) entre 50 °C e 71 °C, com o modelo de Page ajustado aos dados experimentais. exp: experimental; est: estimado.

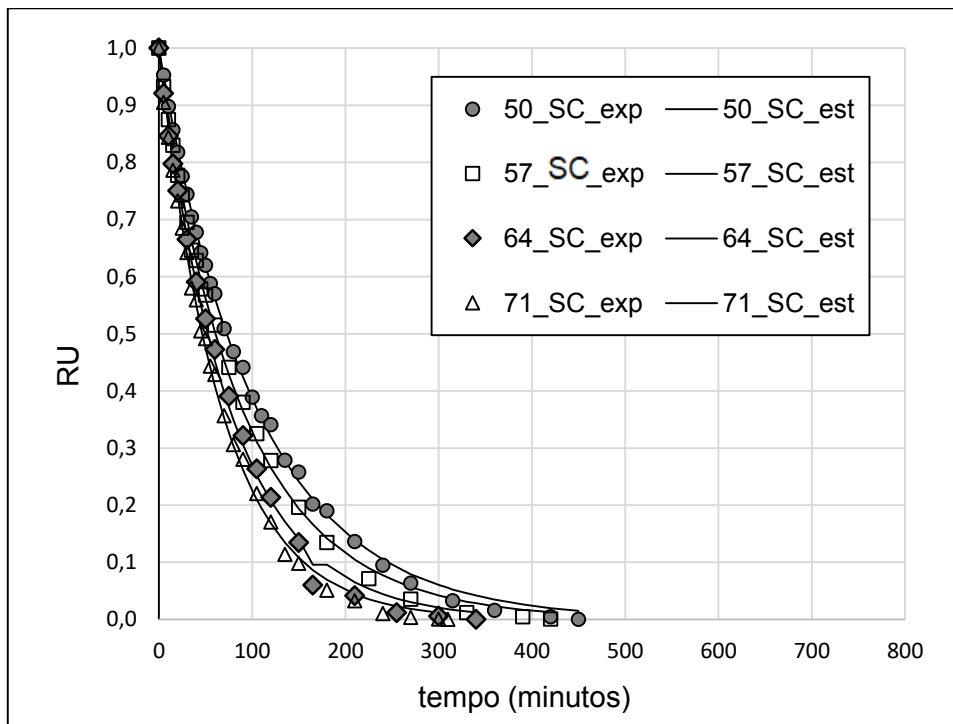


Figura 15. Curvas de secagem de banana verde sem casca (SC) entre 50 °C e 71 °C, com o modelo de Page ajustado aos dados experimentais. exp: experimental; est: estimado.

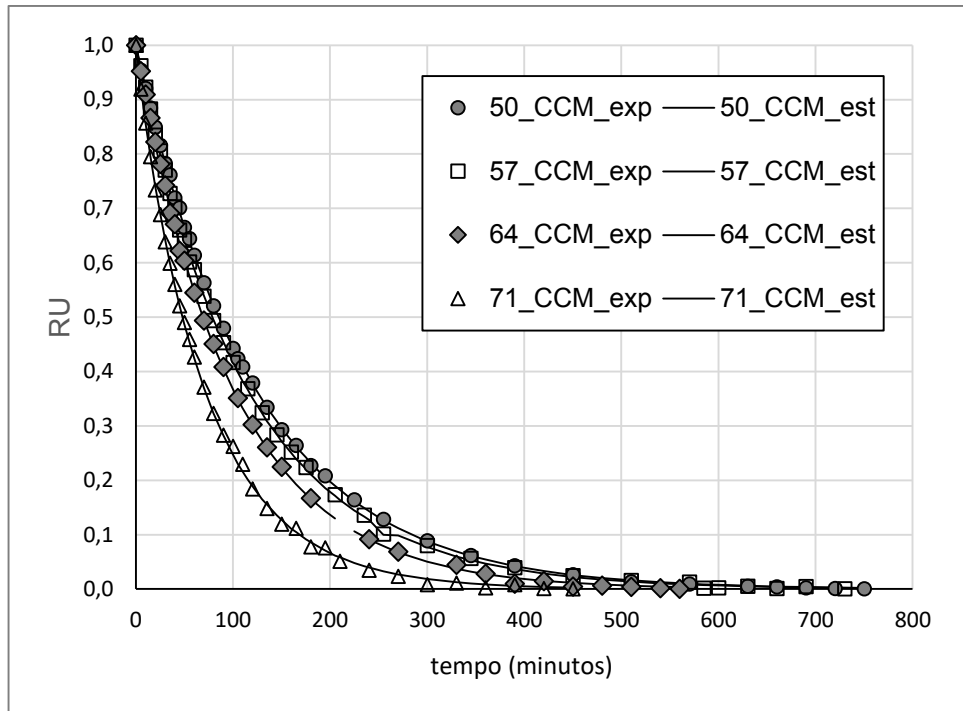


Figura 16. Curvas de secagem de banana verde com casca, modificada por autoclavagem/refrigeração (CCM), entre 50 °C e 71 °C, com o modelo de Page ajustado aos dados experimentais. exp: experimental; est: estimado.

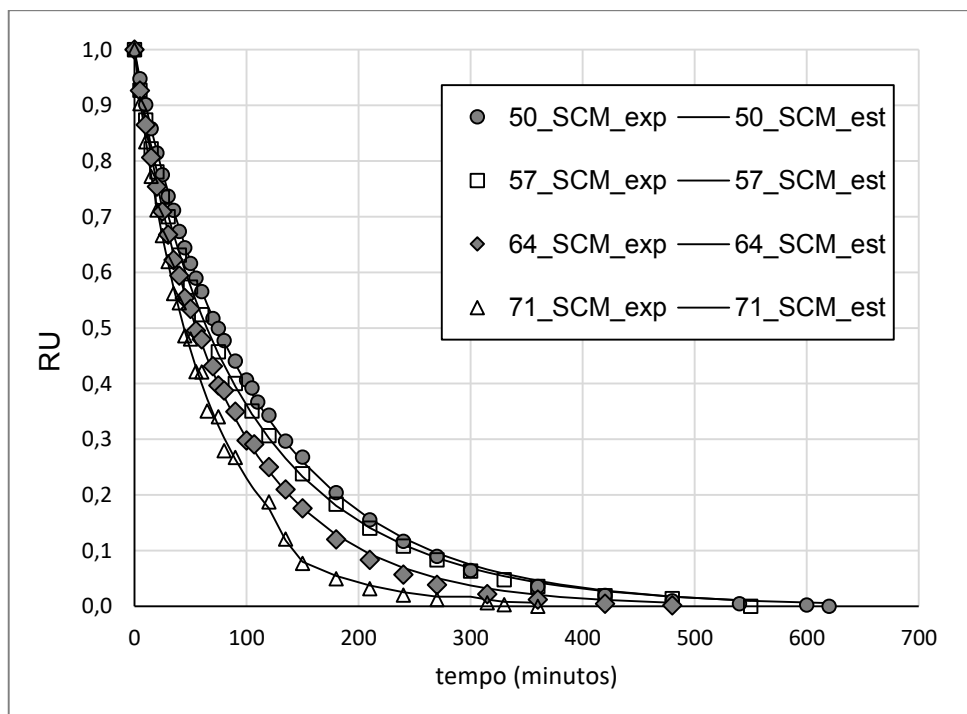


Figura 17. Curvas de secagem de banana verde sem casca, modificada por autoclavagem/refrigeração (SCM), entre 50 °C e 71 °C, com o modelo de Page ajustado aos dados experimentais. exp: experimental; est: estimado.

As variações observadas nos dados experimentais da secagem também podem ser descritas pelo coeficiente de difusividade efetiva (D_{ef}), que determina as diferenças da difusão da água do interior das rodela de banana para o ar de secagem (ZABALAGA e CARBALLO, 2014).

Os valores de R^2 (Figuras 18 a 21) determinados para o ajuste dos dados experimentais ao modelo de Arrhenius, por meio de regressão linear, indicam que este descreve satisfatoriamente o comportamento da secagem. Os valores de D_{ef} (Tabela 8) para cada pré-tratamento das rodela de banana, com espessura de 5,5 mm, indicam a velocidade em que ocorre a difusão de água destas para o ar de secagem.

Segundo Zabalaga e Carballo (2014), as diferenças nos valores de D_{ef} podem ser atribuídas às cultivares de banana, condições de processamento e características dos equipamentos de secagem.

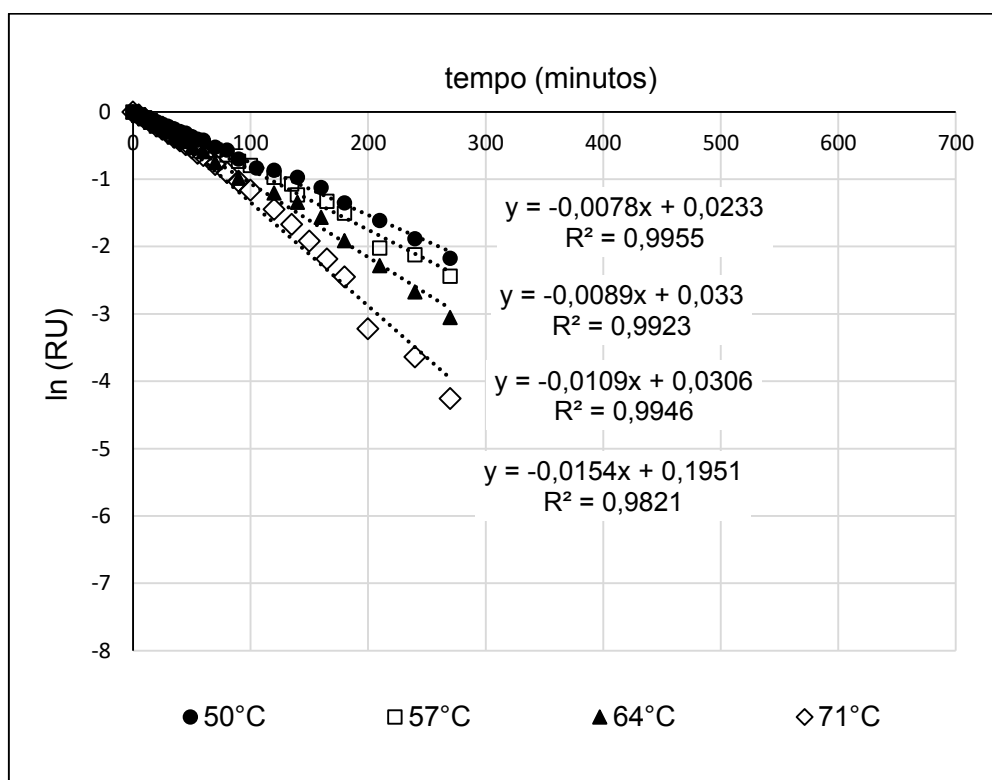


Figura 18. Linearização das curvas de secagem de banana verde com casca (CC).

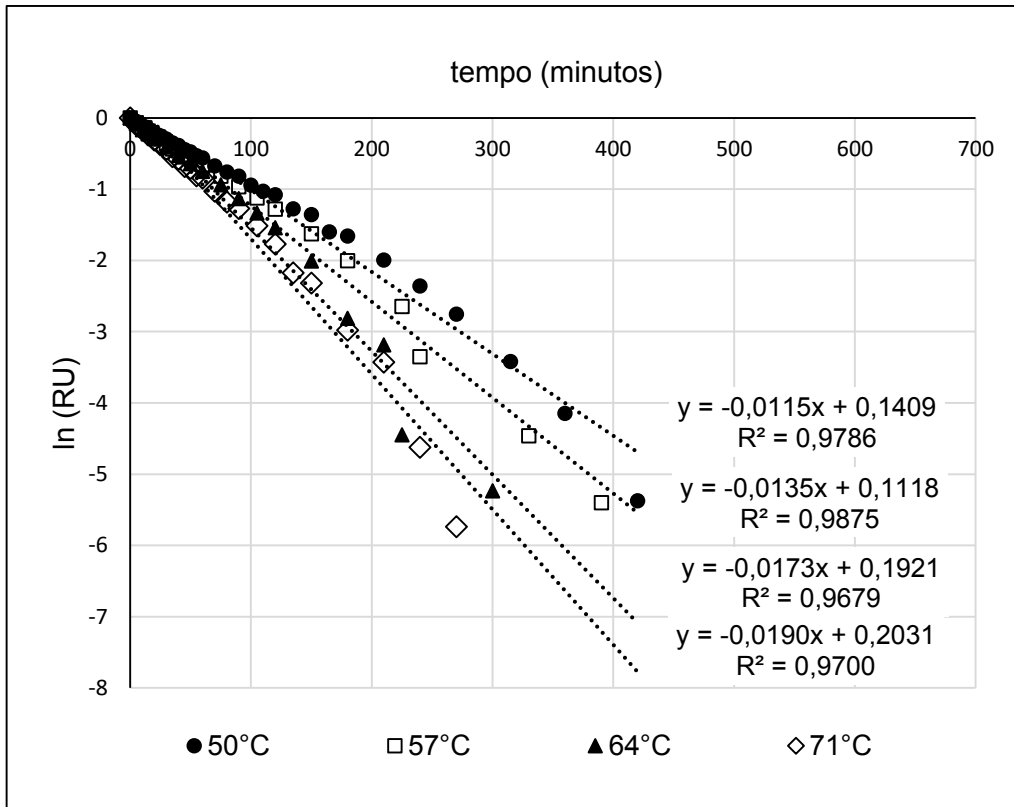


Figura 19. Linearização das curvas de secagem de banana verde sem casca (SC).

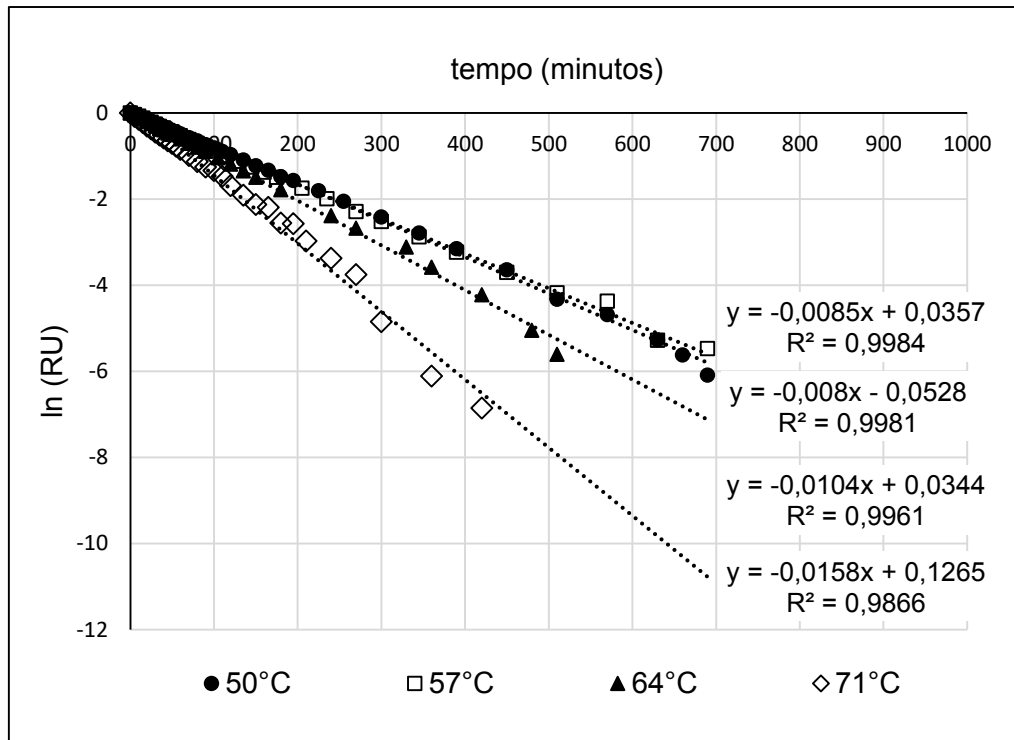


Figura 20. Linearização das curvas de secagem de banana verde com casca, modificada por autoclavagem/refrigeração (CCM).

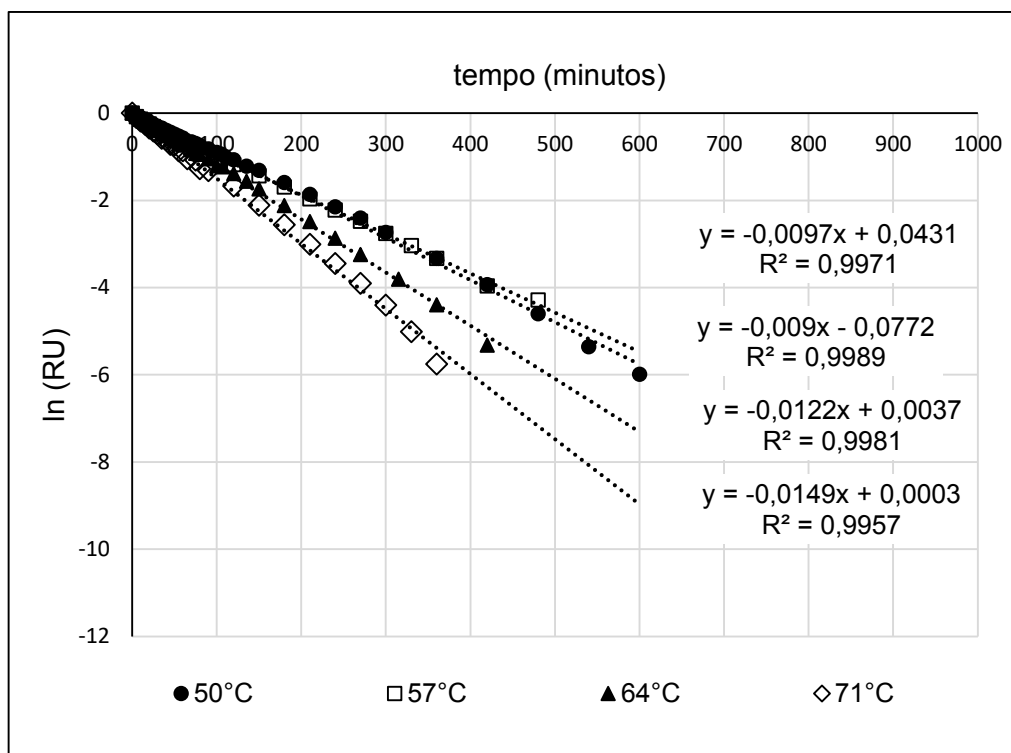


Figura 21. Linearização das curvas de secagem de banana verde sem casca, modificada por autoclavagem/refrigeração (SCM).

Tabela 8. Valores de difusividade efetiva (D_{ef}) para secagem de banana verde entre 50 °C e 71 °C, a 1,5 m·s⁻¹.

| Temperatura (°C) | D_{ef} (10^{-10} m ² ·s ⁻¹) | | | |
|---------------------|---|------|------|------|
| | CC | SC | CCM | SCM |
| 50 | 4,60 | 5,87 | 4,34 | 4,96 |
| 57 | 5,88 | 6,74 | 4,09 | 4,60 |
| 64 | 7,66 | 8,63 | 5,31 | 6,23 |
| 71 | 10,22 | 9,71 | 8,07 | 7,61 |

CC: banana com casca; SC: banana sem casca; CCM: banana com casca, modificada por autoclavagem/refrigeração; SCM: banana sem casca, modificada por autoclavagem/refrigeração.

Os valores de D_{ef} (Tabela 8) indicam que quanto maior a temperatura melhor a eficiência da secagem. A banana CC apresentou menor D_{ef} em relação à banana SC, sugerindo que a casca contribuiu para aumentar a resistência à evaporação da água,

no entanto essa diferença diminui com o aumento da temperatura. Por outro lado, a análise comparativa entre banana modificada e *in natura* à mesma temperatura de secagem, sugere que a retrogradação do amido contribuiu para diminuir o D_{ef} , corroborando com os resultados obtidos quanto ao tempo necessário para atingir a U_e (Figura 12), entre banana *in natura* (CC e SC) e modificada (CCM e SCM).

Na Figura 22 observa-se relação linear, derivada da equação de Arrhenius, do logaritmo natural de D_{ef} em função da temperatura absoluta. Da inclinação desta reta, obteve-se a energia de ativação de $35,102 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1}$; $23,153 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1}$; $45,820 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ e $34,044 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ para CC, SC, CCM e SCM, respectivamente, indicando a barreira que deve ser ultrapassada para que a difusão da água possa ser desencadeada no produto (KASHANINEJAD et al., 2007). Isso corrobora os resultados observados para as curvas de cinética de secagem (Figuras 14 a 17), quanto às diferenças em relação ao tempo para atingir a U_e .

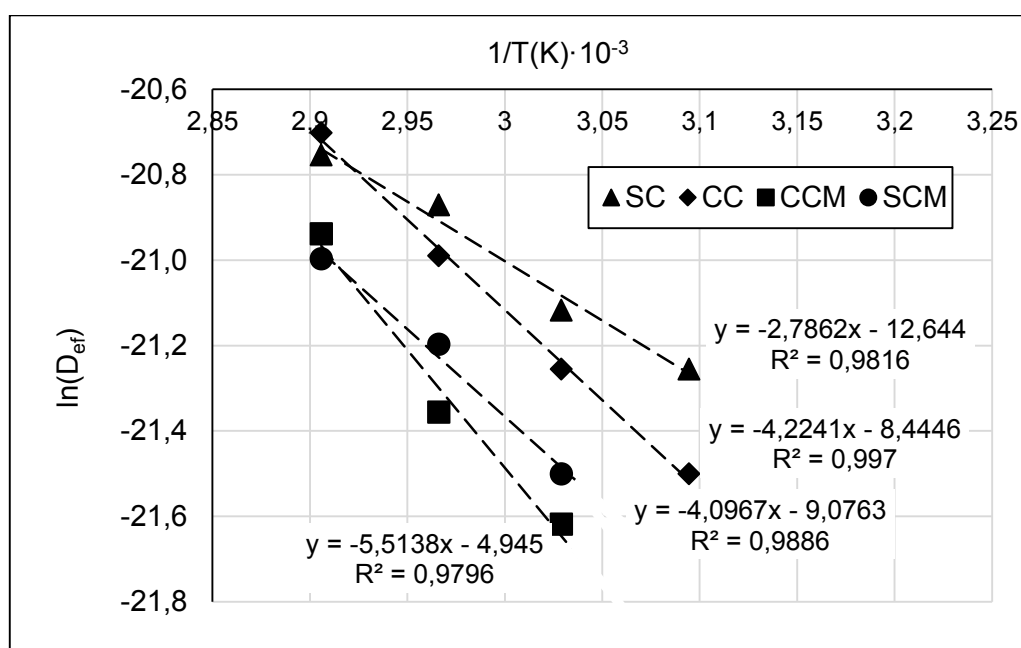


Figura 22. Efeito da temperatura [$1/T(K)$] na difusividade efetiva [$\ln(D_{ef})$] de banana verde. CC: com casca; SC: sem casca; CCM: com casca, modificada por autoclavagem/refrigeração; SCM: sem casca, modificada por autoclavagem/refrigeração.

Segundo ZOGZAS et al (1996), os valores de D_{ef} para produtos alimentícios encontram-se na faixa entre 10^{-11} a $10^{-9} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$, como obtido neste estudo. Resultados

de D_{ef} semelhantes ($1,2 \cdot 10^{-10}$ a $6,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) foram obtidos por Zabalaga e Carballo (2014) para banana verde da cultivar Nanicao, na faixa de 30 °C a 60 °C.

4.2.2. Digestibilidade do amido

O intervalo de temperatura de secagem entre 50 °C a 71 °C, usado neste estudo, não resultou em alterações significativas ($p > 0,05$) na digestibilidade do amido (Figura 23), independentemente do pré-tratamento (CC, SC, CCM e SCM). Estes por sua vez foram significativos ($p < 0,05$) sobre a digestibilidade do amido (Tabela 8).

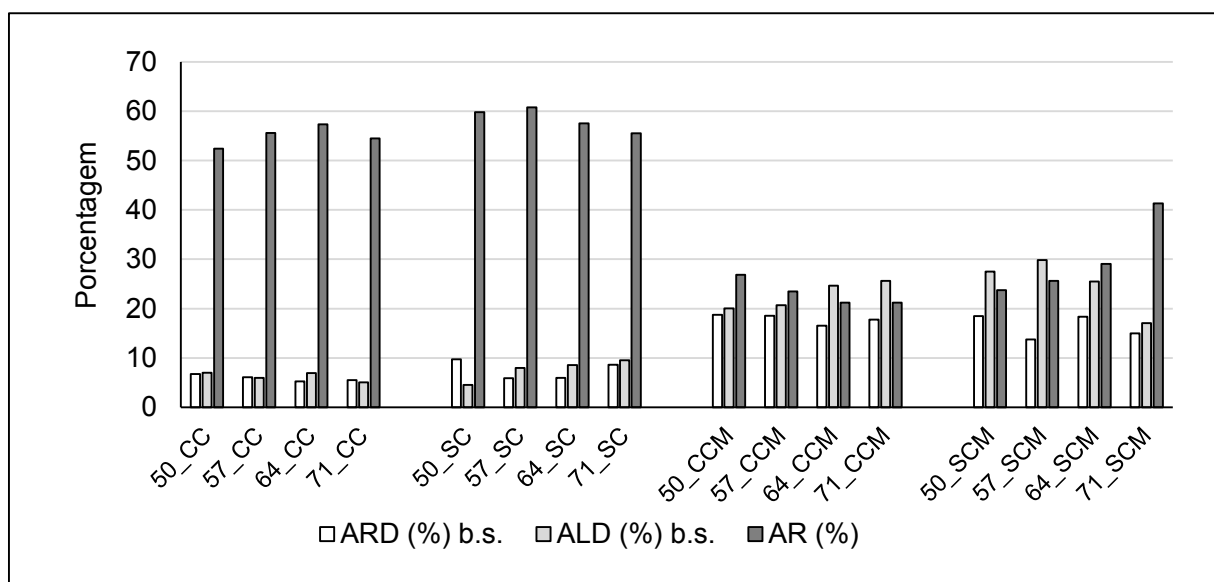


Figura 23. Efeito da temperatura de secagem (50 °C a 71 °C) sobre a digestibilidade *in vitro* de amido de banana verde. CC: com casca; SC: sem casca; CCM: com casca, modificada por autoclavagem/refrigeração; SCM: sem casca, modificada por autoclavagem/refrigeração; ARD: amido rapidamente digerível; ALD: amido lentamente digerível; AR: amido resistente.

Como apresentado no item 4.1 (Figura 10), a retrogradação do amido resulta em mudanças drásticas na digestibilidade do amido, com redução de AR e aumento de ARD e ALD. Importante destacar que o AR é convertido em ARD e ALD, e que este último também é desejável nutricionalmente. Zhang e Hamaker (2012) sugerem que se avalie o somatório das frações de AR e ALD, neste caso corresponderam a

61,19 %; 66,05 %; 44,42 % e 54,71 % da matéria seca total, para CC, SC, CCM e SCM, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9. Valores médios da digestibilidade *in vitro* do amido de banana verde submetida a secagem na faixa de 50 °C a 71 °C, a 1,5 m·s⁻¹.

| Amido (%) b.s. | Banana | | | |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | CC | SC | CCM | SCM |
| AT | 67,07 ± 1,96 _a | 73,57 ± 1,12 _b | 60,92 ± 6,88 _a | 71,31 ± 2,16 _b |
| ARD | 5,88 ± 0,67 _a | 8,14 ± 2,97 _b | 19,32 ± 2,19 _d | 17,04 ± 3,90 _c |
| ALD | 6,21 ± 0,93 _a | 7,61 ± 2,18 _a | 21,23 ± 2,33 _b | 24,79 ± 2,80 _c |
| AR | 54,98 ± 2,06 _c | 58,43 ± 2,35 _c | 23,18 ± 2,65 _a | 29,93 ± 7,90 _b |
| ALD + AR | 61,19 ± 2,28 _{b,c} | 66,05 ± 1,91 _c | 44,42 ± 2,68 _a | 54,71 ± 5,24 _b |

CC: com casca; SC: sem casca; CCM: com casca, modificada por autoclavagem/refrigeração; SCM: sem casca, modificada por autoclavagem/refrigeração; AT: amido total; ARD: amido rapidamente digerível; ALD: amido lentamente digerível; AR: amido resistente. * médias seguidas da mesma letra (horizontal) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Quanto ao ARD também houve diferença significativa ($p < 0,05$) para a interação entre as bananas (CC, SC, CCM e SCM) e a temperatura de secagem (Figura 24).

Aqui, faz-se necessário caracterizar o tipo de AR, que no caso da banana verde o amido granular é AR tipo 2 (AR2) e o amido retrogradado, independente da fonte é o AR tipo 3 (AR3) (Englyst et al., 1992). Os resultados apresentados na Figura 25 indicam que as bananas autoclavadas e estocadas sob refrigeração (CCM e SCM), como modificação do método tradicional de produção de FBV (CC e SC), resultaram na conversão de AR2 para AR3.

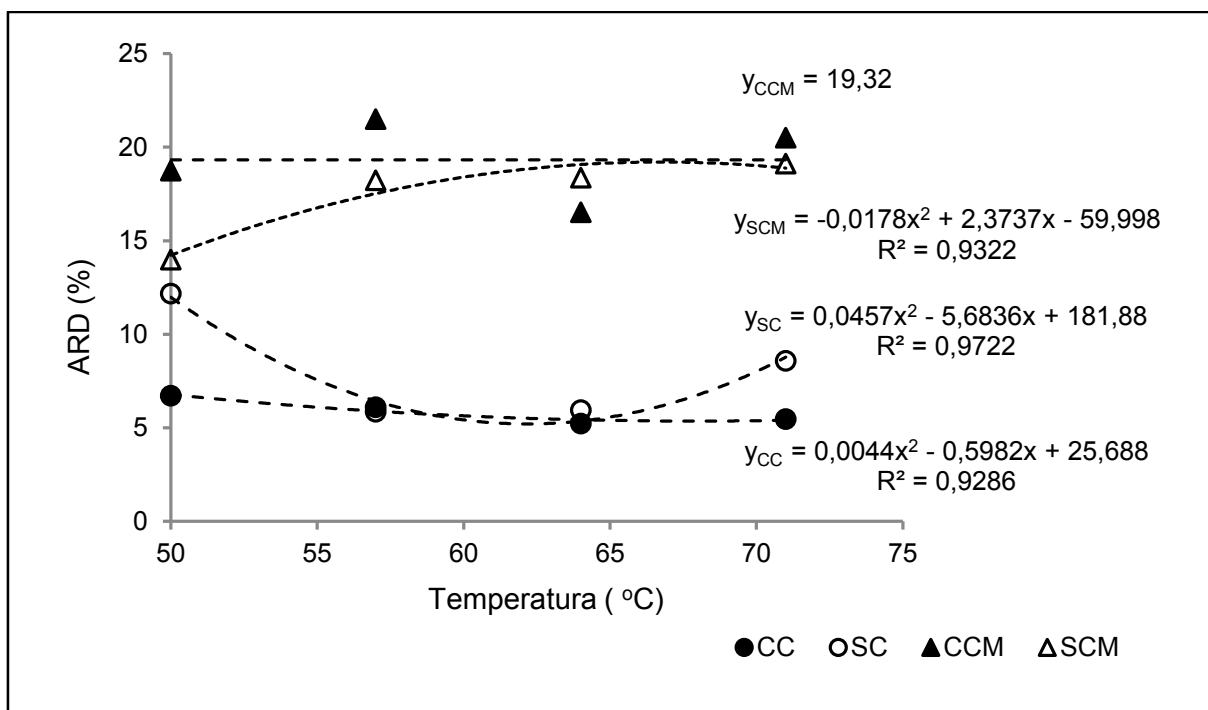


Figura 24. Variações do percentual de amido rapidamente digerível (ARD) em função da temperatura de secagem da banana verde. CC: com casca; SC: sem casca; CCM: com casca, previamente modificada por autoclavagem/refrigeração; SCM: sem casca, previamente modificada por autoclavagem/refrigeração.

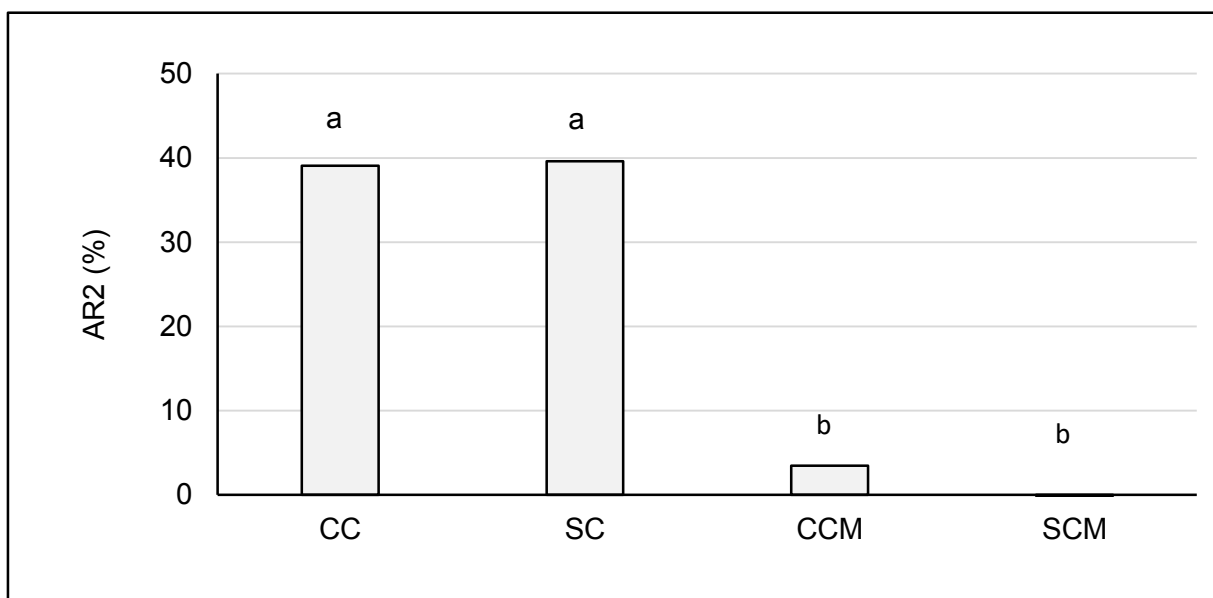


Figura 25. Valores médios (n=12) para o percentual de amido granular (AR2) de banana verde seca em secador de camada delgada. CC: com casca; SC: sem casca; CCM: com casca, previamente modificada por autoclavagem/refrigeração; SCM: sem casca, previamente modificada por autoclavagem/refrigeração. * Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

4.2.3. Cor instrumental

A temperatura de secagem na faixa de 50 °C a 71 °C não afetou significativamente ($p > 0,05$) a cor, em relação à luminosidade (L^*) e ao índice de escurecimento (IE), mas houve diferença significativa ($p < 0,05$) quanto aos tratamentos prévios à secagem.

A presença da casca e a autoclavagem/refrigeração foram os fatores responsáveis por reduzir os valores de L^* e aumentar o IE, como pode ser observado na Figura 26.

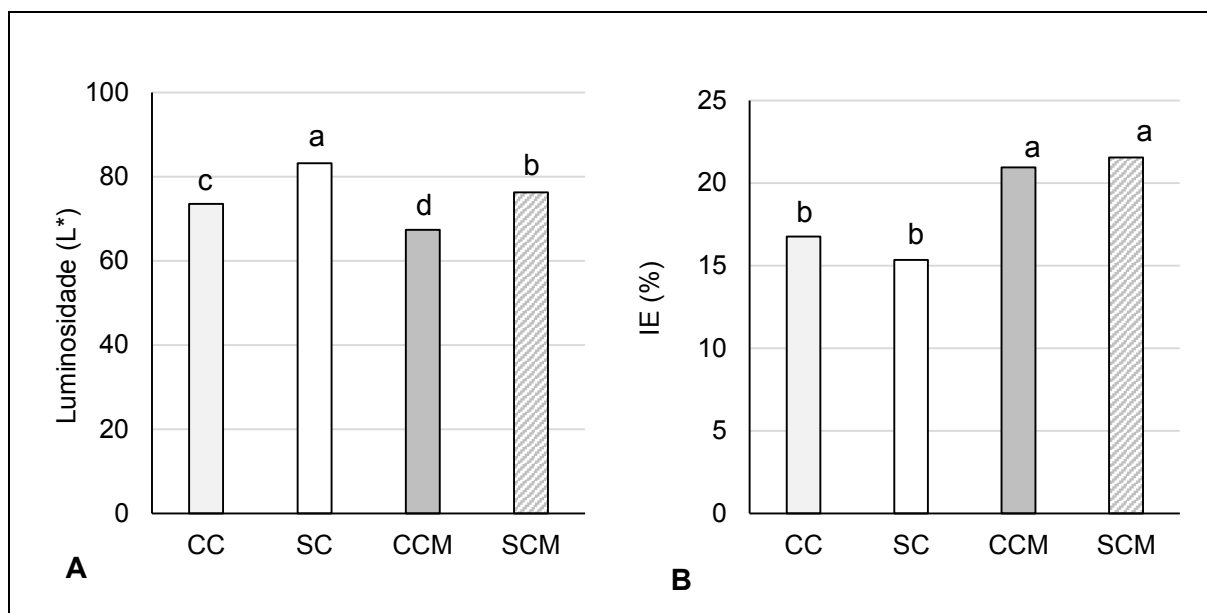


Figura 26. Valores médios ($n=12$) para luminosidade (A) e índice de escurecimento (IE) (B) de banana verde seca em secador de camada delgada. CC: com casca; SC: sem casca; CCM: com casca, previamente modificada por autoclavagem/refrigeração; SCM: sem casca, previamente modificada por autoclavagem/refrigeração. * Letras iguais não diferem entre si teste de Tukey ($p > 0,05$).

O efeito da temperatura de secagem da banana verde sobre a cor foi avaliado como um critério complementar neste estudo, mas não menos importante, por ser um aspecto marcante, para a natureza do produto, principalmente quando se tem a farinha de trigo branca como referência.

Pelos resultados obtidos nessa fase determinou-se que a temperatura de 71 °C é a mais indicada para processamento de FBV (CC, SC, CCM ou SCM), devido ao

menor tempo para secagem até massa constante, sem efeitos significativos sobre a digestibilidade do amido e sobre a cor.

4.3. Produção e caracterização das farinhas

Três cachos de bananas verde, colhidos no estágio 1 de maturação (totalmente verdes), apresentando $33,47 \text{ N} \pm 3,50$ para a firmeza da polpa; $78,74 \% \pm 1,07$ e $76,15 \% \pm 1,23$ de umidade e amido (b.s.), respectivamente, para a banana com casca; $68,93 \% \pm 1,06$ e $71,30 \% \pm 3,45$ de umidade e amido (b.s.), respectivamente, para a polpa da banana, foram empregados para produção de três lotes (repetições) de farinhas em secador de camada delgada a $71 \text{ }^\circ\text{C}$ e $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Avaliou-se o efeito da casca da banana e/ou da retrogradação do amido sobre as propriedades de digestibilidade do amido *in vitro*, além da determinação do rendimento do processamento e das propriedades físicas, físico-químicas e de pasta para os quatro tipos de farinha de banana verde:

- farinha de banana verde com casca ou farinha de banana verde integral (FBVI);
- farinha de banana verde sem casca ou farinha de polpa de banana verde (FPBV);
- farinha de banana verde integral modificada por autoclavagem/refrigeração (FBVIM);
- farinha de polpa de banana verde modificada por autoclavagem/refrigeração (FPBVM).

4.3.1. Rendimento

A cultivar BRS Vitória apresentou em torno de 50 % de cascas, refletindo o baixo rendimento (Tabela 10) na etapa de descasque/corte para FPBV e FPBVM, enquanto para FBVI e FBVIM as perdas foram devido às pontas, removidas nas duas extremidades dos dedos da banana. O rendimento na etapa de secagem difere quanto à presença de cascas, que possuem em torno de 10 % a mais de água em relação à

polpa. Na etapa de moagem, a retrogradação do amido nas bananas previamente tratadas com autoclavagem (121 °C / 30 min) e refrigeração (4 °C / 24 h) foi responsável por uma elevada quebra no rendimento, devido à formação de material mais duro, gerando principalmente a formação de maior proporção de farinha de maior granulometria (Figura 27), conseqüentemente maior quantidade de resíduo ou material retido na peneira de 0,5 mm, após a moagem.

Tabela 10. Rendimentos das farinhas de banana verde obtidas por diferentes métodos de processamento.

| Operações | FBVI (%) | FPBV (%) | FBVIM (%) | FPBVM (%) |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| descasque/corte | 93,87 ± 0,69 | 51,01 ± 1,47 | 94,98 ± 1,14 | 50,96 ± 5,34 |
| secagem | 20,82 ± 0,31 | 28,20 ± 1,29 | 19,78 ± 2,25 | 28,04 ± 0,98 |
| moagem | 89,20 ± 2,87 | 97,98 ± 2,43 | 75,04 ± 1,62 | 82,29 ± 5,01 |
| Rendimento Final | 17,36 ± 0,30 | 27,63 ± 1,54 | 14,09 ± 1,59 | 23,76 ± 1,98 |

FBVI: farinha de banana verde integral; FPBV: farinha de polpa de banana verde; FBVIM: farinha de banana verde integral modificada por autoclavagem/refrigeração; FPBVM: farinha de polpa de banana verde modificada por autoclavagem/refrigeração.

4.3.2. Propriedades físicas

Avaliou-se as propriedades físicas relativo à granulometria e à cor instrumental das farinhas de banana verde obtidos neste estudo.

4.3.2.1. Granulometria

As quatro farinhas de banana verde avaliadas apresentaram granulometria média de 263,03 $\mu\text{m} \pm 2,47$ (FBVI), 236,56 $\mu\text{m} \pm 12,51$ (FPBV), 302,08 $\mu\text{m} \pm 2,78$ (FBVIM) e 297,40 $\mu\text{m} \pm 5,16$ (FPBVM). A distribuição granulométrica (Figura 27) mostra que FBVIM e FPBVM apresentaram maior proporção de partículas retidas nas peneiras de 420 μm e 297 μm , conseqüentemente menor proporção de farinha com

granulometria mais fina (fundo) quando comparadas com FBVI e FPBV. Resultados semelhantes foram obtidos por Muyonga et al. (2001), que obteve granulometria de média de 110,7 μm e 181,3 μm , para FPBV e FPBVM, respectivamente.

A FBVI teve maior retenção de partículas que FPBV, principalmente nas duas peneiras de maior abertura, o que segundo Bezerra et al. (2013), consiste em material fibroso proveniente da casca.

A FPBV apresentou a menor granulometria média e 91,05 % da amostra avaliada passou pela peneira de 250 μm , em comparação ao padrão de identidade e qualidade para farinha de trigo que estabelece pelo menos 95 % (BRASIL, 2005).

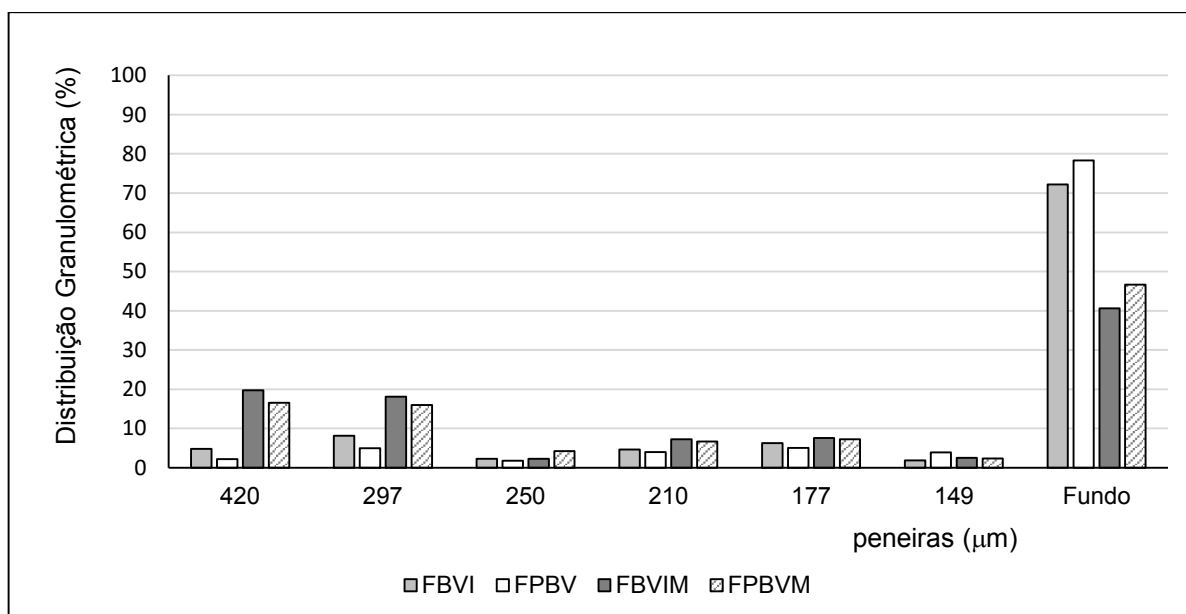


Figura 27. Distribuição granulométrica de farinhas de bananas verdes. FBVI: farinha de banana verde integral; FPBV: farinha de polpa de banana verde; FBVIM e FPBVM: farinha de banana verde integral e farinha de polpa de banana verde, modificadas por autoclavagem/refrigeração.

A granulometria das farinhas é um fator que influencia diretamente a viscosidade das pastas amiláceas (WHISTLER e BeMILLER, 1997), e que além da dependência da fonte também é afetada pelo tipo de equipamento de moagem e sobretudo pela umidade final. Farinhas com maior granulometria possuem maior solubilidade em água quente e são recomendadas para produção de farinhas instantâneas (MUYONGA et al., 2000).

4.3.2.2. Cor instrumental

Os resultados da análise de luminosidade (L^*) das farinhas, que possui escala variando de 0 a 100, mostrou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os quatro tipos de farinha avaliados neste estudo (Figura 28), com maior valor para FPBV e menor para FBVIM. Embora Muyonga et al (2000) tenham obtido maiores valores de L^* para bananas apenas autoclavadas antes da secagem, neste estudo a autoclavagem seguida de estocagem sob refrigeração resultou em efeito negativo sobre L . Em estudo Alkarkhi et al. (2011), com banana do grupo Cavendish, obtiveram valores de L^* inferiores ao do presente estudo para FBVI ou FPBV.

O índice de escurecimento enzimático (Figura 28) pode ser considerado um fator contrário à luminosidade, porém foi menos eficiente para explicar as diferenças de cor entre as farinhas avaliadas neste estudo.

O atributo cor é um dos fatores determinantes na avaliação e aquisição de alimentos tanto pelo consumidor quanto pelas indústrias alimentares. No caso de farinhas, quanto mais branco maior a sua aceitação, pois sua incorporação como ingrediente em formulações de alimentos terá menor impacto na cor final do produto (BEZERRA et al., 2013).

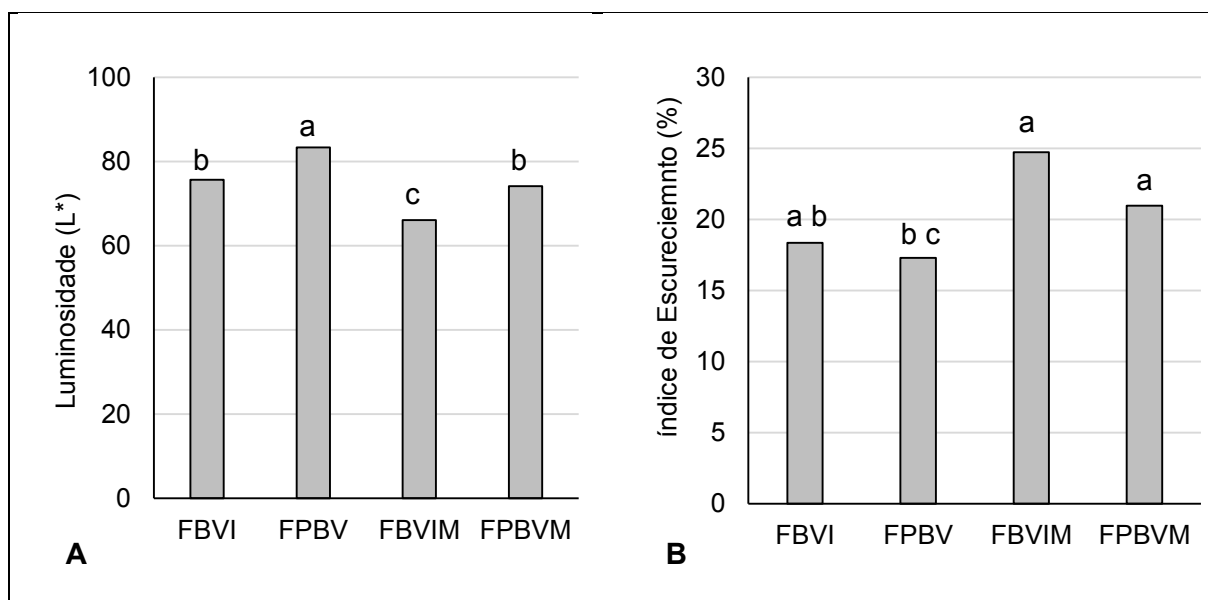


Figura 28: Análise da cor instrumental farinha de banana verde integral (FBVI), farinha de polpa de banana verde (FPBV) e farinha de banana verde integral e farinha de polpa de banana verde, modificadas por autoclavagem/refrigeração (FBIM e FPBVM). * Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

O escurecimento enzimático em FBV é bem conhecido (ALKARKHI et al., 2011). E quando a banana é processada com casca o escurecimento é mais acentuado, devido à degradação da clorofila a feofitina e feorforbideo, com tons verde-amarronzado (DAMODARAN et al., 2010; BEZERRA et al., 2013).

4.3.3. Composição química e físico-química

A principal diferença na composição química em macronutrientes (Tabela 11) ocorreu em relação às cinzas totais, que foi significativamente maior ($p < 0,05$) nas farinhas com cascas. Sarda et al. (2016) determinaram que a presença de casca, em farinhas de banana verde comerciais, tem correlação positiva com os teores de proteína e lipídios e correlação negativa com o amido. Bezerra et al. (2013) determinaram maiores diferenças quanto a carboidratos e fibras, entre farinha de banana verde com casca e sem casca.

Tabela 11. Composição química média ($n = 3$) de farinhas de bananas verdes ($g \cdot 100g^{-1}$).

| Composição | Farinhas | | | |
|------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | FBVI | FPBV | FBVIM | FPBVM |
| Umidade | 4,38 ± 0,26 _b | 4,07 ± 0,61 _b | 6,26 ± 0,89 _a | 5,63 ± 0,46 _{ab} |
| Matéria seca ¹ | 95,62 ± 0,26 _b | 95,93 ± 0,61 _b | 93,74 ± 0,89 _a | 94,37 ± 0,46 _{ab} |
| Proteínas ² | 4,29 ± 0,32 _a | 3,36 ± 0,72 _a | 3,91 ± 0,39 _a | 4,00 ± 0,34 _a |
| Lipídios ² | 2,14 ± 0,61 _a | 0,70 ± 0,11 _a | 1,98 ± 0,56 _a | 1,26 ± 0,44 _a |
| Cinzas ² | 3,82 ± 0,70 _a | 2,57 ± 0,23 _b | 3,76 ± 0,34 _a | 2,89 ± 0,24 _b |
| Carboidratos ^{2,1} | 89,75 ± 0,89 _a | 93,37 ± 0,61 _a | 90,35 ± 0,63 _a | 91,85 ± 0,86 _a |
| Amido ² | 69,96 ± 5,17 _a | 74,41 ± 0,94 _a | 69,06 ± 2,11 _a | 73,60 ± 2,76 _a |
| Amilose ² | 20,36 ± 1,50 _{ab} | 17,18 ± 0,22 _b | 22,95 ± 1,89 _a | 22,06 ± 1,26 _a |
| Não amiláceos ^{2,1} | 19,79 ± 1,64 _a | 18,96 ± 1,31 _a | 21,29 ± 2,42 _a | 18,25 ± 2,82 _a |

FBVI: farinha de banana verde integral; FPBV: Farinha de polpa de banana verde; FBVIM: farinha de banana verde integral, modificada por autoclavagem/refrigeração; FPBVM: farinha de polpa de banana verde, modificada por autoclavagem/refrigeração. ¹Calculado por diferença. ² Expresso em base seca (b. s.). * Médias seguidas pela mesma letra, na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

A umidade de FBVIM diferiu significativamente ($p < 0,05$) de FBVI e FPBV (Tabela 11). E embora a legislação vigente estabeleça o limite máximo de 15 % de umidade, a propósito de produção comercial de produtos vegetais secos ou desidratados (BRASIL, 2005), o teor de umidade nas bananas secas é um fator limitante para a operação de moagem, por contribuir para elevar a granulometria.

A FBV é um alimento amiláceo (70 % a 74 % em b. s.), embora suas propriedades funcionais sejam realmente mais importantes que o seu valor absoluto. Mota et al. (2000) avaliaram a composição química de oito variedades de bananas e mostrou semelhanças entre estas, embora tenha relatado grandes diferenças nas composições de carboidratos, com amido variando de 61 % (Mysore) a 76 % (Nanicão), e diferentes proporções entre amilose e amilopectina. Neste estudo houve aumento do teor de amilose na FBVIM e FPBVM (Tabela 11), provavelmente devido à hidrólise de cadeias de ramificação da amilopectina, no tratamento térmico prévio à secagem.

Diferentes estudos mostram que teores de proteínas entre 3 % a 6 % e lipídios entre 0,3 % e 0,8 % são típicos de FBV e que farinha com casca normalmente possui mais lipídios e cinzas (JUAREZ-GARCIA et al., 2006; HASLINDA et al., 2009; BORGES et al., 2009; PELISSARI et al., 2012).

Na Tabela 12 encontra-se os resultados das propriedades físico-químicas que são associadas à estabilidade e conservação. As farinhas de banana verde obtidas neste estudo podem ser classificadas como alimento de baixa acidez ($pH > 4,5$) segundo Franco e Landgraf, 2008. Os valores de a_w foram inferiores ao valor limite estabelecido para segurança microbiológica que deve ser menor que 0,6 (FELOWS, 2006; FRANCO e LANDGRAF, 2008). É possível esperar elevada estabilidade durante a estocagem deste produto, com vida de prateleira de meses, sob embalagem adequada e estocagem à temperatura ambiente (FELOWS, 2006; SILVA J. A., 2000).

Observa-se que potássio (K) foi o mineral mais abundante nestas farinhas, seguido do fósforo (P), magnésio (Mg) e sódio (Na) (Tabela 13), como mostrado em trabalho de Haslinda et al. (2009). A análise do conteúdo de minerais determinado nos quatro tipos de FBV (Figura 29) sugere que, com exceção de Cu, Fe e P os demais minerais avaliados encontram-se em maior concentração na FBVI em relação à FPBV, mostrando que a casca pode contribuir para aumentar suas concentrações na farinha. Com exceção do Cu, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) quanto ao conteúdo

de minerais entre FBVI e FBVIM, sugerindo que não houve perdas de minerais na modificação do método de processamento de FBV. Aumento significativo ($p < 0,05$) nos níveis de K, Mg, Na, Cu, Fe, e Mn na FPBVM em relação à FPBV indica que na autoclavagem das bananas com casca, pode haver lixiviação destes minerais da casca para a polpa. Diferenças nos conteúdos de minerais entre as farinhas podem afetar a digestibilidade do amido e as propriedades de pastas.

Tabela 12. Propriedades físico-químicas de farinhas de banana verde*.

| Farinhas | FBVI | FPBV | FBVIM | FPBVM |
|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| pH | 4,83 ± 0,02 _b | 4,88 ± 0,16 _b | 5,21 ± 0,08 _a | 5,15 ± 0,04 _a |
| a _w | 0,26 ± 0,02 _{b c} | 0,18 ± 0,02 _c | 0,36 ± 0,04 _a | 0,31 ± 0,05 _{a b} |
| Acidez total (%) | 1,16 ± 0,07 _b | 1,01 ± 0,15 _b | 0,73 ± 0,07 _a | 0,62 ± 0,09 _a |

FBVI: farinha de banana verde integral; FPBV: farinha de polpa de banana verde; FBVIM: farinha de banana verde integral, modificada por autoclavagem/refrigeração; FPBVM: farinha de polpa de banana verde, modificada por autoclavagem / refrigeração. * Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Tabela 13. Conteúdo de minerais, expresso em base seca, em farinha de banana verde ($\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$)*.

| Minerais | FBVI | FPBV | FBVIM | FPBVM |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| P | 73,56 ± 12,21 _a | 58,72 ± 9,44 _a | 79,30 ± 10,02 _a | 64,99 ± 06,86 _a |
| K | 963,19 ± 72,67 _a | 556,65 ± 98,96 _b | 1049,04 ± 94,65 _a | 1039,49 ± 91,60 _a |
| Ca | 55,78 ± 08,57 _a | 23,98 ± 6,46 _b | 68,28 ± 07,97 _a | 28,61 ± 07,32 _b |
| Mg | 90,99 ± 06,72 _a | 65,33 ± 3,56 _b | 103,48 ± 08,44 _a | 87,95 ± 02,05 _a |
| Na | 87,85 ± 00,24 _a | 40,65 ± 0,26 _b | 94,95 ± 08,71 _a | 89,01 ± 00,43 _a |
| Cu | 0,35 ± 00,02 _c | 0,33 ± 0,03 _c | 1,06 ± 00,05 _a | 0,74 ± 00,06 _b |
| Fe | 3,00 ± 00,63 _b | 2,25 ± 0,32 _b | 2,70 ± 00,09 _b | 4,37 ± 00,16 _a |
| Zn | 1,38 ± 00,28 _a | 0,92 ± 0,05 _b | 1,41 ± 00,15 _a | 1,12 ± 00,02 _{a b} |
| Mn | 1,84 ± 00,35 _{a b} | 0,94 ± 0,06 _c | 2,32 ± 00,21 _a | 1,55 ± 00,16 _b |

FBVI: farinha de banana verde integral; FPBV: farinha de polpa de banana verde; FBVIM: farinha de banana verde integral, modificada por autoclavagem/refrigeração; FPBVM: farinha de polpa de banana verde, modificada por autoclavagem/refrigeração. * Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

4.3.4. Compostos fenólicos e capacidade antioxidante

O conteúdo de compostos fenólicos totais em ácido gálico e a capacidade antioxidante pelo método ABTS nas farinhas de banana verde estão representados na Figura 29. A FBVI apresentou o maior valor de compostos fenólicos ($434,59 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), cerca de 44 % maior que na FPBV, sendo uma vantagem do processamento da banana verde com casca. Menezes et al. (2011) obteve valores inferiores em FBVI da cultivar Nanicao ($50,65 \text{ mg GAE}^1 \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ b.s.}$). Haslinda et al. (2009) determinou $1401,53$ e $746,67 \text{ mg CE}^2 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ em FBVI e FPBV, respectivamente.

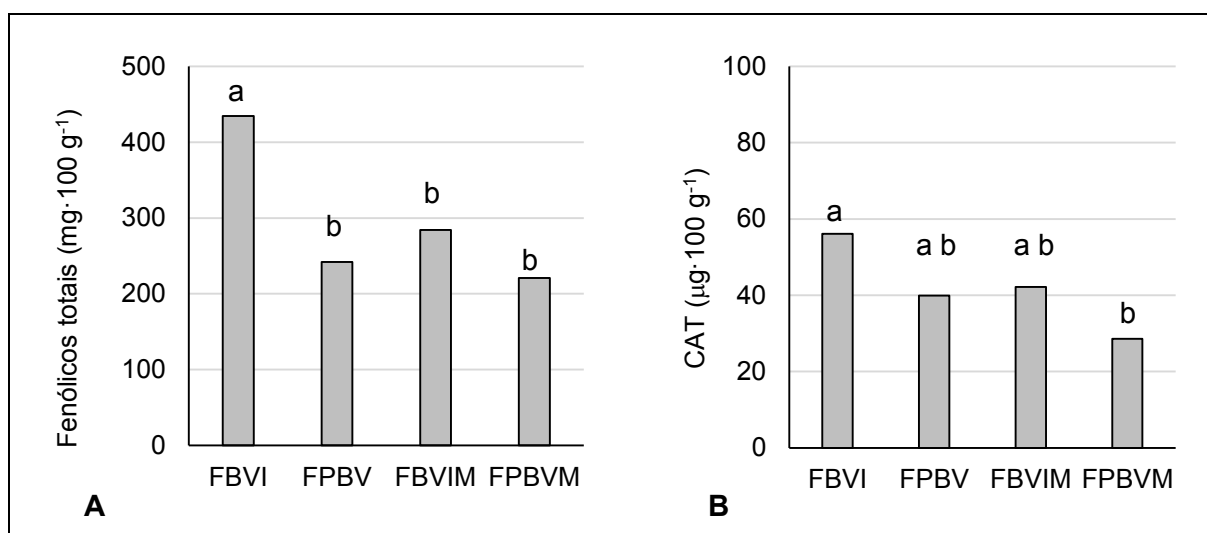


Figura 29. Compostos fenólicos totais (A) e capacidade antioxidante (CAT) por ABTS (B) em farinhas de bananas verdes. FBVI: farinha de banana verde integral; FPBV: farinha de polpa de banana verde; FBVIM: farinha de banana verde integral, modificada por autoclavagem/refrigeração; FPBVM: farinha de polpa de banana verde, modificada por autoclavagem/refrigeração. * Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$), dentro do mesmo gráfico.

¹ GAE: ácido gálico equivalente; ² CE: catecol equivalente.

A autoclavagem (120 °C / 30 min) resultou na redução de 34,6 % de compostos fenólicos na FBVIM, mas este efeito não foi observado entre FPBV e FPBVM. Hamacek et al. (2013) determinaram aumento significativo dos compostos fenólicos em massa alimentícia com FBVI após o cozimento, associado a possível liberação de compostos fenólicos da parede celular da casca da banana, com o calor. Tal comparação sugere a necessidade de estudos complementares a propósito do efeito da temperatura sobre compostos fenólicos da casca e da polpa da banana verde.

Maior concentração de compostos fenólicos na FBVI não resultou em aumento significativo ($p > 0,05$) na capacidade antioxidante em comparação com a FPBV e FBVIA, pelo método ABTS. Menezes et al. (2011), determinou atividade antioxidante muito superior aos valores obtidos neste estudo (358,67 e 261,00 $\mu\text{mol}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ pelos métodos FRAP e ORAC, respectivamente) para FBVI, porém empregando métodos diferentes de análise.

4.3.5. Digestibilidade do amido *in vitro*

Observa-se que a presença ou não da casca apenas resultou em diferenças significativas ($p < 0,05$) na digestibilidade *in vitro* do amido (Tabela 14) em relação a ARD na FBVI e FPBV. A principal diferença no perfil de digestibilidade do amido (ARD, ALD e AR) ocorreu entre os dois grupos de farinhas modificadas e não modificadas. Observou-se que com a redução no conteúdo de AR houve aumento de ARD e ALD. Outro aspecto importante é que o AR2 (amido granular) presente na FBVI e FBVP é convertido em AR3 na FBVIM e FPBVM, com a vantagem de maior estabilidade térmica.

Independente se o processamento das farinhas foi feito com as bananas com ou sem casca, com ou sem autoclavagem/refrigeração, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) em relação ao conteúdo de amido total em base seca (Tabela 14), indicando que os tratamentos não resultaram em aumento de glicose livre.

A escolha do tipo de FBV depende do uso pretendido, e necessita de mais investigações, sob o aspecto nutricional por meio de fermentação *in vitro* ou *in vivo*, não avaliado neste estudo. Segundo Lehmann et al. (2002), AR3 é uma melhor fonte de substrato que o AR2, para fermentação no trato gastrointestinal.

Tabela 14. Digestibilidade *in vitro* do amido de farinhas de bananas verdes, expresso em percentual de base seca.

| Varáveis | FBVI | FPBV | FBVIM | FPBVM |
|----------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| AT | 70,31 ± 4,73 _a | 74,41 ± 2,11 _a | 69,06 ± 2,01 _a | 73,60 ± 3,10 _a |
| ARD | 6,12 ± 1,74 _b | 5,12 ± 0,56 _c | 12,28 ± 2,01 _a | 17,19 ± 1,05 _a |
| ALD | 4,57 ± 3,28 _b | 3,60 ± 2,36 _b | 11,47 ± 3,70 _a | 16,29 ± 3,36 _a |
| AR | 59,27 ± 5,03 _a | 65,70 ± 4,19 _a | 45,32 ± 5,83 _b | 40,12 ± 4,10 _b |
| ALD+AR | 63,83 ± 5,43 _{ab} | 69,30 ± 0,96 _a | 56,79 ± 3,27 _b | 56,42 ± 1,75 _b |
| AR2 | 30,91 ± 2,66 _b | 39,90 ± 0,32 _a | 0,01 ± 3,04 _c | -4,05 ± 0,12 _c |

FBVI: farinha de banana verde integral; FPBV: farinha de polpa de banana verde; FBVIM: farinha de banana verde integral modificada por autoclavagem/refrigeração; FPBVM: farinha de polpa de banana verde modificada por autoclavagem/refrigeração. AT: amido total; ARD: amido rapidamente digerível; ALD: amido lentamente digerível; AR: amido resistente. * Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$)

Estudo de Liao e Hung, 2015, indicaram que AR2 presente na FBV é termicamente instável, o que coloca limitações ao seu potencial uso como fonte de AR na formulação de alimentos processados termicamente.

A análise da digestibilidade em que discrimina apenas AR e amido disponível (AD), empregando método de Gõni (Gõni et al., 1996) ou da AOAC 2002.02 (McCLEARY e MONAGHAN, 2002), deixa de avaliar um aspecto nutricional importante, pois ALD e ARD são frações do AD, com efeitos diferentes sobre a glicemia.

Sarda et al. (2016) comparando FPBV e FBVI não obtiveram diferenças em relação a amido total, mas determinaram 57,5 % e 42,3 % de AR, respectivamente e 22,8 % e 34,2 % de AD.

NASRIN e ANAL (2013) avaliaram o efeito da autoclavagem da FBV sobre os níveis de AR, obtendo 76,8 % e 14,2 % de AR2 e AD, respectivamente, antes da autoclavagem. Após autoclavagem obteve 78,7 % de AR3 e 12,3 % de AD.

Lehmann et al. (2002) avaliaram diferentes tratamento para converter AR2 (50 %), isolado de banana verde, a AR3 (84 %), ou seja, conseguiu aumentar cerca de 30 % na fração de AR. RODRÍGUEZ-DAMIAN et al. (2012) obtiveram excelentes

resultados com tratamento hidrotérmico³ (120 °C / 24 h) de farinha de banana verde (30 % de umidade) atingindo frações de ARD, ALD e AR muito semelhante aos seus níveis na matéria-prima.

4.3.6. Propriedades de pasta

O perfil de pasta das FBV's, avaliados por RVA, está representado na Figura 30 e os valores estimados para as suas respectivas propriedades na Figura 31.

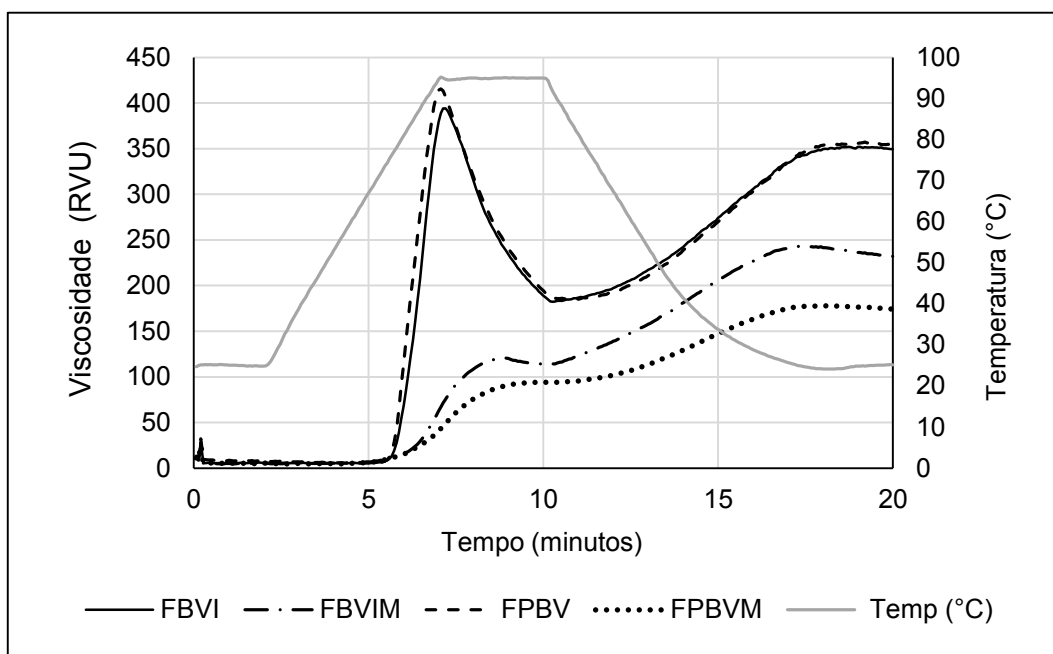


Figura 30. Perfil das curvas de viscosidade do RVA para farinhas de bananas verdes. FBVI: farinha de banana verde integral; FPBV: farinha de polpa de banana verde; FBVIM: farinha de banana verde integral modificada por autoclavagem/refrigeração; FPBVM: farinha de polpa de banana verde modificada por autoclavagem/refrigeração.

³ tratamento hidrotérmico ou HMT (*heat-moisture treatment*): tratamento térmico de amido ou alimento amiláceo com baixa porcentagem de umidade (< 35 %) a temperatura elevada (80 a 120 °C) por 15 min a 24 h, resultando em alteração da estrutura granular sem rompimento dos grânulos (RODRÍGUEZ-DAMIAN et al., 2012).

A temperatura inicial de pasta indica a temperatura na qual a viscosidade começa a aumentar durante o aquecimento, além de corresponder à temperatura mínima de cozimento da farinha (SINGH et al., 2011).

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) quanto à temperatura inicial de pasta e ao tempo para atingir a viscosidade máxima entre FBVI (75,7 °C e 7,27 min) e FPBV (75,3 °C e 7,18 min) e entre FBVIM (83,4 °C e 8,85 min) e FPBVM (81,8 °C e 9,17 min).

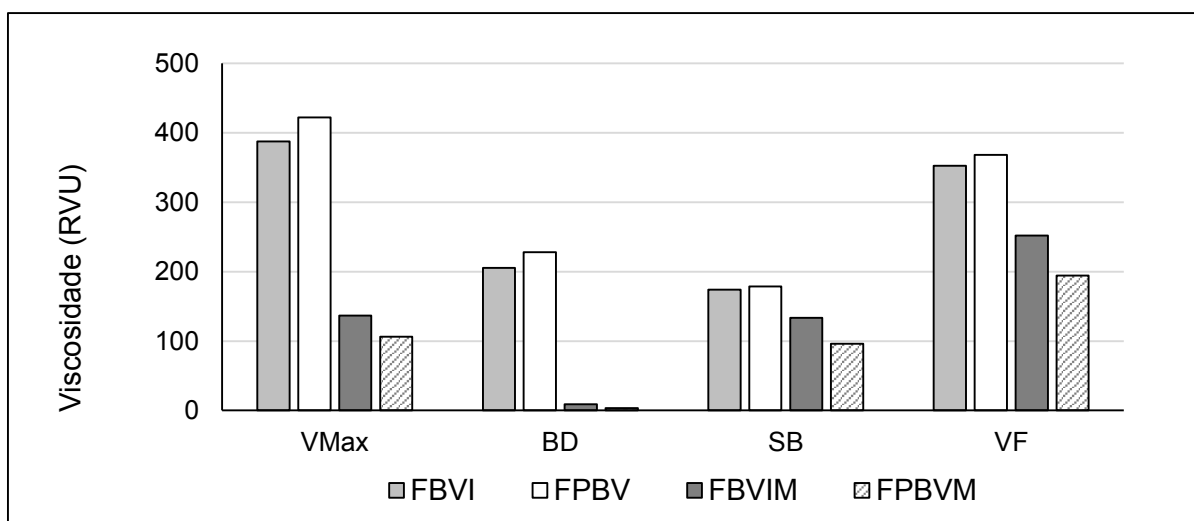


Figura 31. Propriedades de pastas das farinhas de bananas verdes. FBVI: farinha de banana verde integral; FPBV: farinha de polpa de banana verde; FBVIM: farinha de banana verde integral modificada por autoclavagem/refrigeração; FPBVM: farinha de polpa de banana verde modificada por autoclavagem/refrigeração. VMax: viscosidade máxima; BD: *break down* ou quebra; SB: *setback* ou tendência à retrogradação; VF: viscosidade final. * Médias seguidas da mesma letra, para cada propriedade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

O aumento rápido da viscosidade entre 5 e 7 minutos (Figura 30) é típico de amido granular, devido à gelatinização do amido, relacionado à capacidade do amido em absorver água durante o aquecimento (ORO et al., 2013). A diferença significativa ($p < 0,05$) quanto à viscosidade máxima entre FBVI e FPBV indica que os componentes químicos da casca contribuíram para reduzir a viscosidade máxima, assim como entre FBVIM e FPBVM. Observa-se que FBVI e FPBV atingiram viscosidades máximas superiores a FBVIM e FPBVM, indicando que estas

absorveram menor quantidade de água durante o aquecimento, em razão de possuírem amido retrogradado.

Farinhas com pico de viscosidade elevado (FBVI e FBVP) resultam em maiores valores de quebra, indicam que os grânulos de amido possuem baixa estabilidade durante o aquecimento. Neste caso os grânulos de amido apresentam maior capacidade de intumescimento, o que normalmente está associado à maior porcentagem de amilopectina, responsável pelas propriedades de intumescimento e gelatinização, segundo ORO et al. (2013), corroborando os resultados obtidos na composição química.

A menor viscosidade de pasta para FBVIA e FPBVP é atribuível à pré-gelatinização do amido, no tratamento térmico da banana, antes da secagem, e normalmente desejável para a maioria das aplicações industriais, por produzir pastas mais estáveis e mais fáceis de cozinhar (MUYONGA et al 2000).

A viscosidade final representa o valor da viscosidade após a amostra ser resfriada a 50 °C e mantida nesta temperatura, indicando a tendência do amido à retrogradação (ORO et al., 2013).

A elevada viscosidade de pasta da FBVI e da FPBV é uma propriedade desejável para serem empregadas como espessante na formulação de produtos alimentícios como molhos, pudins, *flans* (BEZERRA, 2013), e produtos cárneos emulsionados (MUYONGA et al. (2000). Elevada tendência à retrogradação é uma característica limitante para emprego na formulação de produtos congelados, devido à elevada susceptibilidade à sinérese (ORO et al., 2000).

A FBVIM e FPBVM por exibirem baixa viscosidade de pastas são indicadas para formulação de produtos em pó instantâneos, como suplementos alimentares e fórmulas infantis tipo papa (MUYONGA et al., 2000). Devido à menor tendência à retrogradação é esperado maior tolerância a ciclos de congelamento /descongelamento, mas são necessários estudos complementares quanto ao emprego em produtos congelados. Ressalta-se que a FPBVM exibiu menor tendência à retrogradação que a FBVIM ($p < 0,05$).

Mota et al., (2000) avaliaram FBV de oito cultivares de bananas, e demonstraram que as propriedades de pasta foram afetadas pelo tipo de cultivar. A temperatura de gelatinização, a viscosidade máxima de pasta e o *breakdown*

aumentam com o aumento do comprimento das cadeias de amilopectina (FRANCO et al., 2002)

Segundo Whistler e Bemiller (1997), as propriedades de pasta ainda são influenciadas pela granulometria e pela concentração de amido das farinhas utilizadas no ensaio por RVA.

4.3.7. Análise por componentes principais

A análise por componentes principais (ACP) aplicada aos quatro tipos de FBV, em relação às propriedades de digestibilidade do amido, permitiram a formação de quatro subgrupos (Figura 32), em que o primeiro e o segundo componentes principais explicam 99,73 % das diferenças entre as mesmas. O processamento de FBV com casca e sem casca, *in natura* e autoclavada / refrigerada, resultaram, portanto, em produtos com propriedades de digestibilidade de amido *in vitro* bem distintas.

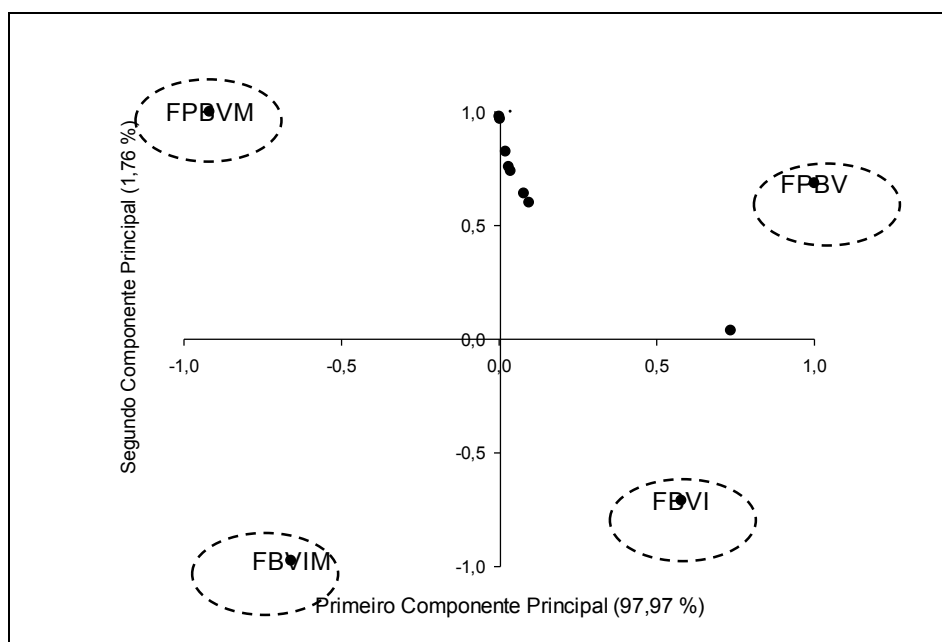


Figura 32. Análise por componentes principais da digestibilidade *in vitro* do amido em farinhas de bananas verde. FBVI: farinha de banana verde integral; FPBV: farinha de polpa de banana verde; FBVIM: farinha de banana verde integral modificada por autoclavagem/refrigeração; FPBVM: farinha de polpa de banana verde modificada por autoclavagem/refrigeração.

A ACP em relação às propriedades de cor, de digestibilidade do amido, de pasta, da composição química, físico-química e minerais (Figura 33) das FBV's

resultaram na formação de três subgrupos: FPBV e FBVI; FBVIM; FPBVM. A análise conjunta das propriedades da FBV com casca e sem casca permite classificá-las como produtos semelhantes. Contudo, o método modificado de processamento de FBV resultou na obtenção de dois produtos com propriedades diferenciadas.

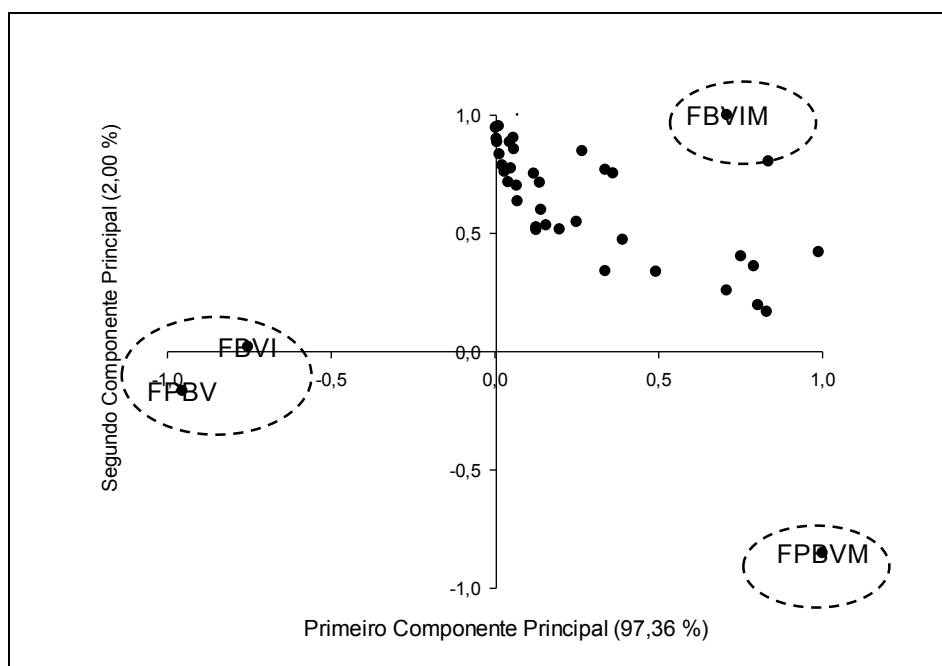


Figura 33. Análise por componentes principais das propriedades de cor, de digestibilidade *in vitro* do amido, de pasta e da composição química, físico-química e de minerais para caracterização das farinhas de bananas verdes. FBVI: farinha de banana verde integral; FPBV: farinha de polpa de banana verde; FBVIM: farinha de banana verde integral modificada por autoclavagem/refrigeração; FPBVM: farinha de polpa de banana verde modificada por autoclavagem/refrigeração.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo demonstrou-se a possibilidade de promover modificações nas propriedades de digestibilidade do amido, na farinha de banana verde, empregando métodos físicos, como tratamento térmico e refrigeração, que resultou na redução de amido resistente e aumento de amido lentamente e rapidamente digerível. Além disso, houve a conversão de amido resistente tipo 2 em amido resistente tipo 3, que tem a vantagem de maior estabilidade térmica, para emprego como ingrediente em produtos de panificação, confeitaria e massas alimentícias.

As modificações avaliadas não implicaram em alterações na concentração de amido total e nas proporções entre amilose e amilopectina, contudo é esperado que o aumento na concentração de cadeias lineares, por meio de hidrólise das ramificações da amilopectina, possa resultar em aumentos adicionais aos níveis de AR.

O método de autoclavagem / refrigeração proposto para produção de farinha de banana verde implica em inserir uma nova operação unitária, empregando um equipamento clássico de tratamento térmico (autoclave) e uma câmara fria. Estudos posteriores avaliando os impactos de se promover a retrogradação do amido na banana verde, como proposto neste estudo, ou na farinha, como já publicado por outros pesquisadores, serão necessários.

Sugerimos a avaliação do emprego de ciclos com menor tempo de estocagem sob refrigeração (6, 12 e 18 horas) no sentido de redução do custo de processamento, e o emprego combinado com temperaturas de autoclavagem acima de 120 °C, com a possibilidade de alterar os níveis de AR e ALD, por meio de hidrólise de ligações glicosídicas.

A temperatura de secagem na faixa de 50 °C a 70 °C não afetou significativamente as propriedades de digestibilidade do amido, principal objeto de estudo desta pesquisa, o que é desejável, no sentido de reduzir o tempo de secagem e conseqüentemente o custo de produção.

O emprego de bananas verdes com casca contribuiu para aumentar as concentrações de diferentes minerais nas farinhas, além de minimizar a geração de resíduos. Além disso, o método modificado por autoclavagem da banana verde com casca e estocagem sob refrigeração resultou em aumento de diferentes tipos de

minerais na polpa da banana verde, equivalente ao que se observa no processamento de arroz parboilizado.

Este estudo mostrou que a farinha de banana verde obtida a partir da cultivar BRS Vitória é potencialmente um alimento com propriedades funcionais, contudo o maior desafio é torna-la ingrediente comum em preparações culinárias e industriais, com substituição total ou parcial da farinha de trigo.

6. REFERÊNCIAS

AACC - American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of AACC**. 9ed. Saint Paul: AACC, 2009.

ADUBOFUOR, J.; AMOAH, I.; Vida BATSA, V.; AGYEKUM, P. B.; BUAH, J. B. Nutrient composition and sensory evaluation of ripe banana slices and bread prepared from ripe banana and wheat composite flours. **American Journal of Food and Nutrition**, Vol. 4, No. 4, p. 103-111, 2016.

AGAMA-ACEVEDO, E.; ISLAS-HERNANDEZ, J. L.; OSORIO-DÍAZ, P.; RENDÓN-VILLALOBOS, R.; UTRILLA-COELLO, R. G.; ANGULO, O.; BELLO-PÉREZ, A. L. Pasta with unripe banana flour: physical, texture, and preference study. **Journal of Food Science**, Vol. 74, No. 6, 2009.

ALKARKHI, A. F. M.; RAMLI, S. B.; YONG, Y. S.; EASA, A, M. Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. **Food Chemistry**. 129, p. 312–318. 2011.

AKERBERG, A. K. E.; LILJEBERG, H. G. M.; GRANFELDT, Y. E.; DREWS, A. W.; BJORCK, I. M. E. An in vitro method, based on chewing, to predict resistant starch content in foods allows parallel determination of potentially available starch and dietary fiber. **Journal of Nutrition**. No 128, p. 651–660, 1998.

ANDRADE, B. A.; PERIUS, D. B.; MATTOS, N. V.; LUVIELMO, M. M.; MELLADO, M. S. Produção de farinha de banana verde (*Musa spp.*) para aplicação em pão de trigo integral. **Brazilian Journal of Food Technology**, versão *on line*, Campinas, v. 21, 2018.

AMORIM, E. P.; PESTANA, R. K. N; SILVA, S. O.; TULMANN NETO, A. Caracterização agrônômica de mutantes de bananeira obtidos por meio da radiação gama. **Bragantia**, Campinas, SP. vol. 71, No. 1, pp. 8-14. 2012.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16th ed. Gaithersburg, USA, 2002.

APARICIO-SAGUILÁN, A.; VALERA-ZARAGOZA, M.; PERUCINI-AVENDAÑO, M.; PÁRAMO-CALDERÓN, D. E.; AGUIRRE-CRUZ, A.; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ; A.; BELLO-PÉREZ, L. A. Lintnerization of banana starch isolated from underutilized

variety: morphological, thermal, functional properties, and digestibility. **CyTA – Journal of Food**, Vol. 13, No. 1, 3–9, 2015.

APARICIO-SAGUILÁN, A.; YAGO-AYERDIB, S. G. S.; VARGAS-TORRESA, A.; TOVARC, J.; ASCENCIO-OTEROB, T. E.; BELLO-PÉREZ, L. A. Slowly digestible cookies prepared from resistant starch-rich lintnerized banana starch. **Journal of Food Composition and Analysis**, nº 20, p. 175–181, 2007.

AUORE, G.; PARFAIT, B.; FAHRASMANE, L. Bananas, raw materials for making processed food products. **Trends in Food Science & Technology**, 20, p. 78-91, 2009.

AZEVEDO, V. F.; DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. M.; MAIA, V. M.; SILVA, S. O. Avaliação de bananeiras tipo prata, de porte alto, no semiárido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1372-1380, nov./dez., 2010

AZIAH, A. A. N.; HO, L. H.; SHAZLIANA, A. A. N.; BHAT, R. Quality evaluation of steamed wheat bread substituted with green banana flour. **International Food Research Journal**, 19 (3), p. 869-876, 2012.

BARKER, D. L; FONTES, P. S. F; FONTES, A. G; BERILLI, A. P. C.; PIRES, P. D. Z. Desenvolvimento da Bananeira Japira (*Musa Spp.*) em Função da Adubação Nitrogenada. **Anais do VII Simpósio de Iniciação Científica, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**. Serra-ES: IFES. 2011.

BATISTA, A. L. D.; SILVA, R.; CAPPATO, L. P.; FERREIRA, M. V. S.; NASCIMENTO, K. O.; SCHMIELE, M.; ESMERINO, E. A.; BALTHAZAR, C. F.; SILVA, H. L. A.; MORAES, J.; PIMENTEL, T. C.; FREITAS, M. Q.; RAICES, R. S. L.; SILVA, M. C.; CRUZ, A. G. Developing a synbiotic fermented milk using probiotic bacteria and organic green banana flour. **Journal of Functional Foods**, 38, p. 242–250. 2017.

BELLO-PÉREZ, L. A., GARCÍA-SUÁREZ, F. J., MÉNDEZ-MONTEALVO, G., NASCIMENTO, J. R. O., LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI, B. R. “Isolation and characterization of starch from seeds of *Araucaria brasiliensis*: a novel starch for application in food industry”. **Starch/Stärke**, 58, p. 283-291, 2006.

BELLO-PÉREZ, L. A.; OTTENHOF, M. A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; FARHAT, I. A. Effect of storage time on the retrogradation of banana starch extrudate. **J Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 53, p. 1081-1086, 2005.

BeMILLER, J.; WHISTLER, R. **Starch: Chemistry and Technology**. 3^a ed. Burlington, MA, USA: Academy press. 2009.

BERRY, C. S. Resistant starch: formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. **Journal of Cereal Science**, 4, p. 301-314, 1986.

BEZERRA, C. V.; AMANTE, E. R.; OLIVEIRA, D. C.; RODRIGUES, M. C. A.; SILVA, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed: effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, 41, p. 241– 249. 2013.

BORGES, A. L., et al. Sistema de produção da bananeira irrigada. Versão Eletrônica. **Embrapa Semiárido**. Julho de 2009.

BORGES, A. M. **Caracterização e estabilidade de pré-mistura para bolos à base de farinha de banana verde**. Lavras, MG: (Dissertação Mestrado) Ciência de Alimentos – Universidade Federal de Lavras. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Resolução Normativa n.8, de 02 de junho de 2005**. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n.105, p.91, 3 jun. 2005.

BRASIL. ANVISA - **Resolução RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento Técnico Para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis". D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, 23 de set. 2005.

CAMELO-MÉNDEZ, G. A.; FERRUZZI, M. G.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; BELLO-PÉREZ, L. A. Carbohydrate and phytochemical digestibility in pasta. **Food Engineering Reviews**, on line, 2015.

CARVALHO, C. W. P.; MITCHELL, J. R. Effect of sucrose on starch conversion and glass transition of nonexpanded maize and wheat extrudates. **Cereal Chemistry**, v.78, n. 3, p.342-348, 2001.

CECCHI, H.M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas: Editora UNICAMP, 1999. 212p

CEREDA, M. P. (Coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. 540 p.

CHAMP, M. Determination of resistant starch in foods and food products: interlaboratory study. **European Journal of Clinical Nutrition**, 46, p. S51-S62, 1992.

CHRISTANTE, L. Estudo de campo. Quem vai querer plantar banana? **Unesp Ciência**. Ed. 19. p.18-27. maio de 2011.

CUMMINGS, J. H.; ENGLYST, H. N. Gastrointestinal effects of food carbohydrate. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 61(suppl), p. 938S-945S. 1995.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. **Química de Alimentos de Fennema**. Tradução Brandelli, A; et al. 4ª Ed. Porto Alegre: Artimed, 2010. 9000p.

DENARDIN, C. C.; SILVA L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p.945-954, mai-jun,2009.

DITCHFIELD, C. **Estudo do processamento contínuo do purê de banana**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DONATO, S.L.R.; SILVA, S.O.; LUCCA FILHO, O.A.; LIMA, M.B.; DOMINGUES, H.; ALVES, J.S. Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa spp.*), em dois ciclos de produção no sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.28, p.139-144, 2006.

EERLINGEN, R. C.; DELCOUR, J. A. Formation, analysis, structure and properties of type III enzyme resistant starch. **Journal of Cereal Science**, 22, p. 129-138, 1995.

ELIASSON, A.C. **Starch in food Structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605p.

ENGLYST, H. N.; CUMMINGS, J. H. Digestion of the carbohydrates of banana (*Musa paradisiaca sapientum*) in the human small intestine. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 44, p 42-50, July, 1986.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**. 46 (Suppl. 2), p. s33-s50. 1992.

ENGLYST, H. N.; VEENSTRA, J.; HUDSON, G. J. Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods: a potential in vitro predictor of the glycaemic response. **British Journal of Nutrition**. 75, p. 327-337. 1996.

ENGLYST, H. N.; WIGGINS, H. S.; CUMMINGS, J. H. Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas - liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. **Analytist**, Vol. 107, p. 307-318. Março de 1982.

ENGLYST, K.; QUIGLEY, M.; ENGLYST, H.; PARMAR, B.; DAMANT, A.; ELAHI, S.; LAWRENCE, P. Evaluation of methods of analysis for dietary fibre using real foods and model foods. **Food Chemistry**. 140, p. 568–573. 2013.

ESPINOSA-SOLIS, V.; JANE, J. L.; BELLO-PEREZ, L. A. Physicochemical characteristics of starches from uripe fruits of mango and banana. **Starch/Stärke**. 61, p. 291–299. 2009.

FAISANT, N.; BULBON, A.; COLONNA, P.; MOLIS, C.; LARTIGUE, S.; GALMICHE, J. P.; CHAMP, M. Digestion of raw banana starch in the small intestine of healthy humans: structural features of resistant starch. **British Journal of Nutrition**, 73, p. 111-123, 1995.

FAO – Food and Agricultural Organization of United Nations. Food and Agricultural commodities production. **FAOSTAT Agriculture**. 2009.

FARHAT, I.; PROTZMANN, J.; BECKER, A.; VALLÈS-PÀMIÉS, B.; NEALE, R.; HILL, S. E. Effect of the extent of conversion and retrogradation on the digestibility of potato starch. **Starch/Stärke**, 53, p. 431–436, 2001.

FARIA, H. C.; DONATO, S. L. R.; PEREIRA, M.C. T.; SILVA, S. O. Avaliação filotécnica de bananeiras tipo terra sob irrigação em condições semiáridas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 830-836, jul./ago., 2010.

FASOLIN, L. H.; ALMEIDA, G. C.; CASTANHO, P. S.; NETTO-OLIVEIRA, E. R. Biscoitos produzidos com farinha de banana: avaliações química, física e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 27(3), p. 524-529, jul.-set. 2007.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ª ed., Porto Alegre: Artmed, 2006, 602p.

FERREIRA, C.F.; OLIVEIRA E SILVA, S.; AMORIM, E.P.; SANTOS-SEREJO, J.A. **O agronegócio da banana**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2016.

FIORAVANÇO, J. C. Mercado Mundial da Banana: Produção, Comércio e Participação Brasileira. **Informações Econômicas**, SP, v.33, n.10, outubro. 2003.

FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U. **Capítulo XIII. Processamento. In: O cultivo da bananeira**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Autores: TRINDADE, A. V. et al. Editores: BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. Cruz das Almas. BA. 2004.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Editora Atheneu, 2008. 182p.

FRANCO, C. M. L.; WONG, K. YOO, S.; JANE, J. Structural and Functional Characteristics of Selected Soft Wheat Starches. **Cereal Chemists**, Vol. 79, No. 2, p. 243-248, 2002.

FUENTES-ZARAGOZA, E.; RIQUELME-NAVARRETE, M. J.; SÁNCHEZ-ZAPATA, E.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A. Resistant starch as functional ingredient: A review. **Food Research International**, 43, p. 931–942, 2010.

GARRUTI, D. S.; MATIAS, M. L.; FACUNDO, H. V. V.; SILVA, E. O.; COSTA, J. N.; SILVA, M. A. A. P. Aceitação de cultivares de bananas resistentes à Sigatoka Negra junto ao consumidor da região Nordeste do Brasil. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.42, n.5, p.948-954, maio, 2012.

GOÑI, I.; GARCIA-DIZ, L.; MAÑAS, E.; SAURA-CALIXTO, F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, v.56, n.4, p.445-449, 1996.

GONZÁLEZ-SOTO, R. A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; SOLORZA-FERIA, J.; RENDÓN-VILLALOBOS, R.; BELLO-PÉREZ, L. A. Resistant starch made from banana starch by autoclaving and debranching. **Starch/Stärke**, 56, 2004.

HAMACEK, F. R.; DELLA LUCIA, C. M.; DA SILVA, P. R.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO SANT'ANA, H. M.; MOREIRA, A. V. B. Valor nutricional e efeito do tratamento térmico sobre o potencial antioxidante em formulações de massa de

macarrão sem glúten. **Brazilian Journal of Food Nutrition**, Araraquara, v. 24, n. 2, p. 135-143, abr.-jun. 2013.

HARALAMPU, S. G. Resistant starch - a review of the physical properties and biological impact of RS3. **Carbohydrate Polymers**, 41, p. 285–292, 2000.

HASLINDA, W. H.; CHENG, L. H.; CHONG, L. C.; AZIAH, A. A. N. Chemical composition and physicochemical properties of green banana (*Musa acuminata_balbisiana Colla* cv. Awak) flour. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, 60(S4): p. 232-239, setembro de 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação** . 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.sh> tm. Acesso em: Dezembro de 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, v.30 n.1, p.1-81, jan., 2017.

JESUS, S. C; MATSUURA, F. C. A. U; FOLEGATTI, M. I. S.; CARDOSO, R. L. Avaliação de banana-passa obtida de frutos de diferentes genótipos de bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.40, n.6, p.573-579, jun. 2005.

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

JUAREZ-GARCIA, E.; AGAMA-ACEVEDO, E.; SÁ, S. G.; AYERDI, Y.; RODRÍGUEZ-AMBRIZ, S. L.; BELLO-PÉREZ, L. A. Composition, Digestibility and Application in Breadmaking of Banana Flour. **Plant Foods for Human Nutrition**, 61: 131–137, 2006.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, 78, p. 98–108, 2007.

LEHMANN, U.; JACOBASCH, G.; SCHMIEDL, D. Characterization of resistant starch type III from banana (*Musa acuminata*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50, p. 5236-5240. 2002.

LEHMANN, U.; ROBIN, F. Slowly digestible starch e its structure and health implications: a review. **Trends in Food Science & Technology**. 18, p. 346-355. 2007.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 27(3): 579-588, jul.-set. 2007.

LEONEL, M.; CARMO, E. L.; LEONEL, S.; FRANCO, C. M. L.; CAMPANHA, R. B. Extração e caracterização do amido de diferentes genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, Volume Especial, E. 599-605, Outubro 2011.

LIAO, H.; HUNG, C. Chemical composition and in vitro starch digestibility of green banana (cv. Giant Cavendish) flour and its derived autoclaved/debranched powder. **LWT - Food Science and Technology**, 64, p. 639-644, 2015.

LIMA, M.B.; SILVA, S.O.; JESUS, O.N.; OLIVEIRA, W.S.J.; GARRIDO, M.S.; AZEVEDO, R.L. Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira no recôncavo baiano. **Ciência e Agrotecnologia**. v.29, p.515-520, 2005.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L. Resistant starch and its physicochemical properties. **Revista de Nutrição**, Campinas, 16(2): 219-226, abr./jun., 2003.

McCLEARY, B. V. Development of an integrated total dietary fiber method consistent with the Codex Alimentarius definition. **AACC International, Inc.**, v. 55, No. 1, Jan-Feb, 2010

McCLEARY, B. V; MONAGHAN, D. A. Measurement of resistant starch. **Journal of AOAC International**. vol. 85, No. 3, 2002.

MENDEZ, L. M. R. **Processo de aglomeração de farinha de banana verde com alto conteúdo de amido resistente em leite fluidizado pulsado**. São Paulo, SP: Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 111p 2013.

MENEZES, E. W.; DAN, M. C. T.; CARDENETTE, G. H. L.; GOÑI, I.; BELLO-PÉREZ, L. A.; LAJOLO, F. M. In Vitro colonic fermentation and glycemic response of different kinds of unripe banana flour. **Plant Foods for Human Nutrition**, 65, p. 379-385, 2010.

MENEZES, E. W.; TADINI, C. C.; TRIBESS T. B.; ZULETA, A.; BINAGHI, J.; PAK, N.; VERA G.; DAN, M. C. T.; BERTOLINI, A. C.; CORDENUNSI, B. R.; Lajolo, F. M. Chemical Composition and Nutritional Value of Unripe Banana Flour (*Musa acuminata*, var. Nanicão) **Plant Foods for Human Nutrition**, 66, p. 231–237, 2011.

MEPBA, H. D; EBOH, L.; NWAJOJIGWA, S. U. Chemical composition, functional and baking properties of wheat-plantain composite flours. **African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development**, v. 7, No 1, 2007.

MOHAPATRA, D.; MISHRA, S.; SINGH, C. B.; JAYAS, D. S. Post-harvest processing of banana: opportunities and challenges. **Food and Bioprocess Technology**, 4: p. 327–339. 2011.

MOONGNGARM, A. Chemical compositions and resistant starch content in starchy foods. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, 8 (2), p. 107-113, 2013.

MOORE, S. A. **Studies on mechanisms of resistant starch analytical methods**. A thesis submitted to the graduate faculty in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. Iowa State University, Ames, Iowa. 2013

MOTA, R. V.; LAJOLO, F. M.; CIACCO, C.; CORDENUNSI, B. R. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. **Starch/Stärke**. 52, Nr. 2-3, S. 63–68. 2000.

MUYONGA, J. H. Predehydration steaming changes physicochemical properties of unripe banana flour. **Journal of Food Processing and Preservation**, 25, p. 35-47, 2001.

NASRIN, T. A. A.; ANAL, A. K. Resistant starch III from culled banana and its functional properties in fish oil emulsion. **Food Hydrocolloids**. xxx, p. 1-7, 2013.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Manual de operação RVA-4**. 2001.

NGUYEN, M.; PRICE, W. E. Air-drying of banana: influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. **Journal of Food Engineering**, 79, p. 200–207, 2007.

OLIVEIRA, T. K.; LESSA, L. S.; SILVA, S. O.; OLIVEIRA, J. P. Características agronômicas de genótipos de bananeira em três ciclos de produção em Rio Branco,

AC. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília-DF, v.43, n.8, p.1003-1010, agosto de 2008.

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

ORO, T.; LIMBERGER, V. M.; MIRANDA, M. Z.; RICHARDS, N. S. P. S.; GUTKOSKI, L. C.; ALICIA, F. Propriedades de pasta de mesclas de farinha integral com farinha refinada usadas na produção de pães. **Ciência Rural**, Santa Maria, Online. 2013.

OVANDO-MARTINEZ, M.; SÁYAGO-AYERDI, S.; AGAMA-ACEVEDO, E.; GOÑI, I.; BELLO-PÉREZ, L. A. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. **Food Chemistry**, 113, p. 121–126, 2009.

PAIVA, G.; CORA, C.; BOZZI, J. A.; BORGES, J. T. S. Aceitação sensorial de biscoito tipo *cookie* à base de farinha de banana (*musa cavendishii*) verde. João Pessoa, PB: **Anais do IV Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, nov., 2012.

PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; WELTI-CHANES, J.; SWANSON, B. G. Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. **Journal of Food Science**, v.64, p.42-45, 1999.

PELLISSARI, F. M.; ANDRADE-MAHECHA, M. M.; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C. Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Starch/Starke**, 64, 382–391. 2012.

PEREIRA, J. C. R.; GASPAROTTO, L.; SILVA, S. O.; PEREIRA, M. C. N. Pelipita: cultivar de bananeira para agroindústria, resistente à sigatoka-negra. **Comunicado Técnico**, 27. Embrapa Amazônia Ocidental. Manaus-AM. Dezembro. 2004.

PERERA, A.; MEDA, V.; TYLER, R. T. Resistant starch: a review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. **Food Research International**. 43, p. 1959–1974. 2010.

PIMENTEL, R. M. A.; GUIMARÃES, F. N.; SANTOS, V. M.; RESENDE, J. C. F. Qualidade pós-colheita dos genótipos de banana PA 42-44 e prata-anã cultivados no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 32, n. 2, p.407-413. Junho de 2010.

POIANI, L. M.; BORGES, M. T. M. R.; VILAS BOAS, E. V. B.; LICHTENBERG, L. A.; GODOY, R. C. B. Aproveitamento industrial dos descartes de pós-colheita. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG. V. 29. No 245, jul/ago. 2008.

POLESI, L. F. Amido Resistente: Aplicações e Métodos de Produção. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 211-222, jul./dez. 2011.

RAMOS, D. R.; LEONEL, M.; LEONEL, S. Amido resistente em farinhas de banana verde. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara. v.20, n.3, p. 479-483, jul.-set. 2009.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity a applying in improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**. v. 26, p. 1231-1237, 1999.

RINDLAV, A.; HULLEMAN, S. H. D.; GATENHOLM, P. Formation of starch films with varying crystallinity. **Carbohydrate polymers**, v.34, n.1-2, p.25-30, 1997.

RODRIGUES, M. G. V.; LEITE, M. A. V. Aspectos Socioeconômicos da Bananicultura. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG. V. 29. No 245, jul/ago. 2008.

RODRÍGUEZ-DAMIAN. A.R.; ROSA-MILLÁN, J.; AGAMA-ACEVEDO, E.; OSORIO-DÍAZ, P. BELLO-PÉREZ, L. A. Effect of different thermal treatments and storage on starch digestibility and physicochemical characteristics of unripe banana flour. **Journal of Food Processing and Preservation**, 37, p. 987–998, 2013.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. Resistant Starch - A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. Vol. 5. 2006

SALGADO, S. M; MELO FILHO, A. R.; ANDRADE, S. A. C.; MACIEL, G. R.; LIVERA, A. V. S.; GUERRA, N. B. Modificação da concentração de amido resistente em feijão macassar (*vigna unguiculata l. walp*) por tratamento hidrotérmico e congelamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 25(2), p. 259-264, abr.-jun. 2005.

SÁNCHEZ-RIVERA, M. M.; NÚÑEZ-SANTIAGO, M. C.; BELLO-PÉREZ, L. A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; ALVAREZ-RAMIREZ, J. Citric acid esterification of unripe plantain flour: physicochemical properties and starch digestibility. **Starch – Stärke**, v. 69, Sep., 2017.

SANTOS, J. F. **Avaliação das propriedades nutricionais de barras de cereais elaboradas com farinha de banana verde**. São Paulo, SP: (Dissertação Mestrado) Ciência dos Alimentos – Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo, 2010.

SANTOS, P. N. **Características fisiológicas e bioquímicas das bananeiras “prata”, “japira” e “vitória”**. Alegre, ES: Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo. 2011.

SARDÁ, F. A. H.; GIUNTINI, E. B.; GOMEZ, A.; LUI, M. C. Y.; NEGRINI, J. A. E.; TADINI, C. C.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. Impact of resistant starch from unripe banana flour on hunger, satiety, and glucose homeostasis in healthy volunteers. **Journal of Functional Foods**, 24, p. 63–74, 2016.

SCHMIELE, M.; SEHN, G. A. R.; SANTOS, V. S.; ROCHA, T. S.; ALMEIDA, E. L.; NABESHIMA, E. H.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Physicochemical, structural and rheological properties of chestnut (*Castanea sativa*) starch. **American Journal of Food Science and Technology**. Vol. 3, No. 4A, p.1-7. 2015.

SEBRAE. **Banana: Estudo de Mercados. Relatório Completo**. SEBRAE/ESPM, 2008.

SILVA JUNIOR, J. F. et al. **Banana Japira: Variedade do tipo Pacovan resistente à sigatoka-negra recomendada para o Vale do Rio Siriji, PE**. MAPA/EMBRAPA Tabuleiros Costeiros/EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical. Dezembro de 2009.

SILVA, J. A. **Tópicos da Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2000. 231p.

SILVA, S. O.; FLORES, J. C. O.; LIMA NETO, F. P. Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira em quatro ciclos de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1567-1574, nov. 2002.

SILVA, S. O.; PEREIRA, L. V.; RODRIGUES, M. G. V. Variedades. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG. V. 29. No 245, jul/ago. 2008.

SINGH, J.; KAUR, L.; MCCARTHY, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications_A review. **Food Hydrocolloids**, 21, p. 1–22, 2007.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, 81, p. 219–231, 2003.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. JR. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p.144-158, 1965.

STRINGHETA, P. C.; BERTOLDI, M. C. Banana-passa e Farinha de Banana. **Boletim de Extensão**, No. 56. Viçosa-MG: UFV, 2009.

SUNTHARALINGAM S., RAVINDRAN G. Physical and biochemical properties of green banana flour. **Plant Foods for Human Nutrition**. 43 (1):19-27; Jan., 1993.

TAKO, M.; TAMAKI, Y; TERUYA, T; TAKEDA, Y. The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation. **Food and Nutrition Sciences**. 5, 280-291 Pulicado Online, janeiro. 2014.

TEIXEIRA, M. A. V. César F. CIACCO, C. F.; TAVARES, D. Q.; BONEZZI, A. N. Ocorrência e caracterização do amido resistente em amidos de milho e de banana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 18, n. 2, p. 246-253, 1998

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. **Starches: practical guides for the food industry**. Minnesota: Eagan Press, 1999. 94 p.

TRIBESS, T. B.; HERNANDÉZ-URIBE, J. P.; MENDÉZ-MONTEALVO, M. G. C.; MENEZES, E. W.; BELLO-PEREZ, L. A.; TADINI, C. C. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. **LWT - Food Science and Technology**. 42, p.1022–1025. 2009.

VATANASUCHART, N; NIYOMWIT, B.; NARASRI, W. Resistant starch, physicochemical and structural properties of bananas from different cultivars with an effect of ripening and processing. **Kasetsart Journal (Natural Science)**, 46 : 461 – 472. 2012.

VENTURA, J. A.; et al. **Vitória e Japira – Novas cultivares de bananeira**. Instituto Capixaba de Pesquisa e Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER. Vitória, ES. 2011

VILELA, P. S.; CASTRO, C. W.; AVELLAR, S. O. **Análise da oferta e da demanda de frutas selecionadas no Brasil para o decênio 2006/2015**. Belo Horizonte: FAEMG, 2006.

VON LOESECKE, H.W. **Bananas**. 2nd ed. New York: Interscience Publishers. p.52-66, 1950.

WALISZEWSKI, K. N.; APARICIO, M. A.; BELLO, L. A.; MONROY, J. A. Changes of banana starch by chemical and physical modification. **Carbohydrate Polymers**. 52, p. 237–242. 2003.

WALTER, M; SILVA, L. P.; PERDOMO, D. M. X. Amido disponível e resistente em alimentos: adaptação do método da AOAC 996.11. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara v. 16, n. 1, p. 39-43, jan./mar. 2005.

ZABALAGA, R. F.; CARBALLO, S. C. Convective drying and water adsorption behavior of unripe banana: mathematical modeling. **Journal of Food Processing and Preservation**. p. 1-8, 2014.

ZANDONADI, R. P.; BOTELHO, R. B. A.; GANDOLFI, L; GINANI, J. S.; MONTENEGRO, F. M.; PRATESI, R. Green banana pasta: an alternative for gluten-free diets. **Academy of Nutrition and Dietetics**, 2012.

ZHANG, P.; HAMAKER, B. R. Banana starch structure and digestibility. **Carbohydrate Polymers**. 87, p.1552– 1558. 2012.

ZHANG, P.; WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; HAMAKER, B. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review. **Carbohydrate Polymers**. 59, p. 443–458. 2005.

ZHU, F. Interactions between starch and phenolic compound. **Trends in Food Science & Technology**, 43, p. 129-143, 2015

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

ZUWARIAH, I; AZIAH, A. A. N. Physicochemical properties of wheat breads substituted with banana flour and modified banana flour. **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**, 37(1), p. 33-42, 2009.

APENDICE A – Análise de amido total¹

Amostras de polpa de banana e de farinha de banana verde podem conter glicose livre e maltodextrinas, que devem ser removidas [item b) a f)], para prevenir superestimação dos resultados. Por conter amido resistente devem ser tratadas com hidróxido de potássio (KOH) [f)] que tem a função de tornar o amido disponível.

- a) Moer a amostra até passar por peneira de 0,5 mm. No caso de banana verde, adotou-se a homogeneização da polpa em processador, passagem por uma peneira de 1,0 mm, seguido da peneira de 0,5 mm.
- b) Pesar 100 mg de amostra de farinha de banana verde ou 500 mg de polpa de banana verde (duplicata) em tubo de ensaio centrífuga (50 mL);
- c) Adicionar 5 mL de etanol aquoso (80 % v/v) e aquecer a 80 °C / 5 min;
- d) Deixar em repouso por 10 minutos;
- e) Centrifugar a 3000 rpm por 10 min e descartar o sobrenadante;
- f) Adicionar mais 10 mL de etanol (80 % v/v) e ressuspender o resíduo com uma espátula. Centrifugar como acima, descartar cuidadosamente o sobrenadante;
- g) Adicionar uma barra magnética (5x5 mm) e 2 mL de KOH 2 mol·L⁻¹ em cada tubo (para ressuspender o resíduo e dispersar amido resistente), e manter sob agitação por aproximadamente 20 minutos em banho de gelo;
- h) Adicionar 8mL de acetato de sódio (pH 3,8) em cada tubo. Imediatamente adicionar 0,1 mL de alfa-amilase termoestável (30 U·mL⁻¹)
- i) Homogeneizar e incubar em banho-maria a 50 °C / 30 min.
- j) Transferir o volume para balão volumétrico de 100 mL. Rinsar os tubos com água destilada e transferir para o balão. Ajustar o volume com água destilada e homogeneizar por inversão.
- k) Centrifugar uma alíquota dessa solução a 3000 rpm por 10 min.
- l) Transferir uma alíquota de 0,1 mL do sobrenadante para um tubo de ensaio com 3 mL de GOPOD;

¹ Método de análise de amido total, de acordo com o Kit K-TSTA (Megazyme ®), para amostras que também contêm amido resistente, D-glicose e/ou maltodextrinas.

- m) Paralelamente preparar uma solução padrão (duplicata), adicionando 0,1 mL de solução padrão de glicose ($1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) em 3mL de GOPOD e branco com 0,1 mL de água destilada em 3 mL de GOPOD;
- n) Incubar os tubos em banho-maria a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ / 20 min.
- o) Ler a absorvância das amostras em espectrofotômetro a 510 nm, contra um branco (3 mL de GOPOD com 0,1 mL de água destilada).
- p) Determinar a concentração de amido total (AT):

$$AT (\% \text{ b. u.}) = \Delta A \cdot F \cdot \left(\frac{VF}{0,1}\right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left(\frac{100}{m_a}\right) \cdot \left(\frac{162}{180}\right) \quad (a_1)$$

$$AT (\% \text{ b. u.}) = \Delta A \cdot \left(\frac{F}{m_a}\right) \cdot VF \cdot 0,9 \quad (a_2)$$

$$AT (\% \text{ b. s.}) = AT (\% \text{ p/p}) \cdot \frac{100}{(100 - U)} \quad (a_3)$$

Sendo:

- ΔA : Leitura de absorvância (amostra – branco);
- F: $100 (\mu\text{g de glicose}) / (\text{absorvância para } 100 \mu\text{g de glicose}) = \text{fator de conversão de absorvância para mg}$;
- VF: volume final (100 mL);
- 0,1: volume de amostra analisado;
- $1/1000 = \text{conversão de } \mu\text{g para mg}$;
- $100/m_a$: fator para expressar ‘amido’ como porcentagem do peso da amostra;
- m_a : massa da amostra (mg);
- $162/180$: fator de conversão de glicose livre em amido (glicose anidro);
- U: umidade da amostra (%).

APENDICE B – Análise de digestibilidade *in vitro* de amido ²

B1 - Preparo de amostra

- a) As amostras de alimentos devem ser analisadas como são consumidas. Assim, alimentos cozidos devem ser preparados imediatamente antes da análise, e mantido quente até a adição de tampão. Aqueles que reconhecidamente possuem uma estrutura que normalmente requer mastigação (arroz, massas e milho) devem passar por uma operação de moagem antes da pesagem. No caso de polpa de banana verde, adotou-se a trituração em processador, seguido da passagem por uma peneira de 0,9 cm.
- b) Pesar, em torno de 0,6 g de FBV ou 4,0 g de polpa de banana verde com casca ou sem casca, em tubo de polietileno de 50 mL com rosca e tampa;
- c) Adicionar a cada tubo 50 mg de goma *guar* em pó e 5 esferas de vidro (0,5 cm);
- d) Em dois tubos extras pesar exatamente 50 mg de goma *guar* e adicionar 5 esferas de vidro (1,5 cm); Pipetar 20 mL de solução padrão de glicose ($25 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) em tampão de acetato de sódio ($0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) em cada tubo e agitar para dispersar a goma *guar*;
- e) Um tubo branco contendo goma *guar*, esferas de vidro e 20 mL de tampão de acetato de sódio é necessário para corrigir glicose presente na solução de amiloglicosidase;
- f) Tratar estes tubos exatamente como a amostra, após a adição de tampão de acetato de sódio;

B2 - Determinação de ARD e ALD

- a) Inicialmente preparar a solução tampão de acetato de sódio $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (pH = 5,2): dissolver 13,6 g de acetato de sódio tri-hidratado em 250 mL de solução saturada de ácido benzoico (~1,0 g) e completar o volume para 1L com água destilada. Aferir o pH para 5,2 com solução de ácido acético $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Adicionar 4 mL de cloreto de cálcio $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, que tem a função de estabilizar e ativar as enzimas.
- b) Pipetar 20 mL de tampão acetato $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ em cada tubo de amostra e agitar vigorosamente para dispersar goma *guar*;

² A determinação das frações de ARD, ALD e AR foram determinadas neste estudo segundo método de Englyst (Englyst et al., 1992), com modificações.

- c) Equilibrar as amostras, tampão e branco em banho-maria metabólico a 37 °C;
- d) Adicionar 5,2 mL da solução de enzimas digestivas em todos os tubos (recomendável em intervalos 1 min cada), e iniciar a contagem do tempo a partir deste momento;

*Solução de enzimas digestivas*³:

- Preparar imediatamente antes do uso;
 - Diluir 0,344 mL de amiloglicosidase (AG) (Megazyme®) em 8 mL de água destilada (140 AGU·mL⁻¹);
 - Pesar 3,0 g de alfa-amilase porcina (Sigma®) em cada um de 4 tubos centrífuga e adicionar 20 mL de água destilada. Agitar com barra magnética por 10 min., seguido de centrifugação (3000 g·10 min⁻¹). Tomar 13,5 mL do sobrenadante de cada tubo (total 54 mL) e misturar com 6 mL de amiloglicosidase
 - Esta quantidade é suficiente para 12 análises (2 padrões, 1 branco e 3 amostras/triplicata)
- e) Tampar tubos e imergir horizontalmente em banho-maria metabólico a 37 °C, firmemente presos;
 - f) Ajustar a velocidade de agitação do banho-maria a 160 pulsos (*strokes*) por min e comprimento de pulso (*stroke*) de 35 mm para garantir uma ação de esmagamento das pérolas de vidro, que é essencial para esta análise;
 - g) Após 20 minutos, remover 0,5 mL de amostra hidrolisada em um tubo de ensaio contendo 20 ml de etanol 66 % e homogeneizar bem (preferencialmente agitação do banho não deve interrompida durante a amostragem);
 - h) Imediatamente, recolocar o tubo de amostra no banho-maria;
 - i) Após transcorrer mais 100 min, transferir mais 0,5 ml de hidrolisado da mesma forma. Mas neste ponto não é necessário retornar a amostra para o banho-maria;

³ Não foi empregado enzima invertase, com base em ensaios preliminares, uma vez que no grau de maturação das bananas empregados neste estudo, o nível de açúcares (incluindo sacarose, glicose, entre outros) foi menor que 0,5 % (glicose livre ~ 0);

Não foi empregado enzima protease, com base em resultados de Walter et al. (2005), onde sua utilização não alterou significativamente os valores de AD e AR em banana verde.

- j) A porção correspondente a 20 minutos de hidrólise é denominada de G_{20} e a de 100 min de G_{120} ;
- k) Centrifugar as porções G_{20} e G_{120} por 1 a 2 minutos para obtenção de sobrenadante claro;
- l) Determinar a concentração de glicose destas porções empregando reagente GOPOD:
- Pipetar 100 μL do branco; 100 μL de padrão de glicose ($25 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) e 100 μL de G_{20} e G_{120} em 3 mL de reagente GOPOD;
 - Incubar a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ / 20 min;
 - Fazer a leitura de absorvância a 510 nm.
- m) Determinar a concentração de glicose (G) nas amostras hidrolisadas:

$$G(\%) = [(A_t \cdot V_t \cdot C)/(A_p \cdot m_a)] \cdot 100 \quad (b_1)$$

Sendo:

- G: glicose total
- A_t : absorvância da solução teste (G_{20} e G_{120});
- V_t : volume total da solução hidrolisada, a partir da qual é tomada uma sub-amostra (25,2 mL);
- C: concentração do padrão de glicose ($25 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$);
- A_p : absorvância do padrão de glicose;
- m_a : massa da amostra

- n) Determinar as frações de amido⁴:

$$ARD = G_{20} \cdot 0,9 \quad (b_2)$$

$$ALD = (G_{120} - G_{20}) \cdot 0,9 \quad (b_3)$$

$$AR = AT - (ARD + ALD) \quad (b_4)$$

⁴ Considerou-se que a glicose livre (GL) da banana verde no estágio de maturação, empregado neste estudo, é aproximadamente zero ($GL \sim 0$)

APENDICE C – Coeficientes dos modelos ajustados aos dados experimentais da secagem de banana verde.

C1 – Banana verde com casca

| Modelos | Temperatura (°C) | a | k ₁ | k ₂ | N |
|-----------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| Newton | 50 | - | 0,0075 * | - | - |
| | 57 | - | 0,0083 * | - | - |
| | 64 | - | 0,0104 * | - | - |
| | 71 | - | 0,0117 * | - | - |
| Page | 50 | - | 0,0060 * | - | 1,0478 * |
| | 57 | - | 0,0072 * | - | 1,0320 * |
| | 64 | - | 0,0098 * | - | 1,0130 * |
| | 71 | - | 0,0063 * | - | 1,1420 * |
| Henderson_Pabis | 50 | 1,0091 * | 0,0076 * | - | - |
| | 57 | 1,0006 * | 0,0083 * | - | - |
| | 64 | 1,0010 * | 0,0104 * | - | - |
| | 71 | 1,0367 * | 0,0122 * | - | - |
| Dois termos | 50 | 3,6837 ^{ns} | 0,0023 ^{ns} | 0,0002 ^{ns} | 1,3435 * |
| | 57 | 0,4662 ^{ns} | 0,0195 ^{ns} | 9,059.10 ⁻⁵ ^{ns} | 1,7825 * |
| | 64 | 1,0179 * | 0,0100 ^{ns} | 1,640.10 ⁻¹⁶ ^{ns} | 1,170.10 ⁻¹⁶ * |
| | 71 | 0,5168 ^{ns} | 0,0200 ^{ns} | 0,0002 ^{ns} | 1,7620 ^{ns} |

* significativo (p < 0,001); ^{ns} não significativo (p > 0,001)

C2 - Banana verde com casca, modificada por autoclavagem/refrigeração.

| Modelos | Temperatura (°C) | a | k ₁ | k ₂ | n |
|-----------------|---------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| Newton | 50 | - | 0,0081 * | - | |
| | 57 | - | 0,0087 * | - | |
| | 64 | - | 0,0100 * | - | |
| | 71 | - | 0,0142 * | - | |
| Page | 50 | - | 0,0081 * | - | 1,0000 * |
| | 57 | - | 0,0097 * | - | 0,9779 * |
| | 64 | - | 0,0102 * | - | 0,9957 * |
| | 71 | - | 0,0171 * | - | 0,9567 * |
| Henderson-Pabis | 50 | 0,9990 * | 0,0081 * | - | - |
| | 57 | 0,9968 * | 0,0087 * | - | - |
| | 64 | 1,0035 * | 0,0102 * | - | - |
| | 71 | 0,9867 * | 0,0142 * | - | - |
| Dois termos | 50 | 0,3757 ^{ns} | 0,0443 * | 8,2785.10 ⁻⁴ ^{ns} | 1,5434 * |
| | 57 | 0,9593 * | 8,3344.10 ⁻³ * | 4,8197.10 ⁻⁴ ^{ns} | 2,1605 * |
| | 64 | 1,0000 ^{ns} | 0,9529 ^{ns} | 0,9060 ^{ns} | 0,8608 ^{ns} |
| | 71 | 1,2561 ^{ns} | 0,0149 * | 6,2886.10 ⁻³ ^{ns} | 1,2594 ^{ns} |

* significativo (p < 0,001); ^{ns} não significativo (p > 0,001).

C3 - Banana verde sem casca

| Modelo | Temperatura (°C) | a | k ₁ | k ₂ | N |
|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|----------|
| Newton | 50 | - | 0,0095 * | - | - |
| | 57 | - | 0,0113 * | - | - |
| | 64 | - | 0,0132 * | - | - |
| | 71 | - | 0,0149 * | - | - |
| Page | 50 | - | 0,0101 * | - | 0,9865 * |
| | 57 | - | 0,0139 * | - | 0,9517 * |
| | 64 | - | 0,0139 * | - | 0,9876 * |
| | 71 | - | 0,0152 * | - | 0,9956 * |
| Henderson-Pabis | 50 | 0,9907 * | 0,0094 * | - | - |
| | 57 | 0,9790 * | 0,0110 * | - | - |
| | 64 | 0,9838 * | 0,0129 * | - | - |
| | 71 | 0,9880 * | 0,0147 * | - | - |
| Dois termos | 50 | 0,6256 ^{ns} | 0,0167 ^{ns} | 0,000058707 ^{ns} | 1,8541 * |
| | 57 | 0,4815 ^{ns} | 0,0280 ^{ns} | 0,00019961 ^{ns} | 1,7010 * |
| | 64 | 0,3459 * | 0,0486 * | 0,0004592 ^{ns} | 1,6334 * |
| | 71 | 0,3757 ^{ns} | 0,0443 ^{ns} | 0,00082785 ^{ns} | 1,5434 * |

* significativo ($p < 0,001$); ^{ns} não significativo ($p > 0,001$).

C4. Banana verde sem casca, modificada por autoclavagem/refrigeração.

| Modelo | Temperatura (°C) | a | k ₁ | k ₂ | n |
|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Newton | 50 | - | 0,0092 * | - | - |
| | 57 | - | 0,0103 * | - | - |
| | 64 | - | 0,0123 * | - | - |
| | 71 | - | 0,0154 * | - | - |
| Page | 50 | - | 0,0119 * | - | 0,9438 * |
| | 57 | - | 0,0176 * | - | 0,8810 * |
| | 64 | - | 0,0176 * | - | 0,9169 * |
| | 71 | - | 0,0211 * | - | 0,9213 * |
| Henderson-Pabis | 50 | 0,9790 * | 0,0089 * | - | - |
| | 57 | 0,9574 * | 0,0097 * | - | - |
| | 64 | 0,9681 * | 0,0117 * | - | - |
| | 71 | 0,9711 * | 0,0147 * | - | - |
| Dois termos | 50 | 0,2870 ^{ns} | 0,0304 ^{ns} | 1,8777.10 ⁻³ ^{ns} | 1,8777.10 ⁻⁴ ^{ns} |
| | 57 | 4,3549 ^{ns} | 0,0113 ^{ns} | 9,5448.10 ⁻³ ^{ns} | 1,0431 ^{ns} |
| | 64 | 0,3000 ^{ns} | 0,0432 ^{ns} | 2,5048.10 ⁻³ ^{ns} | 1,2602 ^{ns} |
| | 71 | 0,8700 ^{ns} | 0,0136 ^{ns} | 0,1106 ^{ns} | 0,7102 ^{ns} |

* significativo (p < 0,001); ^{ns} não significativo (p > 0,001).

APÊNDICE D - Estatísticas dos dados experimentais de secagem de banana verde a diferentes temperaturas, ajustados aos modelos matemáticos.

D1 - Banana verde com casca

| Modelo | Temperatura (°C) | R ² | χ^2 | RQMR |
|-----------------|------------------|----------------|----------|--------|
| Newton | 50 | 0,9975 | 0,000281 | 0,0280 |
| | 57 | 0,9975 | 0,000185 | 0,0330 |
| | 64 | 0,9985 | 0,000185 | 0,0330 |
| | 71 | 0,9944 | 0,000634 | 0,0407 |
| Page | 50 | 0,9981 | 0,000218 | 0,0142 |
| | 57 | 0,9977 | 0,000244 | 0,0150 |
| | 64 | 0,9985 | 0,000187 | 0,0131 |
| | 71 | 0,9989 | 0,000134 | 0,0112 |
| Henderson-Pabis | 50 | 0,9977 | 0,000275 | 0,0160 |
| | 57 | 0,9975 | 0,000275 | 0,0160 |
| | 64 | 0,9985 | 0,000193 | 0,0133 |
| | 71 | 0,9960 | 0,000468 | 0,0209 |

D2 - Banana verde sem casca

| Modelo | Temperatura (°C) | R ² | χ^2 | RQMR |
|-----------------|------------------|----------------|----------|--------|
| Newton | 50 | 0,9988 | 0,000114 | 0,0154 |
| | 57 | 0,9979 | 0,000492 | 0,0269 |
| | 64 | 0,9972 | 0,000321 | 0,0238 |
| | 71 | 0,9982 | 0,000801 | 0,0334 |
| Page | 50 | 0,9989 | 0,000112 | 0,0102 |
| | 57 | 0,9986 | 0,000154 | 0,0119 |
| | 64 | 0,9972 | 0,000335 | 0,0173 |
| | 71 | 0,9983 | 0,000179 | 0,0129 |
| Henderson-Pabis | 50 | 0,9990 | 0,000103 | 0,0098 |
| | 57 | 0,9986 | 0,000153 | 0,0118 |
| | 64 | 0,9976 | 0,000288 | 0,0161 |
| | 71 | 0,9984 | 0,000159 | 0,0121 |

D3 - Banana verde com casca, modificada por autoclavagem/refrigeração

| Modelo | Temperatura (°C) | R ² | χ^2 | RQMR |
|-----------------|------------------|----------------|----------|--------|
| Newton | 50 | 0,9999 | 0,000015 | 0,0038 |
| | 57 | 0,9997 | 0,000035 | 0,0059 |
| | 64 | 0,9998 | 0,000025 | 0,0049 |
| | 71 | 0,9991 | 0,000084 | 0,0090 |
| Page | 50 | 0,9999 | 0,000009 | 0,0029 |
| | 57 | 0,9998 | 0,000023 | 0,0047 |
| | 64 | 0,9998 | 0,000026 | 0,0049 |
| | 71 | 0,9996 | 0,000035 | 0,0058 |
| Henderson-Pabis | 50 | 0,9999 | 0,000009 | 0,0029 |
| | 57 | 0,9997 | 0,000035 | 0,0058 |
| | 64 | 0,9992 | 0,000026 | 0,0049 |
| | 71 | 0,9983 | 0,000050 | 0,0069 |

D4 - Banana verde sem casca, modificada por autoclavagem/refrigeração

| Modelo | Temperatura (°C) | R ² | χ^2 | RQMR |
|-----------------|------------------|----------------|----------|--------|
| Newton | 50 | 0,9988 | 0,000121 | 0,0108 |
| | 57 | 0,9953 | 0,000513 | 0,0222 |
| | 64 | 0,9971 | 0,000261 | 0,0159 |
| | 71 | 0,9971 | 0,000274 | 0,0163 |
| Page | 50 | 0,9997 | 0,000032 | 0,0055 |
| | 57 | 0,9998 | 0,000023 | 0,0046 |
| | 64 | 0,9994 | 0,000060 | 0,0075 |
| | 71 | 0,9988 | 0,000122 | 0,0106 |
| Henderson-Pabis | 50 | 0,9994 | 0,000060 | 0,0075 |
| | 57 | 0,9981 | 0,000215 | 0,0141 |
| | 64 | 0,9986 | 0,000131 | 0,0110 |
| | 71 | 0,9982 | 0,000180 | 0,0129 |