

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE AMIDOS DE
GENÓTIPOS DE BANANEIRAS**

CAMILA DE BARROS MESQUITA

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus
de Botucatu - para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Energia na
Agricultura).

BOTUCATU - SP

Maio - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE AMIDOS DE
GENÓTIPOS DE BANANEIRAS**

CAMILA DE BARROS MESQUITA

Orientadora: Prof.^a Dra. Magali Leonel

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP -
Câmpus de Botucatu - para obtenção do
título de Mestre em Agronomia (Energia
na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Maio - 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO- BOTUCATU (SP)

M582c Mesquita, Camila de Barros, 1990-
Características físico-químicas de amidos de genótipos
de bananeiras / Camila de Barros Mesquita. - Botucatu :
[s.n.], 2015
viii, 77 f.: il. (alguns color.), grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015
Orientador: Magali Leonel
Inclui bibliografia

1. Banana - Cultivo. 2. Amido - Análise. 3. Viscosida-
de. 4. Plantas - efeito do fosforo. I. Leonel, Magali. II.
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
(Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas de
Botucatu. III. Título.

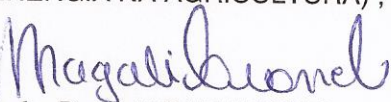
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE AMIDOS DE GENÓTIPOS DE BANANEIRAS

AUTORA: CAMILA DE BARROS MESQUITA

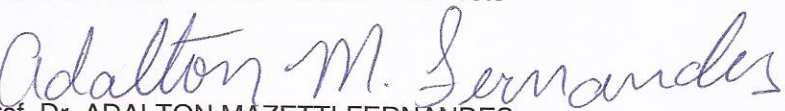
ORIENTADORA: Profa. Dra. MAGALI LEONEL

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. MAGALI LEONEL
CERAT - FCA

Profa. Dra. CELIA MARIA LANDI FRANCO

Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos / Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas de São José do Rio Preto


Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES
Cerat / Unesp - Universidade Estadual Paulista "Julio Mesquita Filho"

Data da realização: 15 de setembro de 2015.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Givani de Barros Mesquita e Antonio Celio Pereira de Mesquita, pela educação e incentivo ao estudo. E pelo amor.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e oportunidade de crescer, amadurecer e amar.

Aos meus pais, à minha irmã Cíntia e ao meu cunhado Murilo, pelo apoio emocional e financeiro nestes dois anos.

À orientadora Prof.^a Dra. Magali Leonel pela dedicação, incentivo e confiança.

Ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais pelo suporte para execução deste trabalho.

Ao amigo Emerson Loli Garcia pelo auxílio às análises e conversas de conforto.

À Thaís Paes Rodrigues dos Santos pelo auxílio às análises e ensinamentos.

Aos funcionários do CERAT pela paciência e ajuda cedida no decorrer do trabalho.

Aos pesquisadores Dr. Adalton Mazetti Fernandes e Prof.^a Dra. Célia Maria Landi Franco pelas correções e sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de mestrado.

"Para isso eu me esforço, lutando conforme a sua força, que atua poderosamente em mim."

Colossenses 1:29

SUMÁRIO

RESUMO	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 Banana	8
2.2 Amido	9
2.2.1 Estrutura granular	10
2.2.2 Cristalinidade	12
2.2.3 Propriedades de pasta	13
2.2.4 Propriedades térmicas	15
2.2.5 Poder de inchamento e solubilidade	16
2.3 Fósforo	17
2.4 Amido de banana verde	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Cultivares de bananeiras	21
3.2 Condições de cultivo das bananeiras	24
3.3 Colheita e análise dos frutos das bananeiras	25
3.3.1 Análises da polpa dos frutos verdes	26
3.3.1.1 Teor de umidade	26
3.3.1.2 Teor de fósforo	26
3.3.1.3 Teor de amido	27
3.4 Extração dos amidos das bananas verdes	27
3.5 Rendimento de extração dos amidos	28
3.6 Análise dos amidos	28
3.6.1 Morfologia dos grânulos	28
3.6.2 Tamanho dos grânulos dos amidos	29
3.6.3 Difração por raios-X (cristalinidade)	29
3.6.4 Composição centesimal	30
3.6.5 Teor de fósforo	30
3.6.6 Amilose aparente	30
3.6.7 Amido resistente	31

3.6.8 Propriedades de pasta	31
3.6.9 Propriedades térmicas	32
3.6.10 Poder de inchamento e Solubilidade	32
3.7 Análise estatística dos dados	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Caracterização dos frutos	34
4.2 Rendimento de extração dos amidos	36
4.3 Caracterização dos Amidos	36
4.3.1 Morfologia dos grânulos de amido	36
4.3.2 Tamanhos dos grânulos do amido	40
4.3.3 Difração de Raios-X	41
4.3.4 Composição centesimal	44
4.3.5 Teor de fósforo	46
4.3.6 Amilose	47
4.3.7 Amido resistente	48
4.3.8 Propriedades de pasta	50
4.3.9 Propriedades térmicas	54
4.3.10 Poder de inchamento e Solubilidade	59
5 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: ANÁLISE DE SOLO ANTERIOR AO PLANTIO DAS BANANEIRAS.	25
TABELA 2: CARACTERIZAÇÃO DOS FRUTOS VERDES DOS GENÓTIPOS DE BANANEIRAS (BASE ÚMIDA)	35
TABELA 3: TAMANHO MÉDIO DOS GRÂNULOS DE AMIDO DOS GENÓTIPOS DE BANANEIRA.	41
TABELA 4: ÁREA CRISTALINA DOS AMIDOS.....	41
TABELA 5: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AMIDOS DOS GENÓTIPOS DE BANANEIRAS	45
TABELA 6: TEOR DE FÓSFORO NOS AMIDOS EXTRAÍDOS DOS DIFERENTES GENÓTIPOS DE BANANEIRAS.....	46
TABELA 7: TEORES DE AMIOSE DOS AMIDOS EXTRAÍDOS DOS DIFERENTES GENÓTIPOS DE BANANEIRAS.....	47
TABELA 8: AMIDO RESISTENTE NOS AMIDOS EXTRAÍDOS DOS DIFERENTES GENÓTIPOS DE BANANEIRAS.....	49
TABELA 9: PROPRIEDADES DE PASTA DOS AMIDOS.....	52
TABELA 10: PROPRIEDADES TÉRMICAS DE GELATINIZAÇÃO DOS AMIDOS.	54
TABELA 11: PROPRIEDADES TÉRMICAS DE RETROGRADAÇÃO DOS AMIDOS	57
TABELA 12: PODER DE INCHAMENTO (PI) E SOLUBILIDADE (S) DOS AMIDOS DE BANANA	59

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ESTRUTURA INTERNA DO GRÂNULO DE AMIDO COM A VISUALIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO E CENTRO OU HILUM.	12
FIGURA 2: CACHO DE BANANEIRA 'NANICÃO-IAC-2001'.	22
FIGURA 3: CACHO DE BANANEIRA 'GRAND NAINÉ'.	22
FIGURA 4: CACHO DE BANANEIRA 'MAÇÃ'.	23
FIGURA 5: CACHO DE BANANEIRA 'PRATA-ANÃ'.	23
FIGURA 6: CACHO DE BANANEIRA 'FHIA 18'.	24
FIGURA 7: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DOS AMIDOS DE BANANA VERDE.	28
FIGURA 8: RENDIMENTO DE EXTRAÇÃO DOS AMIDOS DE BANANA VERDE EXTRAÍDOS DOS DIFERENTES GENÓTIPOS.	36
FIGURA 9: MEV DOS AMIDOS DO GENÓTIPO 'NANICÃO'.	38
FIGURA 10: MEV DOS AMIDOS DO GENÓTIPO 'GRAND NAINÉ'.	38
FIGURA 11: MEV DOS AMIDOS DO GENÓTIPO 'MAÇÃ'.	39
FIGURA 12: MEV DOS AMIDOS DO GENÓTIPO 'PRATA-ANÃ'.	39
FIGURA 13: MEV DOS AMIDOS DO GENÓTIPO 'FHIA 18'.	40
FIGURA 14: DIFRACTOGRAMAS DE RAIO-X DOS AMIDOS DOS GENÓTIPOS 'NANICÃO' (A), 'GRAND NAINÉ' (B), 'MAÇÃ' (C), 'PRATA-ANÃ' (D) E 'FHIA 18' (E)	43

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE AMIDOS DE GENÓTIPOS DE BANANEIRAS

RESUMO

A *banana* (*Musa* spp.) é uma das frutas mais cultivadas nos países de clima tropical e subtropical. O Brasil possui destaque no cenário mundial, contudo, o acúmulo de perdas na cadeia produtiva da banana é grande. Uma forma de reduzir essas perdas é utilizando a banana como fonte de amido e farinhas especiais. O amido varia em forma e funcionalidade entre e dentro de espécies botânicas e até mesmo em um mesmo cultivar sob diferentes condições de cultivo. Esta variabilidade fornece amidos com diversas propriedades. Nesta linha, este projeto objetivou comparar a polpa dos frutos verdes entre os genótipos de bananeiras, bem como as características físico-químicas de seus amidos. Cinco genótipos de bananeiras foram plantados na Fazenda Experimental São Manuel/UNESP e cultivados em delineamento sistematizado em parcelas subdivididas (dez plantas/parcela). Os cachos com os frutos verdes foram colhidos no primeiro ciclo de produção e manejados no laboratório de processamento do CERAT/UNESP para a obtenção dos amidos. Os frutos frescos foram analisados quanto aos teores de umidade, fósforo e amido. Visando à comparação das características dos amidos dos genótipos de bananeiras, estes foram analisados quanto à cristalinidade, distribuição de tamanho de grânulos, forma dos grânulos, composição centesimal, teores de fósforo, amilose aparente e amido resistente, propriedades de pasta, propriedades térmicas, poder de inchamento e solubilidade. A análise dos frutos revelou que os frutos verdes de banana 'Prata-Anã' possuem maior quantidade de matéria seca (41,95 %). O maior teor de amido dos frutos é pertencente ao genótipo 'Maçã'. O teor de fósforo dos frutos não diferiu estatisticamente. A análise do tamanho dos grânulos de amido dos genótipos de banana evidenciou que estes são grandes (36,58 a 47,24 μm), ovalados, possuem padrão de cristalinidade tipo B e não diferem entre si para o índice de cristalinidade (31,94 % a 34,06 %). Os resultados também evidenciaram que os amidos nativos das bananas verdes possuem teor de fósforo com variação de 0,003 % para 'Grand Naine' a 0,01 % para 'Prata-Anã'; alto teor de amilose, com valores de 25,13 a 29,01 %, e amido resistente, variando de 65,70 % para 'FHIA 18' a 80,28 % para 'Prata-Anã'. Também possuem alto pico e quebra de viscosidade, com destaque para 'Nanicão' e 'Grand Naine', e viscosidade final e tendência a retrogradação maiores para o genótipo 'Maçã'. Os amidos apresentaram temperatura de pico de gelatinização em torno de 71 °C, ΔH de 9,45 a 14,73

J.g⁻¹ e alta taxa de retrogradação, com 57,81 % para 'FHIA 18'. 'Grand Naine' apresenta maior poder de inchamento a 95 °C (15,19 g/g) e 'Prata-Anã' maior solubilidade 11,61 %. Os amidos de bananas verdes se destacam pelas suas características reológicas e morfológicas, podendo ser utilizados na indústria para produção de alimentos com características físicas específicas e também são nutricionalmente benéficos para a saúde do trato gastrointestinal se consumidos *in natura*.

PALAVRAS-CHAVE: *Musa* spp, amido, amilose, cristalinidade, viscosidade.

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF STARCHES FROM DIFFERENT BANANA GENOTYPES. Botucatu, 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CAMILA DE BARROS MESQUITA

Adviser: MAGALI LEONEL

SUMMARY

Banana (Musa spp.) is one of the most cultivated fruit in the countries of tropical and subtropical climate. Brazil has featured on the world stage, but the accumulation of losses in the production chain of banana is quite large. One way to reduce these losses is to use banana as a source of starch and special flours. The starch varies in form and function within and among plant species and even in the same cultivar under different growing conditions. This variability provides starches with diverse properties. In this line, this project aimed to compare the pulp of the green fruit from banana genotypes, as well as physico-chemical properties of starches. Five genotypes of banana were planted in the farm San Manuel/UNESP and cultured in systematic design in split plots (ten plants/plot). The clusters with green fruits were harvested in the first cycle of production and managed in the processing lab of CERAT/UNESP to obtain the starches. Fresh fruits were analyzed for moisture, phosphorus and starch. In order to compare the characteristics of starches of banana genotypes without phosphorus fertilization, these were analyzed for crystallinity, size distribution of granules, scanning electron microscopy, chemical composition, phosphorus content, apparent amylose, resistant starch, pasting and thermal properties, swelling power and solubility. The analysis reveals that the fruits of 'Prata-Anã' had a higher amount of dry matter (41.95 %). The greatest content of starch in fruit was observed in 'Maçã'. The content of phosphorus in fruit does not differed statistically. The granules of banana starches were large (36.58 to 47.24 microns), oval, had crystallinity standard type B and index of crystallinity with statistically similar values (31.94 % to 34.06 %). The results also showed that the native starches extracted from green bananas had phosphorus contents ranging from 0,003 % ('Grand Naine') to 0,01 % ('Prata-Anã'); high amylose contents, with values ranging from 25,13 to 29,01 %, and resistant starch, ranging from 65,70 % for 'FHIA 18' to 80,28 % for the 'Prata-Anã'. The bananas starches also showed high peak of viscosity and breakdown, especially 'Nanicão' and 'Grand Naine', and high final

viscosity and setback for genotype 'Maçã'. Bananas starches showed peak *temperature of gelatinization* around of 71 °C, ΔH ranging from 9.45 to 14.73 J g⁻¹ and a high rate of retrogradation with 57.81 % for 'FHIA 18'. 'Grand Naine' had a higher swelling power at 95 °C (15.19 g/g) and 'Prata-Anã' showed higher solubility 11.61 %. The starches of green bananas stands out for its rheological and morphological characteristics that may be used in the industry to produce food with specific physical characteristics and also are nutritionally beneficial for the health of the gastrointestinal tract if ingested in natura.

KEYWORDS: *Musa spp*, starch, amylose, cristallinity, viscosity.

1 INTRODUÇÃO

As tendências do mercado mundial de alimentos apontam para alto crescimento no consumo de produtos naturais, como as frutas e verduras. A produção mundial de frutas atingiu 587,6 milhões de toneladas em 2009 (BUENO e BACCARIN, 2012). Deste total, 143,8 mil pertencem à exportação de bananas pelo Brasil no último ano citado (IBRAF, 2011). A produção brasileira de bananas, em 2013, atingiu 7,3 milhões de toneladas (IBGE, 2013). Também neste ano, a banana apresentou 22 % do valor total da produção frutícola e a laranja, 20,5 %, sendo as principais espécies de frutas produzidas pelo país (IBGE, 2014).

A banana, independentemente de seu grupo genômico, é uma das frutas de maior consumo no mundo (OLIVEIRA e SOUZA, 2003). No Brasil é a fruta mais consumida independente de classe social e apresentou, em 2008, consumo médio de 7,68 kg/pessoa/ano (SILVEIRA et al., 2011).

A banana verde, além de possuir uma vida mais longa, é um produto com elevado teor de carboidratos de lenta digestão e reduzida concentração de açúcares solúveis. Frente a isto, a banana verde vem sendo considerada um produto de grande interesse para a indústria alimentícia, devido às facilidades de transporte e armazenamento, bem como, ao considerável teor de amido (MV, 2010).

O amido é uma matéria-prima abundante, renovável, biodegradável e não tóxica que pode ser extraído com elevada pureza por meio de processos industriais relativamente simples e ser facilmente convertido em várias substâncias por processos químicos e bioquímicos. Esses fatores, somados, determinam o imenso potencial agrícola e industrial do amido (LEONEL et al., 2011).

As indústrias alimentícias vêm buscando identificar amidos naturais com propriedades especiais para atender as demandas de mercado por produtos sem modificação química. Nesta linha, alguns trabalhos estão sendo desenvolvidos visando avaliar o uso de fontes alternativas de amido de acordo com suas diferentes propriedades.

Considerando que o uso total de amido no mundo cresce em taxas de 3 % a.a. em média; que a demanda mundial por amidos teve um avanço de 21,5 % nos últimos cinco anos; os estudos de caracterização de amidos de diferentes genótipos de bananeira permitirão um grande diferencial ao Brasil no setor de produção de amidos especiais para as indústrias de alimentos.

Diante da importância do amido como ingrediente em produtos alimentícios e da necessidade de amidos nativos com propriedades especiais, este trabalho teve por objetivo geral avaliar o uso da banana verde como matéria-prima para a obtenção de amidos singulares, visando utilização pelas indústrias alimentícias. Assim, foram avaliadas as características físico-químicas, propriedades térmicas e de pasta de amidos de diferentes genótipos de bananeiras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nas indústrias alimentícias, os amidos e derivados são utilizados como ingredientes, componentes básicos ou aditivos adicionados em baixas quantidades para melhorar a fabricação, apresentação ou conservação. Dependendo de sua fonte botânica e, de sua natureza nativa ou modificada, o amido pode, entre outras funções, facilitar o processamento, fornecer textura, servir como espessante, fornecer sólidos em suspensão ou proteger os alimentos durante o processamento, desempenhando assim, um importante papel no controle das características de um grande número de alimentos processados (SERRANO e FRANCO, 2005).

A utilização da banana como matéria-prima amilácea é um desafio, pois envolve o estudo de vários fatores interferentes, como as características particulares de cada genótipo, bem como, a interferência das condições de cultivo na produtividade em amido e, também, sobre as características físicas e funcionais deste carboidrato.

Assim, alguns aspectos importantes estudados e relatados na literatura são aqui abordados, para uma maior sustentação teórica dos objetivos e métodos da pesquisa.

2.1 Banana

A banana (*Musa* sp.) é uma das frutas mais produzidas e consumidas no mundo, sendo a base da economia de alguns países, graças as suas características alimentares, que implicam num elevado consumo nas diversas camadas da sociedade, representando a quarta mercadoria alimentícia em volume de comercialização (AGRIANUAL, 2010).

Segundo os dados da *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2013), em 2011 o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial de banana, com 7,3 milhões de toneladas, atrás do Equador (7,43 milhões) e da Índia (29,66 milhões). A produtividade brasileira média ainda é baixa, 14,56 t/ha, diante do desempenho dos outros países que lideram o mercado global, como a Costa Rica, com produção de 1,93 milhão de toneladas e produtividade de 46,1 t/ha.

Mundialmente, o Brasil classificou-se em terceiro lugar em área plantada, atrás da Índia e Tanzânia, e em quinto em produção, logo após Índia, China, Filipinas e Equador, no ano de 2011 (EMBRAPA, 2011). A banana é produzida por todos os estados brasileiros, sendo os maiores produtores em 2014: São Paulo, Bahia, Minas Gerais, Santa Catarina e Pará com produção de 1.133.819, 1.088.647, 711.397, 701.501 e 588.655 toneladas, respectivamente, e produção nacional total de 7,09 milhões de toneladas (IBGE, 2015).

Muitos genótipos de bananas são comumente utilizados para preparação de receitas e produção de bebidas com fins medicinais. Também são consumidas *in natura* quando atingem estágio de maturação em que o amido foi convertido em dissacarídeos e monossacarídeos. Algumas cultivares, ainda verdes, são consumidas após cozimento. Estas contêm como principal componente o amido, que apresenta importante papel sob as propriedades funcionais e de digestibilidade de alimentos com incorporação deste tipo de banana (AGAMA-ACEVEDO et al., 2015).

Cultivada de norte a sul do Brasil, a banana tem grande expressão econômica e elevada importância social como fonte barata de energia, minerais e vitaminas. Contudo, o país, um dos grandes produtores mundiais, apresenta como um dos principais problemas na comercialização o elevado desperdício pós-colheita (BORGES, 2003).

As principais causas das perdas são atribuídas à falta de mão de obra qualificada, às técnicas inadequadas de manuseio, à falha ou ausência de tratamento contra pragas e moléstias durante as fases pré e pós-colheita, ao desconhecimento do ponto ideal de colheita para alguns frutos e, ao uso inadequado de tecnologias de colheita, armazenamento, embalagem e transporte. Além destes fatores, a sazonalidade das frutas proporciona superprodução que nem sempre é absorvida pelo mercado de produtos *in natura* (UNIVERSIA, 2005).

A banana é um alimento energético com cerca de $85 \text{ kcal.100g}^{-1}$, em base úmida, e cerca de $340 \text{ kcal.100g}^{-1}$ para a farinha integral. Apresenta, em sua composição, considerável teor de carboidratos (22,2 %), sendo rica em sais minerais, destacando-se o potássio (3,5 a 4 %), o fósforo (2,5 a 3 %), o cálcio (0,8 a 1 %), o sódio (4 a 5 %) e o magnésio (2,5 a 3,5 %) (CARVALHO et al., 2002).

Sendo nutritiva, de baixo custo e produzida e consumida em larga escala, a banana, primordialmente em estágio inicial de maturação, vem sendo considerada de grande interesse para a indústria alimentícia para produção de alimentos como banana- passa, sucos carbonatados, farinhas, bem como, fonte de amido.

2.2 Amido

Carboidratos, um dos grupos mais comuns de produtos naturais, são materiais construtores para plantas (celulose, hemicelulose, pectinas) e tecidos animais. Eles são fonte energética e material de reserva da flora (amido, inulina) e fauna (glicogênio) (TOMASIK, 2004).

Sendo formado nos plastídeos das plantas superiores, o amido é sintetizado nas folhas, onde serve como carboidrato de reserva temporário, acumulando-se nos cloroplastos durante o dia e servindo como fonte principal para a síntese de sacarose citosólica durante a noite. Essa sacarose é então transportada para os órgãos de armazenamento das plantas, como sementes, frutas, tubérculos e raízes (VANDEPUTTE e DELCOUR, 2004; TESTER et al., 2004).

O amido se apresenta na forma de grânulos birrefringentes de diferentes formatos e tamanhos, diferenciando-se nos diversos vegetais (BOBBIO e BOBBIO, 1995). É um importante componente de um grande número de produtos agrícolas como cereais (milho, trigo, arroz), onde o conteúdo de polissacarídeo vai de 30 a 80 %; leguminosas (feijão, ervilha) com 25 a 50 %; tuberosas (batata, mandioca) com 60 a 90 %, em base seca, bem como, de algumas frutas tropicais como bananas, que, quando verdes, podem conter acima de 70 % em base seca (NÚÑEZ-SANTIAGO et al., 2004).

O amido é composto principalmente por dois polímeros: amilose e amilopectina. A amilose é um polímero linear composto por unidades de glicose unidas por meio de ligações α -1,4 glicosídicas, enquanto que a amilopectina, é um polímero altamente ramificado e de elevada massa molecular, unidas em ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6. (JANE, 2006; SINGH et al., 2009).

As proporções em que essas estruturas aparecem diferem em relação às fontes botânicas, variedades de uma mesma espécie e, mesmo numa mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta. (TESTER et al., 2004).

Entre todos os polímeros de carboidratos, o amido está, atualmente, em destaque devido à sua utilidade em diversos produtos alimentares. As propriedades físico-químicas e características funcionais dos sistemas de amido, inclusive sua singularidade em vários produtos alimentares, variam de acordo com sua origem biológica. O interesse em novos produtos de elevados valores agregados na indústria resultou em muitos estudos relacionados ao amido de fontes não convencionais.

2.2.1 Estrutura granular

O amido encontra-se nas plantas sob a forma de grânulos. Em cereais como trigo, milho, cevada, centeio e sorgo, os grânulos podem ser classificados como simples, quando cada plastídeo contém um grânulo, ou compostos (arroz e aveia), quando muitos grânulos estão dentro de cada amiloplasto (LINDEBOOM et al., 2004; LAJOLO e MENEZES, 2006).

A forma (redondo, oval, poliédrico), o tamanho de partícula (2 a 100 μ m) e a distribuição de tamanho da partícula (unimodal, bimodal, trimodal) dos grânulos

são características da origem botânica (VANDEPUTTE e DELCOUR, 2004; TESTER et al., 2004).

Segundo Oates (1997) e Buleón et al. (1998), a superfície dos grânulos é plana e sem traços marcantes, exceto por algumas estrias e fissuras visíveis em alguns grânulos através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV - do inglês, SEM - scanning electron microscopy). De acordo com Denardin e Silva (2009), a mesma superfície é relativamente impermeável a moléculas grandes, como amilases, devido ao compacto empacotamento das cadeias de amilopectina.

French (1984) apud Eliasson (2004) afirmou que a porosidade dos grânulos de amido permite a penetração de água e pequenas moléculas solúveis, expandindo as regiões amorfas e facilitando a formação de gel. No entanto, a entrada de enzimas hidrolisantes e outras moléculas grandes para o interior dos grânulos é restrita e somente possível através de poros maiores ou canais, que seguem uma direção radial ao longo do grânulo.

Em solução aquosa, o grânulo de amido é birrefringente quando visto microscopicamente sob luz polarizada. A refração pelas suas regiões cristalinas resulta no modelo típico de "Cruz de Malta", o que caracteriza a orientação radial das macromoléculas. O centro ou hilum, encontrado no centro da cruz, é considerado o ponto original de crescimento do grânulo (ELIASSON, 2004; LAJOLO e MENEZES, 2006).

Segundo Oates (1997), uma característica estrutural que tem sido identificada por meio de hidrólise enzimática controlada são os chamados anéis de crescimento (Figura 1). Internamente, o material do grânulo está presente na forma de anéis concêntricos, conhecidos como anéis de crescimento. Essas estruturas são visíveis sob microscópio óptico em grânulos grandes (batata e trigo), mas são raramente vistas nos pequenos (cevada e arroz). A existência desses anéis sugere que o amido seja depositado num ritmo diário e que o material recém-sintetizado esteja depositado na superfície, fazendo com que os grânulos aumentem seu tamanho.

Os anéis de crescimento são organizados em regiões cristalinas e amorfas alternadas, motivo pelo qual é frequentemente descrito como um polímero semicristalino ou parcialmente cristalino. A fusão desses cristais e o rompimento dessa estrutura organizada formam a base para a gelatinização (ELIASSON, 1996).

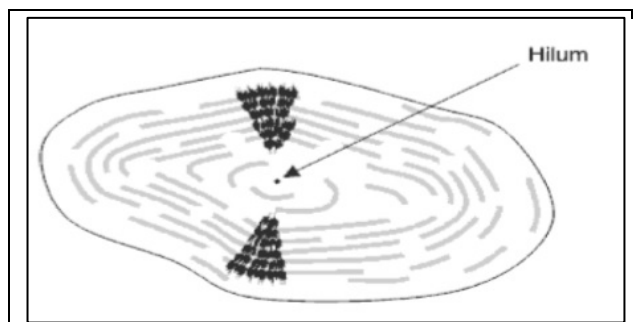


Figura 1: *Estrutura interna do grânulo de amido com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou hilum.*

Fonte: Adaptado de PARKER e RING (2001).

O tamanho, a forma e a composição de grânulos de amido estão entre os fatores de importância na determinação de usos potenciais e variam com a espécie, estágio de desenvolvimento da planta e forma de tuberização (SATIN, 2000).

2.2.2 Cristalinidade

A proporção entre amilose e amilopectina é variável com a espécie botânica, o que irá conferir características específicas à pasta de amido, assim como, à organização física das mesmas dentro da estrutura granular (BILIADERIS, 1991).

A região cristalina é constituída pelas duplas hélices formadas pelas cadeias laterais da amilopectina, sendo mais compacta, enquanto que a região amorfa, menos ordenada, contém os pontos de ramificação das cadeias laterais da amilopectina e amilose (ELIASSON, 1996; OATES, 1997; ELIASSON, 2004).

Segundo estudos realizados por Gallant et al. (1982), a constituição estrutural das regiões amorfas e cristalinas do grânulo de amido nativo pode ser estudada por difratometria de raios-X, sendo este o melhor método para investigação das regiões cristalinas. Por este método, o grânulo de amido pode ser dividido em dois grupos. No primeiro se encontram os amidos de cereais que apresentam um padrão de raios-X tipo A, consistindo de duplas hélices dispostas em arranjo monocíclico.

No segundo grupo estão presentes os amidos de tubérculos e raízes com padrões de raios-X tipo B, consistindo de uma estrutura aberta e altamente hidratada,

com duplas hélices dispostas em arranjo hexagonal (GALLANT, BOUCHET e BALDWIN, 1997; WHISTLER e BeMILLER, 1997; BLENNOW et al., 2000; PARKER e RING, 2001).

Amidos de leguminosas exibem um padrão tipo C, considerado, por alguns autores como uma mistura dos tipos A e B (PERONI, 2003).

Segundo LI et al. (2004), 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. Outra possível explicação para essa maior suscetibilidade a erosões químicas e enzimáticas nos grânulos do tipo A, quando comparados aos do tipo B, é a presença de camadas protetoras (chamados blocos cristalinos) incorporadas estruturalmente ao redor dos grânulos tipo B, que são menos fortemente empacotados (OATES, 1997).

A estrutura dos grânulos de amido sugere que os cristais B apresentam menor temperatura de gelatinização (77 °C) quando comparado aos cristais A (90 °C) (ELIASSON, 2004).

O nível de empacotamento das cadeias de amilopectina revela o padrão cristalino, caráter relevante quanto à capacidade de penetração de água no grânulo em função da temperatura.

2.2.3 Propriedades de pasta

A principal propriedade do amido é a gelatinização, capacidade de tornar-se viscoso em água com o aumento da temperatura. O conteúdo dos polissacarídeos formadores do amido afeta a arquitetura do grânulo de amido, as propriedades de pasta e os atributos texturais, podendo afetar sua aplicação em alimentos industrializados (THOMAS e ATWELL, 1999).

A gelatinização depende de vários fatores como a fonte do amido, concentração deste e temperatura durante o aquecimento (MORIKAWA e NISHINARI, 2000).

É definida como "o colapso da ordem molecular dentro do grânulo de amido manifestada em mudanças irreversíveis nas propriedades tais como: aumento de

tamanho granular, fusão de cristais, perda da birrefringência e solubilização do amido" (THOMAS e ATWELL, 1999).

Sabe-se que a gelatinização tem início no *hilum* e se expande rapidamente para a periferia, ocorrendo inicialmente nas regiões amorfas devido à fragilidade das ligações de hidrogênio nessas áreas, ao contrário do que ocorre nas regiões cristalinas (SINGH et al., 2003).

As mudanças que ocorrem nos grânulos de amido durante a gelatinização e retrogradação são os principais determinantes do comportamento de pasta desses amidos, as quais têm sido medidas principalmente pelas mudanças de viscosidade durante o aquecimento e resfriamento de dispersões de amido, usando equipamentos como viscoamilógrafo Brabender e o analisador rápido de viscosidade (RVA) (THOMAS; ATWELL, 1999).

No RVA, durante a fase inicial de aquecimento de uma suspensão aquosa de amido, um aumento na viscosidade é registrado quando os grânulos começam a inchar. Neste ponto polímeros com baixa massa molecular, particularmente moléculas de amilose, começam a ser lixiviadas dos grânulos. Um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento, quando existe a maioria dos grânulos totalmente inchados, e grânulos intactos e o alinhamento molecular de qualquer polímero solubilizado ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento (TSAI, LI e LII, 1997; WHISTLER e BeMILLER, 1997).

Durante a fase de temperatura constante os grânulos começam a se quebrar e a solubilização dos polímeros continua. Neste ponto ocorre uma quebra na viscosidade seguida de sua diminuição. Na fase de resfriamento, polímeros de amilose e amilopectina solubilizados começam a se reassociar, e outro aumento na viscosidade é registrado. Este segundo aumento da viscosidade é conhecido como tendência a retrogradação ou *setback* (PERONI, 2003).

As características de retrogradação da amilose e amilopectina são cineticamente diferentes. A amilose retrógrada mais rapidamente, tendo forte tendência a reassociar-se por meio da formação de pontes 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 um longo período de tempo, pois sua estrutura maior dificulta a

reassociação de moléculas (WU e SARKO, 1978; PARKER e RING, 2001; THARANATHAN, 2002).

A principal influência da retrogradação é observada na textura, na aceitabilidade e na digestibilidade dos alimentos que contém amido (ELIASSON, 2004).

Com isso, pode-se destacar a influência do processo de retrogradação no envelhecimento de pães e produtos de panificação, bem como, na perda de água (sinérese) de algumas sobremesas que utilizam o amido como espessante (DENARDIN e SILVA, 2009).

Quanto à digestibilidade, pode-se relacionar a retrogradação, principalmente da amilose, com menor disponibilidade de nutrientes às enzimas digestivas. Esse evento torna a digestão e a absorção, especialmente do amido, menor e/ou mais lenta, resultando em menor resposta glicêmica, situação desejável para diversos indivíduos, como aqueles com sobrepeso ou problemas de glicemia (BJÖRCK et al., 1994).

2.2.4 Propriedades térmicas

O comportamento térmico de amidos, incluindo temperaturas de gelatinização, retrogradação, temperatura de transição vítrea e cristalização, foi, nos últimos vinte anos, muito estudado utilizando-se o calorímetro diferencial de varredura (DSC) (YU e CHRISTIE, 2001), o qual mede a quebra de ligações (principalmente ligações de hidrogênio que estabilizam as duplas hélices) dentro dos grânulos de amido quando eles são aquecidos em água, e quantifica a temperatura e energia envolvida (entalpia) na transição de um grânulo semicristalino para um gel amorfo (PERONI, 2003).

O amido é convertido de uma forma semicristalina para uma amorfa. Cada amido tem suas temperaturas características de gelatinização, T_o , T_p e T_c (temperaturas inicial, de pico e de conclusão, respectivamente) e sua entalpia de gelatinização (ΔH) obtidas do DSC (TESTER, 1997). Depois de atingida a temperatura de conclusão (T_c), toda dupla hélice da amilopectina está dissociada, embora a expansão da estrutura granular possa ser conservada até que temperaturas mais altas e cisalhamento sejam aplicados. Acima de 95°C um gel amorfo é formado. O intervalo de temperatura $T_c - T_o$ representa o período de gelatinização (BLENNOW et al., 2000).

A amilose pode existir sob a forma de complexos com lipídios (LAM-lipids-amylose) ou livre (FAM- free amylose). A LAM é mais estável ao longo de toda a variação de temperatura de gelatinização do DSC, aumentando a T_p , enquanto a FAM amorfa diminuiria a T_p (MORRISON, 1995). Esses resultados sugerem que a FAM pode diminuir a temperatura de gelatinização de amidos normais (DENARDIN e SILVA, 2009).

A cristalinidade do amido pode ser estimada pela entalpia (ΔH) requerida para fundir os segmentos de duplas hélices. As temperaturas de gelatinização (inicial e de pico) podem ser usadas como medida da estabilidade ou perfeição das regiões cristalinas, e a largura do pico endotérmico como estimativa da heterogeneidade da estrutura cristalina (BLENNOW et al., 2000).

2.2.5 Poder de inchamento e solubilidade

Quando o amido é aquecido em água, a estrutura cristalina é rompida (devido às quebras das ligações de hidrogênio) e as moléculas de água começam a se unir por ligações de hidrogênio com os grupos hidroxilas da amilose e amilopectina. Isso causa um aumento do tamanho do grânulo, denominado inchamento, e solubilização das frações granulares (RICKARD, ASAOKA e BLANSHARD, 1991; HOOVER, 2001).

O poder de inchamento dos grânulos, que pode ser determinado pelo aquecimento da amostra de amido em excesso de água, é definido como o peso do sedimento inchado (g) por grama de amido. A solubilidade do amido também pode ser determinada na mesma suspensão; ela é expressa como a porcentagem (de peso) da amostra de amido que é dissolvida molecularmente após o aquecimento (LEACH, McCOWEN e SCHOCH, 1959).

O inchamento do grânulo depende da força e da natureza da rede micelar (forças associativas) dentro do grânulo de amido. Os vários fatores que determinam as forças associativas são: razão entre amilose e amilopectina, massa molecular das frações, distribuição da massa molecular, grau de ramificação, conformação, e comprimento das cadeias ramificadas mais externas de amilopectinas, que podem compartilhar em ligações associativas (LEACH, McCOWEN e SCHOCH, 1959; BALAGOPALAN et al., 1988; HOOVER, 2001).

2.3 Fósforo

Sabe-se que diferentes combinações formadas por fósforo podem ligar-se covalentemente ao amido vegetal, desempenhando papéis importantes nas propriedades funcionais dos amidos.

O amido é composto por diferentes combinações formadas por fósforo: fosfolipídeo, mais comumente encontrado em amidos de cereais; monoéster fosfato, presente em amidos de raízes e tubérculos; e fósforo inorgânico (TESTER et al., 2004). Este mineral desempenha papéis importantes nas propriedades funcionais dos amidos de acordo com seu grau de fosforilação.

O amido é fosforilado naturalmente em alguns dos seus resíduos de glicose nas posições C3 e C6. Foi demonstrado que a maior parte dos grupos fosfato estão ligados covalentemente à amilopectina (BLENNOW et al., 2000; BLENNOW, et al. 2002) e que os grupos fosfato estão presentes não só nas regiões amorfas, mas também, nas regiões cristalinas. A fosforilação do amido é necessária para desencadear o catabolismo do polissacarídeo pelas enzimas degradativas (FETTKE et.al., 2009).

Alguns autores citam que enzimas especializadas são responsáveis pela fosforilação do amido: *glucan water dikinase* (GWD) e *phosphoglucan water dikinase* (PWD) (RITTE et al., 2002; KOTTING et al. 2005). Como a amido sintetase (GBSS1), ambas as enzimas são ligadas ao grânulo de amido, mas representam apenas quantidades pequenas no que diz respeito ao conteúdo de proteína total (menor do que 5 % de proteínas) presente no grânulo.

A presença de fósforo em amidos desempenha um importante papel nas suas propriedades funcionais (LIM, KASEMSUWAN e JANE, 1994). Este mineral está ligado covalentemente em muitos amidos nativos, causando um grande impacto nas propriedades reológicas de amidos isolados, como pastas muito claras (transparentes), alta viscosidade e consistência. Assim, monoéster fosfato em amidos de raízes e tubérculos promove sua natureza hidrofílica por introduzir nas cadeias de amido os grupos fosfatos carregados negativamente, aumentando sua capacidade de ligação com a água e poder de inchamento, sendo uma vantagem para muitas aplicações industriais. Por sua vez, como maiores fontes de fósforo em amidos de cereais, os lisofosfolipídeos são complexados pelas hélices de amiloses, reduzindo a capacidade de ligação do amido com a água e tornando suas

pastas mais opacas e menos viscosas (BLENNOW et al., 2000; FRANCO et al., 2001; HOOVER, 2001).

Noda et al. (2007), analisando o teor de fósforo em diferentes cultivares de batata e os efeitos sobre as propriedades do amido, observaram teores de fósforo variando de 308 a 1244 ppm. O aumento da quantidade de fósforo resultou em aumentos significativos do poder de inchamento, pico de viscosidade e quebra da viscosidade, assim como aumento da temperatura inicial e de pico da gelatinização. O teor de amilose, tamanho de grânulo e entalpia de gelatinização não apresentaram influência pelos teores de fósforo.

A definição do amido como um carboidrato nutricionalmente disponível é baseada na suposição de que suas macromoléculas formadoras, amilose e amilopectina, sejam facilmente hidrolisadas no trato intestinal, produzindo carboidratos de baixa massa molecular. Entretanto, a origem e as características do amido, bem como as condições de processamento a que são submetidos os produtos amiláceos, são de grande importância na alteração das taxas de hidrólise *in vivo* e *in vitro* (COLONNA et al., 1992).

Absar et al. (2009) relatam que elevados conteúdos de fósforo podem estar associados à baixa digestibilidade, pois a sua organização estrutural no grânulo impede a ação enzimática sob o amido fosforilado. Esse evento retarda a absorção dos carboidratos e resulta em menor resposta glicêmica, situação desejável para indivíduos com sobrepeso ou glicemia acima do limite máximo estabelecido.

2.4 Amido de banana verde

Amidos de diferentes origens botânicas possuem diferentes propriedades funcionais, o que os torna úteis para aplicações em alimentos, produtos farmacêuticos, papel, plástico e outros setores industriais (NWOKOCHA et al., 2009).

O amido de banana apresenta potencial para se tornar mercadoria porque possui propriedades específicas e é obtido a baixo custo. A polpa de banana verde contém de 70 a 80 % de amido em matéria seca, porcentagem semelhante à encontrada no endosperma de grão de milho e na polpa de batata (ZHANG et al., 2005).

As propriedades funcionais e físico-químicas do amido variam, entre os genótipos de banana, de acordo com a região climática, condições e período de plantio. Dentre as propriedades físicas tem-se a térmica, que diz respeito às temperaturas observadas no processo de gelatinização. Sajilata et al. (2006), Eerlingen e Delcour (1995), Gallant et al. (1997) e Jacobs e Delcour (1998) afirmam que a diferença de temperatura de gelatinização entre variedades de bananas pode ser atribuída à diferença no teor de amilose, bem como, a diferença de tamanho, forma e distribuição de grânulos de amido. Shama et al. (2003) relataram que a temperatura de gelatinização do amido está relacionada com as características estruturais de cristalinidade.

Segundo Leonel et al. (2011), o amido de banana apresenta características de interesse para a indústria alimentícia devido aos consideráveis teores de amilose (26,68 a 33,95 %), elevados picos de viscosidade e viscosidade final, tendência à retrogradação e faixa de gelatinização de 60 a 73°C. Os mesmos autores observaram diferenças significativas entre os genótipos para as propriedades de pasta de seus amidos. O amido da bananeira 'Caipira' apresentou o maior pico de viscosidade. O menor pico foi observado no amido da cultivar Nam. Com relação à quebra de viscosidade, que indica a resistência do amido à temperatura e agitação, o genótipo 'Nanicão IAC 2001' apresentou amido com maior resistência, ou seja, menor quebra de viscosidade.

O polissacarídeo em questão presente na banana parece ser altamente resistente à hidrólise enzimática (ZHANG et al., 2005). Englyst e Cummings (1986) descobriram que até 78 % de α -glucanas oriundas destas frutas escaparam da digestão ocorrida no íleo, parte distal do intestino delgado. Frações de amido de farinha de banana foram analisadas e apresentaram três quantidades e especificações diferentes: 3 % rápida digestão, 15 % lenta digestão e 75 % de amido resistente (AR) (ENGLYST et al., 1992). Ramos et al. (2009) relataram variação entre 40,25 % e 10,01 % de amido resistente em farinhas de diversas variedades de bananas verdes.

Observações microscópicas revelaram que o grânulo de amido em farinha de banana apresenta superfícies lisas. Estas superfícies, lisas e densas, podem explicar, parcialmente, sua capacidade resistente. Analisando as imagens microscópicas, percebe-se que o grânulo do amido apresenta uma camada espessa externa que impede a ação enzimática e reduz a taxa de hidrólise (GALLANT et al., 1992; FAISANT et al., 1995).

O amido resistente atua no organismo humano como fibra dietética, pois não é hidrolisado pelas enzimas do trato gastrointestinal e é fermentado no intestino grosso. Segundo Pereira (2007), certos processos de alimentos, como esterilização, "fornecimento" ou secagem em altas temperaturas, aumentam o nível de amido resistente. Entretanto, em outros procedimentos como cozimento, os amidos perdem sua resistência devido ao processo de gelatinização.

O alto teor de amido resistente em bananas verdes desperta atenção à pesquisa em prol da busca por fontes alternativas de amido com atributos peculiares em relação aos amidos comumente utilizados na indústria. Essa característica deve ser considerada através do consumo do amido de banana verde em sua forma nativa, visto que altas temperaturas causam a ruptura da estrutura granular e diminuição do teor de AR.

Logo, o amido de banana apresenta potencial devido às propriedades digestivas e funcionais, para aplicação em alimentos processados e como produto viável na área comercial. As bananas usualmente descartadas no mercado tradicional poderiam ser utilizadas para a produção de amido, proporcionando competitividade no cenário mundial de amido, melhorando a comercialização de bananas e eliminando o problema ambiental de bananas inutilizadas (ZHANG et al., 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Cultivares de bananeiras

Foram avaliados cinco genótipos de bananas, são eles: 'Nanicão', 'Grand Naine', 'Maçã', 'Prata-Anã' e 'FHIA 18'.

Os genótipos 'Nanicão-IAC-2001' e 'Grand Naine' pertencem ao mesmo grupo genômico (AAA) e apresentam características semelhantes quanto ao formato. O primeiro (Figura 2) é mais resistente a pragas (MOREIRA, 2003), fator condicional para o seu desenvolvimento, apresentando maior espessura. Possui sabor menos doce e teor três vezes maior de vitamina C em relação ao genótipo 'Nanica'. O segundo (Figura 3) apresenta frutos mais delgados, longos e encurvados, com sabor doce semelhante ao da banana 'Nanica' (CORDEIRO et al., 2003).



Figura 2: *Cacho de bananeira 'Nanicao-IAC-2001'.*



Figura 3: *Cacho de bananeira 'Grand Naine'.*

Os genótipos 'Maça' e 'Prata-Anã' pertencem ao grupo genômico AAB e também apresentam similaridades quanto ao formato roliço e curto. O genótipo 'Maça' é

altamente suscetível ao mal-do-Panamá, apresenta frutos com casca fina e polpa suave, que lembra a fruta da macieira (EMBRAPA, 2009) (Figuras 4 e 5).



Figura 4: *Cacho de bananeira 'Maçã'.*



Figura 5: *Cacho de bananeira 'Prata-Anã'.*

O genótipo 'FHIA 18', tetraplóide AAAB, foi desenvolvido pela Fundação Hondurenha de Investigação Agrícola, na América Central. A planta apresenta porte baixo/médio, ciclo vegetativo de 353 dias e seus frutos são de sabor doce, sendo semelhantes ao tipo 'Prata'. Os cachos atingem 40 kg, com mais de 10 pencas e produtividade superior a 20 t.ha⁻¹ (FANCELLI, 2003) (Figura 6).



Figura 6: *Cacho de bananeira 'FHIA 18'.*

3.2 Condições de cultivo das bananeiras

O cultivo das bananeiras foi conduzido na Fazenda Experimental São Manuel, localizada no município de São Manuel, SP, pertencente à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Botucatu, encontrada nas coordenadas geográficas: 22° 46' S de latitude, 48° 34' W de longitude e 740 m de altitude.

O tipo climático predominante em São Manuel (SP), segundo a classificação de Köppen, é o temperado mesotérmico (Cfa), com chuvas no verão e seca no inverno, onde a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C e a precipitação média anual de 1377 mm (CUNHA e MARTINS, 2009). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, segundo os critérios da Embrapa (2006).

Antecipadamente à implantação do pomar, foi realizada a análise de solo e a aplicação de calcário a fim de elevar a saturação por bases para 70 % (Tabela 1). As mudas das cultivares de bananeiras utilizadas no experimento foram produzidas pelo Laboratório de Biotecnologia do Núcleo de Produção de Mudas de Tietê/SP do DSMM/CATI, por meio do processo de micropropagação. Quando foram adquiridas, as mudas apresentavam altura da parte aérea entre 15 e 20 cm e torrão de 6 cm. O plantio das mudas foi realizado no dia 8 de novembro de 2012, com o espaçamento de 4 m entre linhas e 2,5 m entre plantas, em uma área equivalente a 10 m²/planta. Após um mês do plantio das

mudas foi instalado o sistema de irrigação tipo gotejo.

Tabela 1: Análise de solo anterior ao plantio das bananeiras.

pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	
5,5	12	16	15	1	13	5	19	34	57	1
Boro		Cobre		Ferro		Manganês		Zinco		
-----mg dm ⁻³ -----										
0,30		0,86		20		13		1,40		

O experimento foi conduzido durante o ciclo agrícola correspondente aos anos de 2013 e 2014, sendo utilizadas para as análises as plantas-mãe.

Ao decorrer de todo o período de condução do experimento foram realizados os seguintes tratamentos culturais: irrigação suplementar, controle de plantas daninhas, desbaste de perfilhas, retirada de folhas secas, adubações, controle de pragas e doenças, eliminação do coração, retirada dos pistilos e corte do pseudocaule após a colheita, conforme recomendações de Alves et al. (2009).

Os tratamentos foram constituídos por cinco genótipos de bananeiras ('Nanicão', 'Grand Naine', 'Maçã', 'Prata-Anã' e 'FHIA 18') e parcelas compostas por 10 plantas para cada genótipo.

A adubação complementar correspondeu a 600 g de sulfato de amônia e 550 g de cloreto de potássio, por planta, parceladas ao longo do ciclo, sendo 20 % aos 35 dias após o plantio, 50 % aos 80 dias e 30 % aos 130 dias após o plantio (RAIJ et al., 1997). Os fertilizantes foram aplicados em círculos de 100 cm de diâmetro ao redor da planta. Por ocasião do desbaste, foi realizada a adubação com 10 g de ácido bórico, no orifício aberto no rizoma da planta mãe.

3.3 Colheita e análise dos frutos das bananeiras

Foram colhidos dois cachos centrais de cada genótipo por parcela. A colheita dos cachos ocorreu durante o estágio 1 de maturação, de acordo com Von Loesecke

(FAEP, 2013), com a casca totalmente verde, descartando-se aqueles fora do padrão, em momentos diferentes. Os frutos foram higienizados com água potável, identificados e encaminhados ao laboratório de processos do Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT) /UNESP.

As bananas pertencentes às quartas e quintas pencas foram descascadas manualmente com uso de facas, cortadas em rodela, dispostas em bandejas e introduzidas em câmara com circulação de ar a 55 °C por 12 horas. Em seguida, as amostras foram moídas em moinha de facas para obtenção de material farináceo. Estas foram analisadas quanto ao teor de umidade (frutos frescos), fósforo e amido. Outras amostras de bananas foram utilizadas para execução do processo de extração dos amidos.

3.3.1 Análises da polpa dos frutos verdes

3.3.1.1 Teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade as amostras foram colocadas em estufa a 105 °C por oito horas até a obtenção de massa constante. Após esse período foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador e, posteriormente, pesadas, obedecendo ao método AOAC (2007). Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.3.1.2 Teor de fósforo

O mineral foi determinado conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1974). Foram pesadas 250 mg de cada amostra em tubos de digestão e adicionado três mililitros da solução nitro perclórica. Em seguida os tubos foram levados ao bloco digestor onde permaneceram até atingir a temperatura de 220 °C. O ponto ideal para as amostras estarem prontas pôde ser evidenciado através da cor límpida do material. O extrato foi transferido para balão volumétrico de 50 ml e o volume ajustado com água deionizada.

Foi retirado um mililitro do extrato e foram adicionados quatro mililitros de água destilada, dois mililitros da mistura Molibdato de amônio mais Metavanadato de amônio e deixado em repouso por cinco minutos. A absorbância foi medida

em espectrofotômetro UV-VIS (FEMTO) a 420 nm. Os resultados de fósforo foram expressos em porcentagem.

3.3.1.3 Teor de amido

Foi determinado pelo método de hidrólise enzimática segundo metodologia ISO-6647 (1987). Foram transferidos 200 mg de amostra para erlenmeyers de 125 mililitros adicionaram-se em seguida 42 mililitros de água destilada, 100 µl de solução de alfa-amilase *Termamyl* 120 litros (Novozymes) e um mililitro de solução tampão Acetato de Sódio 2 mol.l⁻¹ em pH 4,8. As amostras foram colocadas em banho com agitação à temperatura de 90 °C por duas horas. Após, as amostras foram resfriadas a temperatura ambiente e adicionados 100 µl de amiloglucosidase A-7255 (Sigma) voltando ao banho maria por mais duas horas sob agitação constante a uma temperatura de 55 °C.

Posteriormente amostras foram resfriadas e transferidas para balão volumétrico de 250 mililitros. Retirou-se uma alíquota de cinco mililitros, que foi transferida para balão volumétrico de 100 mililitros, onde o pH foi corrigido para 7 - 9. Após a hidrólise do amido o teor de açúcar redutor foi determinado pelo método de Somogy (1945), adaptado por Nelson (1994), sendo feita a conversão para amido pela multiplicação da porcentagem de açúcar obtida pelo fator 0,9. Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.4 Extração dos amidos das bananas verdes

Os frutos foram descascados, cortados ao meio e triturados em solução gelada (4 °C) de água e ácido ascórbico (1 %) na proporção de 0,25 kg.l⁻¹ em liquidificador industrial de aço inox com capacidade de dez litros por aproximadamente dois minutos. Logo após, o material foi centrifugado em centrífuga piloto (GL) da Elétrica Bio Solar Ltda com malha de 60 Tyler (0,25 mm). O "leite de amido" foi reservado e a polpa retida na peneira foi descartada. Em seguida, o "leite de amido" foi peneirado a 170 Tyler (0,09 mm). Para purificação o material foi centrifugado por cinco minutos a 1.300 rpm. O sobrenadante foi descartado, a camada superior do material decantado foi eliminada com jatos de água através de pisseta e o amido foi seco em estufa com circulação de ar a 35 °C por oito a doze horas. O processo de extração do amido é visualizado pelo fluxograma a seguir.

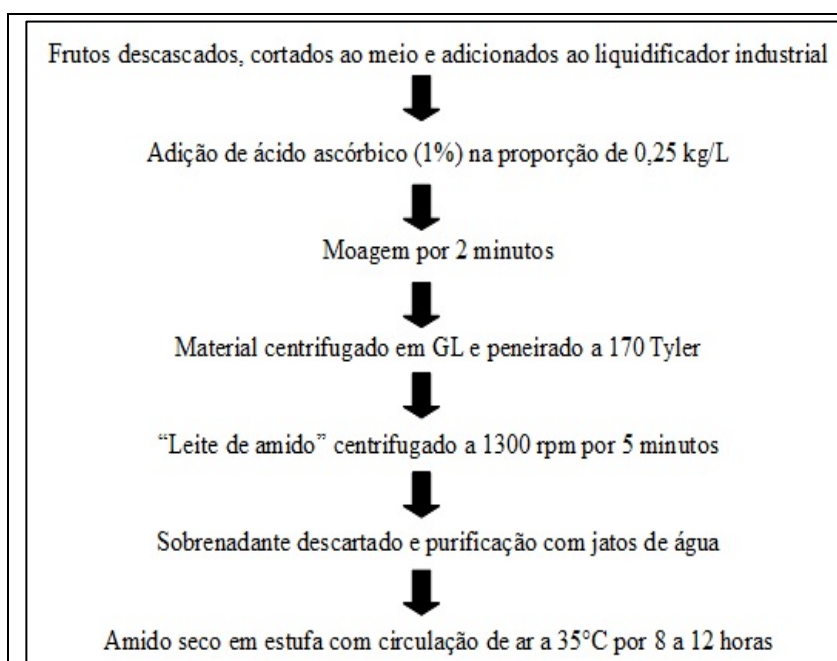


Figura 7. Fluxograma do processo de extração dos amidos de banana verde.

3.5 Rendimento de extração dos amidos

O rendimento de extração dos amidos das diversas bananas verdes foi calculado através da Equação 1, expresso em porcentagem:

$$R = \frac{\text{Peso amido (g)} \times 100}{\text{Peso bananas (g)}} \quad (1)$$

3.6 Análise dos amidos

Os amidos extraídos dos diferentes genótipos foram analisados quanto a forma e distribuição de tamanho de grânulos, cristalinidade, composição centesimal, teor de fósforo, teor de amilose aparente, amido resistente, propriedades de pasta, propriedades térmicas, poder de inchamento e solubilidade.

3.6.1 Morfologia dos grânulos

A morfologia dos amidos foi observada por microscópio eletrônico de varredura Quanta 200, marca FEI Company. As amostras foram colocadas sobre suporte (*stubs*) com fita adesiva dupla face, onde os amidos foram fixados e cobertos com camada de

ouro de 20 nm em metalizador "Balzers". As imagens foram visualizadas, selecionadas e salvas através de software acoplado a máquina.

3.6.2 Tamanho dos grânulos dos amidos

A distribuição de tamanho de grânulos foi determinada através de equipamento Mastersizer 2000 (Malvern - versão 5,60), cuja caracterização de partículas é realizada por difração a laser (0,02 μm a 2000 μm). As amostras foram pré-dispersas em água para facilitar a homogeneidade da mistura e introduzidas ao aparelho. A análise foi realizada em duplicata com três leituras cada, obtendo-se seis resultados. O diâmetro médio dos grânulos foi analisado pelo software acoplado ao equipamento.

3.6.3 Difração por raios-X (cristalinidade)

Amostras dos amidos foram mantidas em dessecador contendo solução de BaCl_2 saturada (25°C, $a_w = 0,9$) durante dez dias para equilíbrio da umidade.

- As amostras foram compactadas em suporte de alumínio e analisadas, a temperatura ambiente, utilizando-se um difractômetro de raios-X da marca Rigaku Rotaflex (modelo RU 200 B / Tóquio, Japão), operando com filtro monocromático, radiação $K\alpha$ de cobre, potência de 0,8 kW, corrente de 100 mA e voltagem de 50 kV e ânodo rotatório.
- O comprimento de onda utilizado foi de 1,542 Å e velocidade de varredura de 1°.min⁻¹. As análises foram feitas entre 3° e 40° em 2 θ .
- A intensidade foi expressa em contagem de picos por segundo (cps).
- A cristalinidade relativa foi determinada segundo método de Nara e Komiya (1983) baseado na relação entre a área dos picos e a área total, utilizando o software Origin versão 7.5 (Microcal Inc., EUA).
- Os gráficos foram suavizados utilizando o método 'Adjacent Averaging'.
- As análises foram realizadas em duplicata.

3.6.4 Composição centesimal

Os amidos foram analisados quanto aos teores de umidade, cinzas, fibra bruta, matéria graxa, proteína, açúcares totais, pH, acidez titulável (AOAC, 2007). O teor de amido foi determinado por método enzimático conforme descrito no item 3.3.1.3.

3.6.5 Teor de fósforo

O teor de fósforo nos amidos foi determinado de acordo com a metodologia descrita no item 3.3.1.2.

3.6.6 Amilose aparente

O teor de amilose aparente foi determinado segundo metodologia ISO-6647 (1987). Foram pesadas 150 mg de amostras previamente desengorduradas em erlenmeyers de 50 mL. Posteriormente foram adicionados um mililitro de ETOH 95 % e nove mililitros NaOH 1 mol.l^{-1} agitando suavemente. Os erlenmeyers foram levados ao banho-maria em ebulição por 10 minutos e resfriado à temperatura ambiente.

Posteriormente o material foi transferido para balão volumétrico de 100 mL e o volume completado, alíquotas de 18 mL dessa solução foram transferidas para tubos de ensaio de 50 mililitros que continham dois mililitros de NaOH a $0,09 \text{ mol.l}^{-1}$. Foram transferidos cinco mililitros para balão de 100 mililitros e adicionado um mililitro de ácido acético 1 mol.l^{-1} e dois mililitros de solução de iodo a $0,0157 \text{ N}$ e o volume completado com água deionizada. Os balões foram deixados em repouso durante vinte minutos ao abrigo da luz e as absorbâncias medidas em espectrofotômetro a 620 nm. As absorbâncias foram valoradas em curva padrão e os resultados foram apresentados em porcentagem de amilose. A amilopectina foi calculada por diferença.

3.6.7 Amido resistente

O método utilizado para determinação de amido resistente é o proposto por Goñi et al. (1996). Foram pesados 100 mg de amostras em erlenmeyers de 125 mL e adicionados dez mililitros de tampão KCl-HCl (pH 1,5) e 0,2 mililitro de solução de pepsina 1:10000 (Dinâmica). As misturas foram aquecidas a 40 °C por 60 minutos com agitação e, logo após, resfriadas a temperatura ambiente. Em seguida, foram adicionados nove mililitros de tampão trismaleato 0,1M (pH 6,9) e um mililitro de alfa-amilase *Termamyl* 120 litros (Novozymes) a cada amostra. Elas permaneceram em banho de 37 °C por dezesseis horas sob agitação. Após este período, as amostras foram filtradas em papel. O líquido foi descartado. O material retido no filtro foi adicionado em erlenmeyers limpos com adição de 3 mL de água destilada mais três mililitros de KOH dois mol.l⁻¹. Mantiveram-se em repouso por 30 minutos, agitando ocasionalmente. Após este período, foram adicionados 4,5 mililitros de HCl 1 mol.l⁻¹, 3 mL de tampão Acetato de Sódio (pH 4,75) e 80 uL de amiloglucosidade A-7255 (Sigma), levando ao banho de 60 °C por 45 minutos, sob agitação. Filtrou-se o material novamente e 20 microlitros de cada amostra foram adicionados em tubos de ensaio. Nestes, foram colocados dois mililitros de reativo de trabalho (glicose oxidase) e mantidos em banho de 37 °C por 10 minutos. As amostras foram resfriadas a temperatura ambiente e lidas as absorbâncias em espectrofotômetro a 505 nm. Esta análise consiste em um processo enzimático e calcula-se o conteúdo final de amido resistente pela concentração de glicose liberada.

3.6.8 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta dos amidos foram determinadas utilizando *Rapid Visco Analyser* (RVA) de acordo com o procedimento descrito por Franco et al. (2002), com modificações. As amostras foram pesadas segundo as respectivas umidades, acrescentados aproximadamente 25 mililitros de água para atingir concentração de 10 % de amido e avaliadas pelo programa de tempo e temperatura *2Std2* do software *Thermocline for Windows, versão 2.2*. Foram observadas a temperatura de pasta, aviscosidade máxima (pico), a quebra de viscosidade ou *breakdown* (diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade de pasta mantida a 95 °C por cinco minutos), a viscosidade final e a tendência à retrogradação

ou *setback* (diferença entre a viscosidade final e a viscosidade de pasta a 95 °C por cinco minutos).

Os valores de umidade foram utilizados na correção da quantidade de amido a ser pesado e na quantidade de água adicionada (25 mililitros antes da correção), seguindo a tabela de correção fornecida no manual de operação (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998), tomando como base o teor de umidade de 14 %. A análise foi realizada em duplicata.

3.6.9 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas de gelatinização e retrogradação dos amidos foram determinadas utilizando calorímetro diferencial de varredura (DSC) Pyris 1 - *Perkin Elmer*, EUA, de acordo com método descrito por Franco et al. (2002), com modificações. Amostras de 2 mg (b.s.) dos amidos foram pesadas em pequenos recipientes de alumínio, próprios para o equipamento, adicionados seis microlitros de água deionizada e, posteriormente, seladas. Os recipientes foram mantidos por doze horas (*overnight*) em temperatura ambiente e aquecidos a uma razão de 10°C/minuto de 25 a 100 °C. Um recipiente de alumínio vazio foi utilizado como referência.

Cada recipiente de alumínio contendo a amostra gelatinizada foi armazenado durante 14 dias a uma temperatura de 4°C. As amostras foram então analisadas quanto às propriedades térmicas de retrogradação usando o mesmo aparelho e parâmetros. As temperaturas inicial, de pico e final e a variação de entalpia dos amidos foram determinadas através do software Pyris 1 da Perkin Elmer, EUA. . A porcentagem de retrogradação dos amidos foi calculada através da relação: $(\Delta H \text{ retrogradação} / \Delta H \text{ gelatinização}) \times 100$. A análise foi realizada em duplicata.

3.6.10 Poder de inchamento e solubilidade

O poder de inchamento (PI) e solubilidade (S) dos amidos foram determinados de acordo com o método de Schoch (1964), com modificações. Amostras de 0,2 g (base úmida) dos amidos foram suspensas em um volume total de 20 mililitros de água,

considerando a água presente na amostra. Essas suspensões, em tubos de centrífuga, foram aquecidas em banho de água a uma temperatura constante de 95 °C sob leve agitação por 30 minutos. O gel formado foi centrifugado a 3.000 rpm por 15 minutos. Uma alíquota de cinco mililitros do sobrenadante foi seca em estufa com circulação de ar a 105 °C até massa constante. O gel precipitado foi pesado. O PI e a S foram calculados de acordo com as equações 2 e 3 e os resultados expressos em g água/g amostra seca para PI e porcentagem para S.

$$Sólidos\ solúveis = \frac{Massa\ dos\ sobrenadantes \times 400}{Massa\ da\ amostra(b.s.)} \quad (2)$$

$$PI = \frac{Massa\ do\ gel \times 100}{Massa\ da\ amostra(b.s.) \times (100 - sólidos\ solúveis)} \quad (3)$$

3.7 Análise estatística dos dados

A comparação entre os amidos dos genótipos de bananas verdes foi obtida pela comparação das médias utilizando teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos frutos

Os resultados obtidos para as análises dos teores de umidade, amido e fósforo nos frutos dos diferentes genótipos de bananeiras estão apresentados na Tabela 2. A análise estatística dos dados mostrou terem ocorrido diferenças entre os genótipos, exceto quanto ao teor de fósforo nos frutos.

Pode-se observar que as umidades das bananas apresentaram variação de 58,05 % a 65,65 %, sendo que o genótipo 'Prata-Anã' obteve maior teor de matéria seca que os genótipos 'Nanicão' e 'FHIA 18', não diferindo de 'Grand Naine' e 'Maçã'. Almeida (2013) relatou umidade de 69,59 % para banana verde 'Prata'. Leonel et al. (2011) estudando diferentes genótipos de bananeiras encontraram valores de umidade que variam de 59,7 % a 77,2 %.

No mesmo estudo, Leonel et al. (2011) relataram variação de 14,71 % a 27,2 % para teor de amido nos frutos verdes. No presente trabalho foi possível observar que o genótipo 'Nanicão' mostrou menor teor de amido, 25,38 %, não diferindo do genótipo 'FHIA 18' (30,70 %). Almeida (2013) encontrou teor de amido de 37,13 % para banana 'Prata'.

A produtividade média nacional de banana 'Maçã' é de 14,35 toneladas por hectare. De acordo com o agrônomo e gerente especial da Seagro (Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado de Goiás), Rômulo Rodrigues, a banana 'Maçã' atinge até 15 toneladas por hectare-ano (AMARAL, 2014). Este valor somado ao montante de produção dos demais cultivares no país aquece o mercado frutífero e estimula o uso potencial do fruto como fonte de matéria amilácea, visto que bananas verdes possuem teores consideráveis de amido, incrementando a indústria alimentícia.

O Fósforo (P) é um nutriente essencial às plantas e tem atuação na respiração, produção e processos de transformação de energia pela planta, bem como, na divisão celular: compondo algumas substâncias de reserva, como os albuminóides e o amido; melhorando o florescimento, frutificação e contribuindo para o desenvolvimento radicular; agindo na colheita como fator de qualidade e quantidade e incrementando a precocidade da produção (RAIJ, 1991).

A mobilidade do fósforo nos tecidos das plantas o relaciona aos processos metabólicos e o concentra nas áreas mais ativas de crescimento. Como resultado, a maior parte do P absorvida pela planta é transferida e armazenada no fruto ou no grão (STAUFFER e SULEWSKI, 2004).

Os teores de fósforo nos frutos verdes de banana correspondem a 0,03 %, não apresentando diferença significativa para os genótipos.

Tabela 2: Caracterização dos frutos verdes dos genótipos de bananeiras (b.u).

Genótipos	Umidade (%)	Mat. seca (%)	Fósforo (%)	Amido (%)
Nanicão	65,65a ± 0,64	34,35b ± 0,64	0,03a ± 0,68	25,38c ± 1,36
Grand Naine	63,95ab ± 1,76	36,05ab ± 1,76	0,03a ± 4,67	36,25a ± 1,47
Maçã	61,69ab ± 4,74	38,31ab ± 4,73	0,03a ± 5,40	38,14a ± 3,84
Prata-Anã	58,05b ± 1,23	41,95a ± 1,23	0,03a ± 1,62	35,32ab ± 1,14
FHIA 18	65,58a ± 1,16	34,42b ± 1,16	0,03a ± 1,32	30,79bc ± 1,78

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05)

4.2 Rendimento de extração dos amidos

O rendimento de extração dos amidos dos frutos verdes dos genótipos de bananeiras pode ser observado da Figura 8. O genótipo 'Prata-Anã' obteve maior rendimento, 11,17 %. Já o genótipo 'Grand Naine' apresentou menor índice de extração, 2,78 %. Freitas e Tavares (2005) tiveram rendimento de 5 % para extração de amido de banana verde 'Nanicão' e 8 % para variedade 'Terra'. Já Almeida (2013) relata rendimento de 23 % para extração de amido de banana 'Prata'. As diferenças relatadas na literatura estão relacionadas ao conteúdo de amido dos frutos.

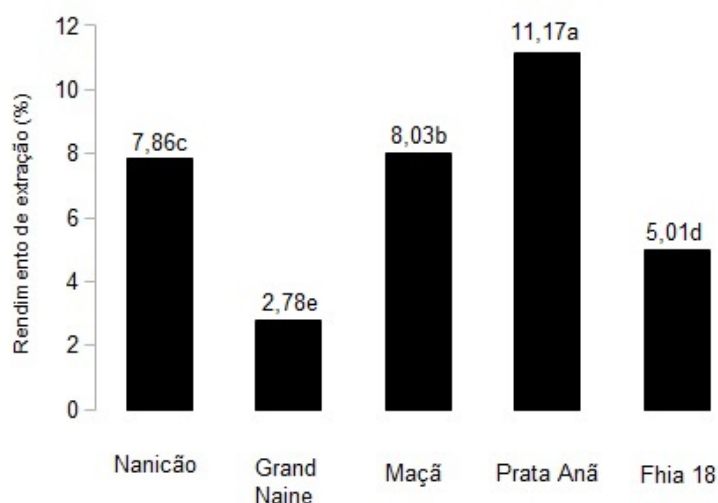


Figura 8: Rendimento de extração dos amidos de banana verde extraídos dos diferentes genótipos.

4.3 Caracterização dos amidos

4.3.1 Morfologia dos grânulos de amido

Os resultados obtidos na observação microscópica evidenciaram que os grânulos de amido dos genótipos 'Nanicão' e 'Grand Naine' mostram dois formatos principais: alongados e esféricos. O amido do genótipo 'Maçã' apresentou formas semelhantes, porém os alongados são mais estreitos e compridos, similares a bastonetes. Os amidos dos genótipos 'Prata-Anã' e 'FHIA 18' são ovalados e alongados (Figuras 9 a 13).

Os amidos dos cinco genótipos de bananas possuem grânulos de amido de diversos tamanhos, com superfície lisa e densa, o que segundo Gallant et al., (1992), Faisant et al. (1995) e Tester et al. (2004) pode estar relacionado a resistência a ação enzimática desse amido. A superfície dos grânulos de amido de bananas verdes é lisa, enquanto a de amidos de bananas maduras possui estrias paralelas (KAYISU et al., 1981).

No geral, grânulos de amidos de diversas variedades de bananas possuem formato irregular, mas de forma oval e alongada facilmente visualizada (EGGLESTON, SWENNEN e AKONI, 1992; JANE, et al. 1994; LII et al. 1982; LING et al. 1982; KAYISU et al. 1981; ZHANG e WHISTLER, 2002).

A banana 'Cavendish' é composta por amido de formato e tamanhos irregulares (LING et al., 1982). O genótipo 'Valery' possui grânulos tanto alongados, como esféricos. Na pesquisa de Utrilla-Coello et al. (2014), os grânulos da variedade 'Enano' mostrou-se mais alongada, e o grânulo da variedade 'Macho' mais circular.

O estudo de Cordenunsi, Lajolo e Menezes (2006) com análise de grânulos de amido de banana verde analisados por microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura mostraram que existe uma grande variedade de formatos e tamanhos de grânulos para o amido de banana verde. Os grânulos grandes são alongados e os pequenos, arredondados. Os grânulos menores provavelmente são os que estão em processo de formação, já que os frutos são colhidos no estágio verde, antes do início da degradação do amido, que ocorre durante o amadurecimento do fruto. O formato dos grânulos é muito semelhante aos de batata, porém, no geral são maiores (IZIDORO, 2011).

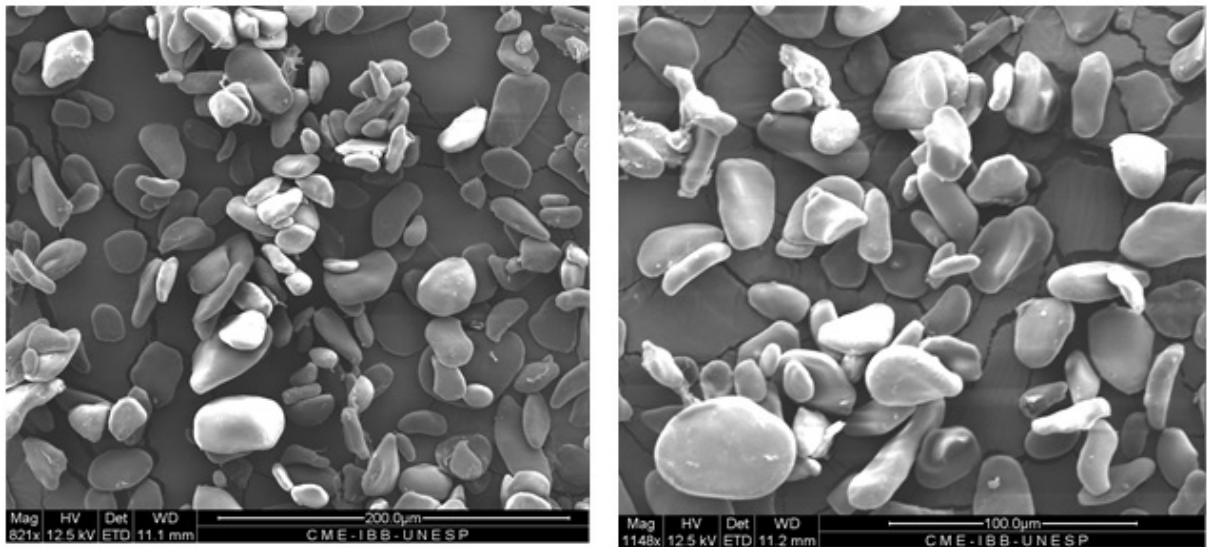


Figura 9: MEV dos amidos do genótipo 'Nanicão'

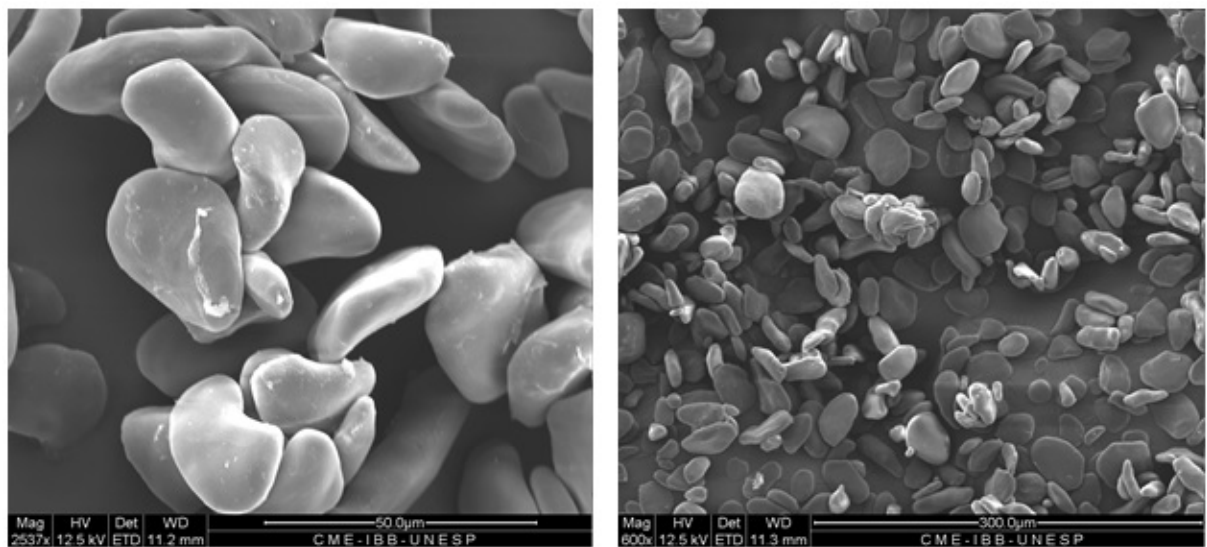


Figura 10: MEV dos amidos do genótipo 'Grand Naine'

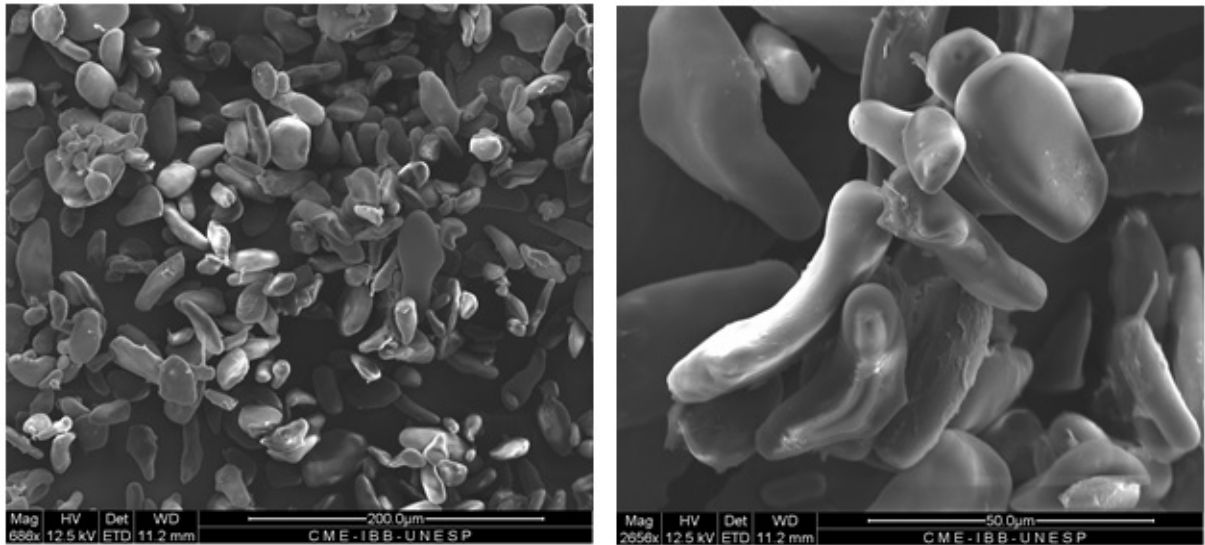


Figura 11: MEV dos amidos do genótipo 'Maçã'

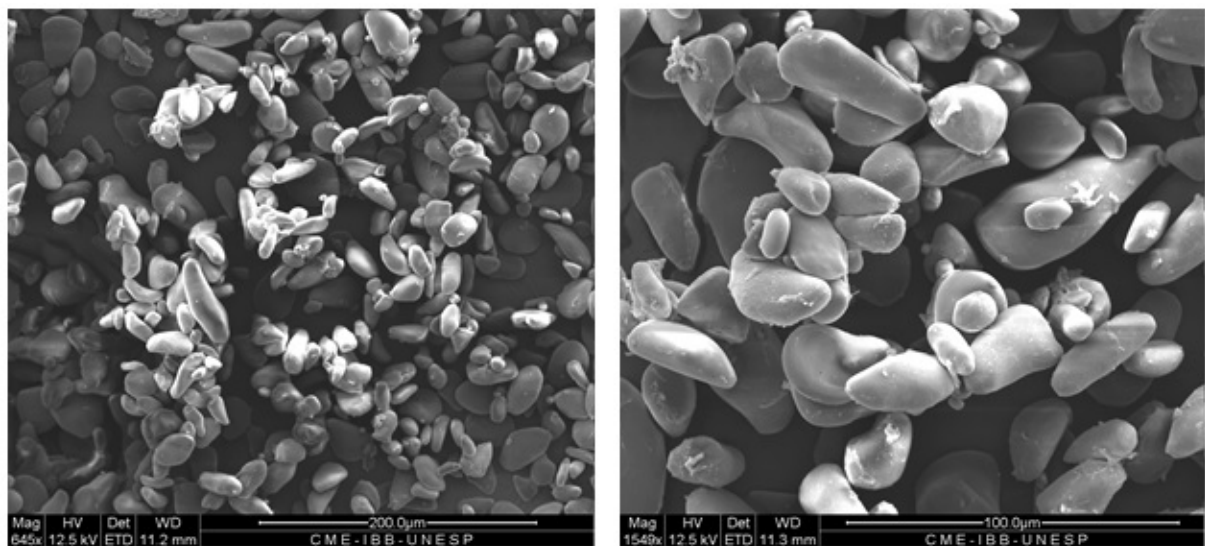


Figura 12: MEV dos amidos do genótipo 'Prata-Anã'

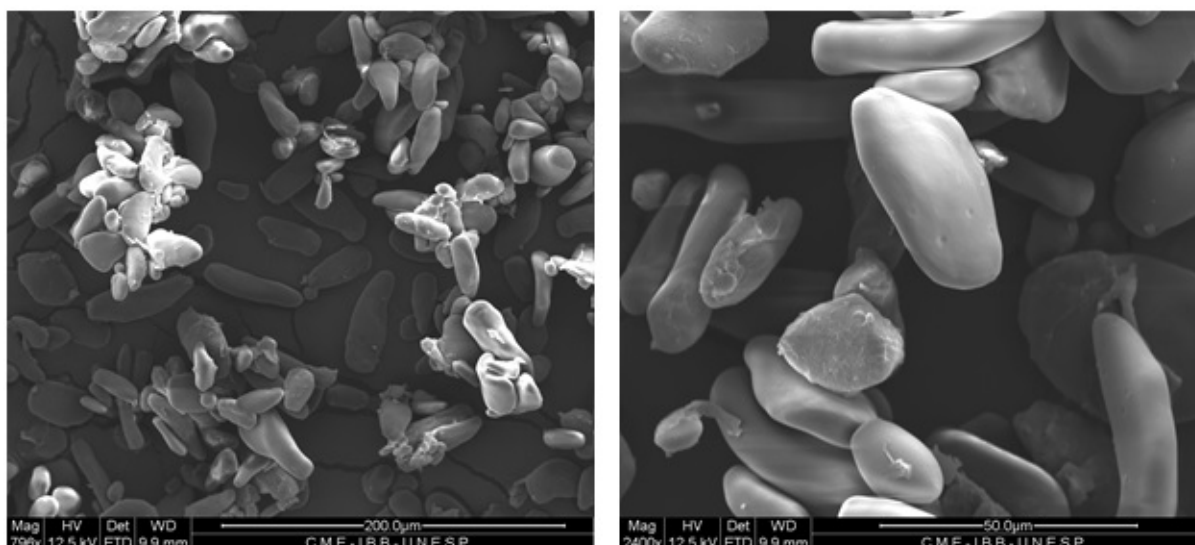


Figura 13: MEV dos amidos do genótipo 'FHIA 18'

4.3.2 Tamanhos dos grânulos do amido

Os tamanhos dos grânulos de amido foram definidos através do diâmetro médio volumétrico (parâmetro D[4,3]). O genótipo 'Nanicão' apresentou maior comprimento com 47,24 μm , como é possível observar na Tabela 3. O genótipo 'Grand Naine', ao contrário, possui o menor diâmetro dentre os amidos estudados, 36,58 μm . De acordo com Zhang et al. (2005), os grânulos de amido de banana variam entre 6 e 80 μm , principalmente entre 20 e 60 μm estando portanto os amidos dos genótipos estudados dentro da faixa citada pelos autores.

Eggleston et al. (1992) encontraram diâmetro médio de 26 μm para os amidos nativos das cultivares 'Ihitisim', 'Agbagba' e 'Obino L'Ewai'. Os genótipos 'Enano', 'Morado', 'Valery' e 'Macho' apresentam diâmetro médio entre 30 e 45 μm (UTRILLA-COELLO et al., 2014), valores semelhantes aos encontrados neste trabalho.

O amido de variedades de banana verde é consideravelmente maior que amidos de fontes amiláceas tradicionais. O amido de milho nativo possui diâmetro médio de 17,25 μm (ZONG-QIANG et al., 2012). O de trigo apresenta variação de tamanho entre 22,3 e 5,4 μm para o genótipo 'Anahuac'; e 22,1 e 5,1 μm para IAC17 (YONEMOTO et al., 2007)

O amido de banana apresenta tamanho superior ao relatado na literatura para amidos obtidos de tuberosas. Rocha et al. (2008) relatam tamanhos variáveis de

14,7 a 11 μm para duas cultivares de mandioquinha-salsa plantas no Brasil. Nwokocha et al. (2009), estudando o comportamento reológico dos amidos de mandioca e inhame, notaram que o primeiro apresenta variação de tamanho de grânulo entre 2,81 μm e 14,03 μm , e o segundo varia de 3,70 μm a 10,50 μm .

Tabela 3: Tamanho médio dos grânulos de amido dos genótipos de bananeira.

Genótipos	Tamanho de Grânulo (μm)
Nanicão	47,24a $\pm$ 1,42
Grand Naine	36,58c $\pm$ 0,46
Maçã	41,88b $\pm$ 1,47
Prata-Anã	39,60bc $\pm$ 2,38
FHIA 18	41,31b $\pm$ 2,03

Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3.3 Difração de raios-X

Na planta, o amido é armazenado como corpos intracelulares parcialmente cristalinos (15 a 45 % de cristalinidade) denominados grânulos. Por meio de difração de raios-X podem-se distinguir três tipos de padrão cristalino que, dependendo de sua forma e estrutura cristalina, denominam-se A, B e C. Estes padrões de cristalinidade dependem, em parte, do comprimento das cadeias de amilopectina, da densidade de empacotamento dentro dos grânulos, bem como, da presença de água (ZOBEL et al., 1988; SAJILATA et al., 2006).

Os resultados obtidos para a análise de cristalinidade dos amidos de banana estão apresentados na Tabela 4. Não foram observadas diferenças significativas entre os genótipos de banana para esta característica física do amido.

Tabela 4: Área cristalina dos amidos.

Genótipos	Cristalinidade (%)
Nanicão	33,43a $\pm$ 1,62
Grand Naine	34,06a $\pm$ 1,40
Maçã	32,15a $\pm$ 2,08
Prata-Anã	31,94a $\pm$ 1,27
FHIA 18	33,41a $\pm$ 0,81

Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os difractogramas de raios-X dos amidos estão representados na Figura 14. O padrão cristalino tipo A é caracterizado por apresentar picos em 17° , 18° e 23° em 2θ , enquanto o padrão cristalino tipo B é caracterizado pela presença de picos em $5,6^\circ$, 17° e em 22° a 24° em 2θ . O padrão de difração tipo C apresenta uma mistura dos padrões A e B (BÚLEON et al., 1998).

Os genótipos apresentaram padrão de cristalinidade tipo B, visto que seus picos principais encontram-se, aproximadamente, nos ângulos de 5° , 15° , 17° , 22° e 24° . Izidoro (2011) encontrou padrão tipo B para amido de banana 'Nanica' seco em estufa. Freitas e Tavares (2005) relataram padrão B para 'Nanicão' e C para amido de banana 'Terra'. As bananas tailandesas 'Kluai' também são tipo B (VATANASUCHART et al., 2012).

De acordo com diversos estudos, amidos de bananas podem ser do tipo A, B ou C, dependendo da variedade da banana, condições de desenvolvimento da planta e outros fatores. Entretanto, o padrão de cristalinidade tipo B para amido de banana é mais reportado (FAISANT et al., 1995; TONGDANG e SAASAGUL, 2005; ZHANG et al., 2005).

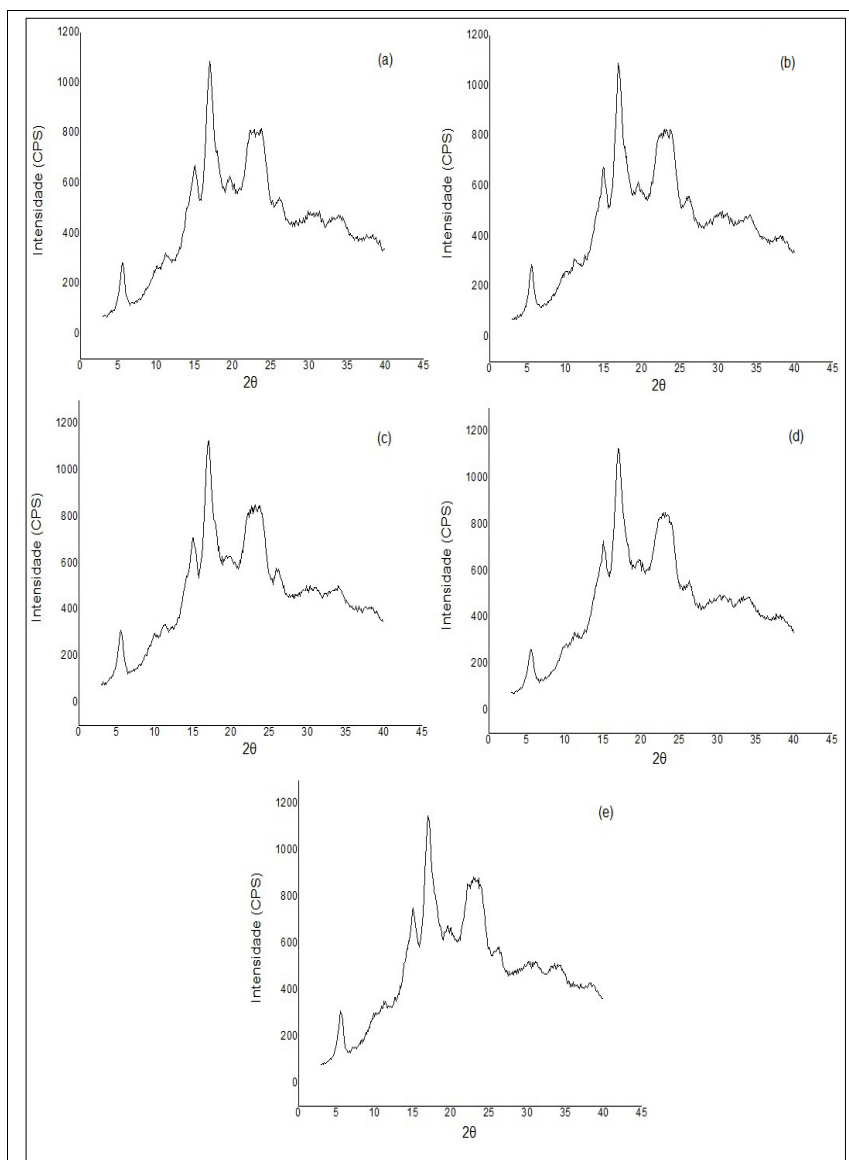


Figura 14: Difractogramas de raio-X dos amidos dos genótipos 'Nanicão' (a), 'Grand Naine' (b), 'Maçã' (c), 'Prata-Anã' (d) e 'FHIA 18' (e)

Os amidos com padrão do tipo B e C tendem a ser mais resistentes à amilase pancreática do que o padrão A (FREITAS e TAVARES, 2005). Essa maior resistência deve-se às ramificações e associações da molécula de amilopectina com a molécula de amilose. Nos amidos tipo A, a amilopectina tem altas proporções de cadeias curtas e maior número de ramificações. Já nos tipos B e C, a amilopectina apresenta menos ramificações e cadeias longas associadas a moléculas de amilose (IZIDORO, 2011).

Os amidos com cristalinidade tipo A possuem em torno de três a seis grupos de duplas hélices na célula unitária, com um empacotamento mais compacto. A estrutura do tipo B possui dois grupos de duplas hélices na célula unitária e adota uma

organização mais aberta entre as macromoléculas, com uma coluna de água presente entre o arranjo das duplas hélices de amilopectina (GALLANT et al., 1997).

Os resultados dos amidos dos genótipos de bananas se assemelham aos amidos de raízes e tubérculos e diferenciam-se de amidos de cereais. Pepe (2011) relatou padrão B para amido de mandioquinha-salsa em seu trabalho sobre as características reológicas de amidos. Rocha et al. (2008) encontraram o mesmo resultado que Pepe (2011). Liu et al. (2009) demonstraram padrão B para batata.

O amido de milho possui padrão de cristalinidade A, segundo Freitas e Tavares (2005). Para Lima et al. (2012), os amidos de trigo e milho também são do tipo A. No geral, amidos de raízes e tubérculos apresentam padrão de cristalinidade tipo B e amidos de cereais apresentam padrão A.

4.3.4 Composição centesimal

Os resultados da composição centesimal dos amidos estão apresentados na Tabela 5. Peroni (2003) afirma que o amido é constituído praticamente de carboidratos, no entanto, substâncias como lipídios, proteínas e cinzas estão presentes em sua composição. A quantidade destes constituintes no amido depende da composição da planta e do método de extração e purificação. Quanto menor o teor destas substâncias, melhor a qualidade comercial do amido.

A Legislação Brasileira em vigor define os padrões para amido como: umidade máxima 14 % P/p; acidez máxima 2,0 % V/p; amido mínimo 80 % P/p, resíduo mineral fixo máximo 0,50 % P/p e teor máximo de proteína 1,5 % P/p (BRASIL, 2005).

O teor de umidade dos amidos variou, entre os genótipos, de 8,6 % para 'Maçã' a 14 % para 'Nanicão', respeitando os padrões exigidos pela resolução brasileira para amidos e féculas (BRASIL, 2005). Núñez-Santiago et al. (2004) encontraram umidade de 9,90 % para amido de *Musa Paradisiaca* L. variedade 'Macho'. Izidoro (2011) encontrou 13,37 % de umidade para *Musa cavendish* ('Nanica').

Tabela 5: Composição química dos amidos dos genótipos de bananeiras (b.u).

	Nanicão	Grand Naine	Maçã	Prata-Anã	FHIA 18
Umidade (CV-8,86%)	14,00a	10,82b	8,60c	9,90bc	10,28bc
Cinzas (CV-23,83%)	0,13c	0,09c	0,26b	0,38 ^a	0,34ab
Proteína (CV-12,72%)	0,61b	0,38c	0,63b	0,99 ^a	1,09 ^a
Fibra CV-21,18%)	0,14c	0,59a	0,47ab	0,38b	0,18c
Matéria Graxa (CV-18,07%)	0,18d	0,26c	0,36b	0,46 ^a	0,01e
Amido (CV-0,45%)	84,94d	87,86c	89,67a	87,88c	88,08b
Acidez (CV-9,44%)	0,71b	0,66b	0,85a	0,71b	0,91 ^a
pH (CV-2,29%)	6,56ab	6,76a	6,74a	6,02c	6,45b

Letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os teores de cinzas nos amidos dos genótipos de bananeiras variaram de 0,09 % a 0,38 % estando todos em acordo com o estabelecido na legislação (BRASIL, 2005), com os maiores teores observados nos amidos de 'Prata-Anã' e 'FHIA 18'. Waliszewski et al. (2003) encontraram 0,47 % para *Musa AAA - valery*, teor superior o encontrado nos amidos dos genótipos estudados.

As maiores concentrações de proteínas foram encontradas nos amidos de 'Prata-Anã' (0,99 %) e 'FHIA 18' (1,09 %). Teixeira et al. (1998) encontraram valor mais baixo para *Musa AAB - Terra* (0,10 %) e Núñez-Santiago et al. (2004) encontraram valor mais alto, 2,03 %, evidenciando diferenças entre genótipos e possíveis interferências nas metodologias de extração e purificação dos amidos.

Os teores de fibras nos amidos variaram de 0,14 a 0,59 %, diferindo entre os genótipos. Já o teor de matéria graxa nos amidos variou de 0,01 a 0,46 %, com o menor valor observado no amido de 'FHIA 18'. Quanto a matéria graxa, Núñez-Santiago et al. (2004) encontraram 2,46 % de matéria graxa em amido de banana *Musa Paradisiaca L.* variedade 'Macho'. Waliszewski et al. (2003) encontraram 0,26 % para *Musa AAA - valery*.

O teor de amido demonstra a pureza do material, sendo os outros constituintes remanescentes da extração. Os amidos dos genótipos de bananeiras se enquadram quanto ao teor mínimo exigido pela legislação brasileira (BRASIL, 2005). 'Grand Naine' e 'Prata-Anã' não diferiram estatisticamente entre si. Zhang e Hamaker (2012) encontraram teor de amido de 83,25 % em amido de genótipo de banana verde doado pela Universidade da Costa Rica.

Os maiores valores de acidez foram observados nos amidos de 'Maçã' e a 'FHIA 18'. 'Grand Naine' e 'Maçã' apresentaram maior pH, 6,76 e 6,74, respectivamente. 'Prata-Anã' o menor pH, 6,02.

4.3.5 Teor de fósforo

O fósforo, quando ligado covalentemente ao grânulo de amido, é capaz de auxiliar a incorporação de moléculas de água, devido sua organização iônica, alterando as propriedades funcionais do amido, como a gelatinização, retrogradação, viscosidade e poder de inchamento.

Os valores apresentados na Tabela 6 demonstram os teores de fósforo nos amidos de cada genótipo de bananeira. Os amidos de 'Nanicão' e 'Grand Naine' apresentaram os menores teores em sua composição, 0,003%. Os amidos dos genótipos 'Prata-Anã' e 'FHIA 18' contêm, respectivamente, 0,01% e 0,009% de P em sua composição.

Apesar de não ter ocorrido diferença entre os genótipos para o teor de fósforo nos frutos a diferença observada no teor de fósforo ligado ao amido pode estar relacionada às características fisiológicas das plantas no processo de biossíntese do amido.

Tabela 6: Teor de fósforo nos amidos extraídos dos diferentes genótipos de bananeiras (b.u).

Genótipo	Fósforo (%)
Nanicão	0,003c $\pm$ 2,29
Grand Naine	0,003c $\pm$ 0,34
Maçã	0,007b $\pm$ 0,54
Prata-Anã	0,011a $\pm$ 0,73
FHIA 18	0,010a $\pm$ 0,87

Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A maior parte dos grupos fosfato está ligada à amilopectina (BLENNOW et al. 2000; BLENNOW et al. 2002); estes estão presentes não só nas regiões amorfas, mas também, nas regiões cristalinas. A fosforilação do amido ocorre naturalmente em alguns dos seus resíduos de glicose nas posições C3 e C6 e é necessária para desencadear o catabolismo do polissacarídeo pelas enzimas degradativas (FETTKE et.al., 2009). Alguns autores citam que enzimas especializadas são responsáveis por esta função:

glucan water dikinase (GWD) e *phosphoglucan water dikinase* (PWD) (RITTE et al., 2002; KOTTING et al. 2005).

4.3.6 Amilose

A amilose desempenha papel fundamental nas propriedades físico-químicas dos amidos, uma vez que a região amorfa é constituída, majoritariamente, por este seguimento (UTRILLA-COELLO et al., 2014), tais como: propriedades funcionais de gelatinização e retrogradação do amido e a susceptibilidade à hidrólise enzimática (GÉRARD, BARRON e PLANCHOT, 2001).

Diversos autores relatam diferentes teores de amilose para amidos de bananas verdes, evidenciando a influência de genótipos e condições de cultivo. Neste trabalho, com resultados expressos na Tabela 7, o amido do genótipo 'Maçã' apresentou o maior teor de amilose (29,01 %), diferenciando-se estatisticamente dos demais. O menor teor foi observado no amido de 'Nanicão' (25,13 %).

Vatanasuchart et al. (2012) analisando amido de banana 'Kluai' relataram teores de amilose superiores aos observados nos genótipos estudados, descrevendo uma variação de 38,6 a 43,8 %.

Tabela 7: Teores de amilose dos amidos extraídos dos diferentes genótipos de bananeiras (b.u)

Genótipo	Amilose (%)
Nanicão	25,13d ± 0,32
Grand Naine	26,58c ± 0,30
Maçã	29,01a ± 0,13
Prata-Anã	27,84b ± 0,17
FHIA 18	26,42c ± 0,29

Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Já os amidos nativos de frutos de bananeiras estudadas por Eggleston et al. (1992) apresentavam em torno de 11 % de amilose aparente, valor abaixo dos encontrados neste trabalho. Izidoro (2011) relatou teor de amilose de 19,21 % para banana Nanica. Nwokocha e Willians (2009) encontraram valores de 26 % de amilose aparente para amido de variedades branca e amarela de banana. Leonel et al. (2011) analisando amidos de genótipos de bananeira observaram teores de amilose em amido de 'Prata Anã' de 29,55 % e

em amido de 'Nanicão' 28 %, valores superiores aos encontrados para os mesmos genótipos neste trabalho.

É importante comparar o teor de amilose dos amidos de bananas verdes com outras fontes amiláceas usualmente utilizadas na indústria para fornecer informações sobre o comportamento do amido no alimento, visto que este parâmetro exerce papel fundamental na reologia do material e influencia o resultado final do produto.

Algumas tuberosas apresentam valores mais baixos de amilose em relação aos encontrados neste trabalho. Pepe (2011) relatou 20,63 % de amilose para amido de mandioca, 23,12 % para araruta e 18,42 % para mandioquinha-salsa. Moorthy (2001) relatou variação de 16 a 27 % no teor de amilose em amido de batata-doce e, para o amido de biri (*Canna edulis*), 24 a 30 %.

Quanto aos cereais, Yonemoto et al. (2007) relataram que os amidos de variedades de trigo variaram de 27,46 a 28,31 % em seu estudo sobre as características estruturais deste tipo de amido. Bicudo (2008) revelou teor de amilose para amido de milho de 18,4 a 30,1 % em seu trabalho sobre caracterização de amidos de diversas fontes botânicas.

4.3.7 Amido resistente

Existem três tipos de amido referentes à digestibilidade: o amido rapidamente digerível, o lentamente digerível e o amido resistente (AR), que não é hidrolisado pelas enzimas do trato gastrointestinal (TGI). Gallant et al. (1992) apud Zhang et al., (2005) relataram que a indigestibilidade do amido resistente é explicada pela morfologia do grânulo, que apresenta superfície densa e lisa, impedindo a penetração enzimática.

Este amido representa importante destaque pela sua função nutricional, visto que atua de maneira similar às fibras dietéticas, otimizando o funcionamento do trato gastrointestinal, gerando sensação de saciedade, retardando a absorção de monossacarídeos e auxiliando a excreção de moléculas de gordura contidas no bolo fecal (PEREIRA, 2007).

O alto teor de amido resistente em bananas verdes vem instigando a realização de pesquisas científicas neste seguimento. Os amidos dos genótipos 'Nanicão',

'Grand Naine' e 'Prata-Anã' apresentaram teores de 77,87 %, 76,60 % e 80,28 %, respectivamente. Já o amido de 'Maçã' e 'FHIA 18' apresentaram menores porcentagens de amido resistente total e se diferenciam estatisticamente dos outros três genótipos, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8: Amido resistente nos amidos extraídos dos diferentes genótipos de bananeiras (b.u).

Genótipo	Amido Resistente (%)
Nanicão	77,87a $\pm$ 1,51
Grand Naine	76,60a $\pm$ 8,05
Maçã	68,16b $\pm$ 3,46
Prata-Anã	80,28a $\pm$ 2,40
FHIA 18	65,70b $\pm$ 3,86

Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os valores observados para amido resistente neste trabalho encontram-se próximos aos relatados na literatura para amidos de bananas. As bananas 'Kluai' possuem variação de 70,1 % a 79,2 % de amido resistente em seus amidos, assemelhando-se com os resultados aqui encontrados (VATANASUCHART et al., 2012), e Izidoro (2011) encontrou valor na mesma faixa para banana 'Nanica' (79,89 %).

Contudo, Utrilla-Coello et al. (2014) observaram valores mais baixos para as variedades 'Enano', 'Morado' e 'Valery', 42,4 %, 27,4 % e 45 %, respectivamente; e 67,6 % de AR em amido da cultivar 'Macho'. Os autores ainda avaliaram o teor de amido resistente após a gelatinização, visto que o consumo de banana verde cozida/assada é maior que o da crua. Como fator de relevância para a indústria alimentícia, o processo de cozimento diminuiu por volta de 90 % o teor de AR, resultando em valores de 3,6 %, 0,76 %, 3,6 % e 13,4 % para a mesma ordem citada.

Agama-Acevedo et al. (2015), porém, detectaram teores maiores de AR em relação ao trabalho do autor anteriormente citado, com 89,9 % em amido do genótipo 'Enano', 65,3 % para 'Morado', 88,1 % em amido de 'Valery' e, ainda, 91,9 % em amido do genótipo 'Macho'. Ambos os trabalhos seguiram a metodologia de Englyst, Kingman e Cummings (1992). A divergência de valores pode ser explicada pela diferença de estágios de maturação durante a colheita dos cachos de bananas verdes.

Os benefícios oferecidos pela banana verde no quesito intestinal se devem ao consumo do produto *in natura*. Porém, o amido de banana verde vem sendo estudado como forma alternativa de substituição dos amidos convencionais utilizados na indústria para produção de alimentos prontos, como os amidos de milho e mandioca; que, de acordo com Almeida (2013), o de milho possui 18,64 % de amido resistente e a fécula de mandioca possui 4,15 % de AR (FREITAS e LEONEL, 2008).

Zhang et al. (2006) apud Agama-Acevedo et al. (2015) ratificaram que amidos nativos de cereais possuem maior teor de amido lentamente digerível do que de amido resistente. Ao contrário, amidos nativos de tuberosas possuem maior teor de amido resistente do que de amido lentamente digerível. Esta diferença se deve ao polimorfismo tipo A característico de amidos de cereais e tipo B singular aos amidos de tuberosas.

4.3.8 Propriedades de pasta

Reologia é o estudo da deformação pelo estresse. Durante o processamento de alimentos, o amido é submetido a altas temperaturas e taxas de cisalhamento, afetando as propriedades reológicas, bem como as características finais do produto. A gelatinização do amido altera estas propriedades e a retrogradação intensifica tal alteração. Dependendo da concentração de amido, a estrutura final de produtos amiláceos em água apresenta-se de forma espessa ou gelificada (LIU et al., 2009).

Neste processo, o comportamento granular é notoriamente modificado, gerando grânulos inchados, grânulos parcialmente desintegrados, pedaços de amilose e outras partículas de amido. O resultado final é chamado de pasta de amido. Esta pasta é descrita por duas fases: a de grânulos inchados e a de partes de grânulos, após a gelatinização (frações de amilose e amilopectina). A realocação destas frações (tendência a retrogradação) forma géis mais fortes pela diminuição de temperatura (LIU et al., 2009).

De acordo com Tester e Morrison (1990), as propriedades de pasta de amidos são afetadas pelos teores de amilose, lipídios e fósforo e pela distribuição dos comprimentos de cadeias ramificadas da amilopectina.

Os resultados obtidos para as propriedades de pasta dos amidos dos genótipos de banana estão apresentados na Tabela 9. Os resultados obtidos mostram diferenças significativas entre os genótipos para as propriedades analisadas.

As temperaturas de pasta dos amidos variaram de 75,41°C a 79,85°C, com os menores valores observados para os amidos de 'Nanicão' e 'Grand Naine'. A concentração de amido em solução foi de 10 %. As bananas 'Kluai' de Vatanasuchart et al. (2012) apresentaram variação de temperatura de pasta de 79,2 °C a 83,2 °C para 10 % de amido em solução. O amido da banana 'Nanicão' de Freitas e Tavares (2005) apresentou temperatura de pasta de 71,06 °C e o da banana 'Terra', 74,5 °C, ambas com 13 % de amido em solução.

A temperatura de pasta oferecida pelo analisador rápido de viscosidade (Rapid Visco Analyser- RVA) revela o primeiro indício do processo de empastamento. A temperatura inicial do calorímetro diferencial de varredura (DSC) demonstra fidedignamente o início da gelatinização do amido.

Tabela 9: Propriedades de pasta dos amidos.

Genótipo	Temperatura de Pasta (°C)	Propriedades de pasta (RVU)			
		PV	QV	VF	TR
Nanicão	75,41c ± 0,60	483,35a ± 19,96	269,75a ± 25,63	370,56b ± 4,950	134,17bc ± 3,670
Grand Naine	75,48c ± 0,20	457,33a ± 13,46	229,89ab ± 18,86	371,50b ± 5,160	118,50bc ± 9,960
Maçã	79,85a ± 1,38	371,71b ± 8,230	106,77c ± 20,08	443,16a ± 41,09	177,39a ± 28,72
Prata-Anã	79,22ab ± 1,36	369,02b ± 9,170	146,04bc ± 7,220	374,5b ± 14,62	153,17ab ± 11,02
FHIA 18	77,69b ± 0,71	386,79b ± 24,52	153,31bc ± 30,03	350,17b ± 17,47	114,44c ± 12,82

PV=pico de viscosidade; QV=quebra de viscosidade; VF=viscosidade final; TR=tendência a retrogradação.

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Quando suspensões aquosas de amido são submetidas ao analisador rápido de viscosidade há aumento da viscosidade na fase inicial de aquecimento, período em que os grânulos também iniciam o poder de inchamento, e moléculas de amilose são lixiviadas desses amidos (FERNÁNDEZ-MUÑOZ et al., 2011). Um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento, quando existe a maioria dos grânulos totalmente inchados, grânulos intactos, e o alinhamento molecular de qualquer polímero solubilizado ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento (LEONEL et al., 2011).

Os valores de pico de viscosidade variaram de 369,02 RVU a 483,35 RVU com os maiores valores observados para os amidos de 'Nanicão' e 'Grand Naine'. Leonel et al. (2011) analisando as propriedades de pasta de amidos de sete genótipos de bananeira relataram uma variação de 185,0 a 460,59 RVU para o pico de viscosidade dos amidos.

Com relação à quebra de viscosidade, momento constante ao parâmetro analisado, a variação observada na análise dos amidos foi de 106,77 RVU a 269,75 RVU, com os amidos de 'Nanicão' e 'Grand Naine', também apresentando os maiores valores, ou seja, tiveram baixa resistência ao calor e agitação.

Os amidos dos genótipos 'Nanicão' e 'Grand Naine' contém dois dos menores teores de matéria graxa e menores teores de fósforo e amilose, o que os tornou semelhantes em relação ao comportamento reológico.

O amido do genótipo 'Maçã' apresentou resultados similares ao amido do genótipo 'Prata-Anã'. Ambos contêm elevados teores de matéria graxa, fósforo e amilose em relação aos dois genótipos citados acima, evidenciando a interferência destes componentes sobre as propriedades de pasta dos amidos.

A viscosidade final dos amidos variou de 350,17 RVU a 443,16 RVU. A análise dos resultados permitiu observar que o amido do genótipo 'Maçã' apresentou alta viscosidade final e tendência a retrogradação, diferenciando-se em todos os parâmetros de propriedades de pasta dos amidos de 'Nanicão' e 'Grand Naine'.

O amido do genótipo 'FHIA 18' revelou resultados de propriedades de pasta singulares em relação aos amidos dos outros genótipos, apresentando temperatura de pasta intermediária aos dois grupos de amidos ('Nanicão' e 'Grand Naine'; 'Maçã' e 'Prata-Anã'); pico e quebra de viscosidade semelhante ao segundo grupo; viscosidade final diferente

estatisticamente do amido do genótipo 'Maçã' e tendência a retrogradação equivalente ao primeiro grupo. Tal amido contém o menor teor de matéria graxa, alto teor de fósforo e teor de amilose estatisticamente igual ao do amido do genótipo 'Grand Naine', 26,42 %.

Noda et al. (2007), estudando as características de amidos de batata relataram que amidos com maior teor de fósforo apresentaram maior solubilidade, pico de viscosidade, e quebra de viscosidade.

4.3.9 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas de gelatinização dos amidos das bananas verdes podem ser observadas na Tabela 10.

As temperaturas iniciais de gelatinização dos amidos de banana variaram de 67,79 a 69,23°C, não havendo diferença significativa entre os genótipos. As temperaturas iniciais de gelatinização dos amidos obtidas pelo DSC foram menores que as apresentadas pelo RVA, pois a temperatura de pasta é determinada quando os primeiros acréscimos na viscosidade da pasta são observados, enquanto que no DSC, que é mais sensível, a temperatura inicial de gelatinização é detectada quando ocorre a desorganização dos primeiros grânulos de amido (JANE et al., 1999).

Tabela 10: Propriedades térmicas de gelatinização dos amidos.

Genótipo	Ti (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	ΔT (°C)	ΔH (J.g ⁻¹)
Nanicão	68,07 ^a ± 0,13	70,58a ± 0,22	73,73a ± 0,37	5,65b ± 0,24	14,73a ± 0,20
Grand Naine	68,65 ^a ± 0,06	71,11a ± 0,07	74,21a ± 0,22	5,56b ± 0,18	13,22ab ± 0,99
Maçã	69,23 ^a ± 1,84	72,17a ± 1,76	75,36a ± 1,54	6,13b ± 0,30	10,61bc ± 1,87
Prata-Anã	67,79 ^a ± 0,69	71,02a ± 0,83	74,64a ± 0,83	6,85a ± 0,16	12,94ab ± 1,11
FHIA 18	68,54 ^a ± 0,78	71,69a ± 0,99	74,67a ± 1,04	6,13b ± 0,29	9,45c ± 0,48

Ti, Tp, Tf = temperatura inicial, de pico e final; ΔT (variação de temperatura) = Tf-Ti; ΔH = variação de entalpia. Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

As temperaturas inicial, de pico e final dos amidos dos genótipos não diferiram estatisticamente entre si. Isso indica que, durante o processamento térmico, os amidos começam a gelatinizar por volta dos 68 °C e estão completamente gelatinizados aos 74 °C.

O ΔT indica o grau de heterogeneidade dos cristais dentro dos grânulos, enquanto o ΔH reflete a quantidade de duplas hélices que são desfeitas durante a gelatinização (COOKE e GIDLEY, 1992). Logo, o amido do genótipo 'Prata-Anã' possui menor homogeneidade de sua área cristalina em relação aos outros genótipos. 'Nanicão' e 'FHIA 18' possuem os extremos de variação de entalpia, 14,73 e 9,45 J.g⁻¹ respectivamente.

Os amidos dos genótipos 'Nanicão' e 'Grand Naine' contém os menores teores de amilose, ou seja, possuem mais cadeias de amilopectina em suas estruturas em relação aos amidos dos outros genótipos. Isso implica em maior necessidade de energia para quebra de duplas hélices, o que explica a variação de entalpia.

Os genótipos 'Maçã' e 'Prata-Anã' apresentam amidos com maiores teores de amilose e, conseqüentemente, menores variações de entalpia em relação aos amidos dos genótipos citados acima. O amido do genótipo 'FHIA 18' demonstrou comportamento diferente novamente, com teor de amilose igual ao amido do genótipo 'Grand Naine', estatisticamente, e menor valor de variação de entalpia.

Izidoro (2011) obteve temperaturas inicial, de pico e final de 62,75 °C, 65,16 °C e 71,29 °C, respectivamente, e variação de entalpia de 16,7 J.g⁻¹ para amido de banana 'Nanica'. Bello-Pérez et al. (2000) apresentou temperaturas inicial, de pico e final de 69,6 °C, 74,5 °C e 81,6 °C para amido de banana 'Macho' e ΔH de 13 J.g⁻¹. Núñez-Santiago et al. (2004) relatou temperaturas na mesma ordem de 75,5 °C, 80,7 °C e 90 °C também para amido de banana 'Macho', com variação de entalpia de 16,8 J.g⁻¹.

O comportamento de amidos gelatinizados, quando armazenados e resfriados, expresso como retrogradação, é de grande interesse para cientistas e tecnólogos na área de alimentos, pois afeta profundamente a qualidade, aceitabilidade e meia-vida de muitos alimentos baseados em amido (KARIM, NORZIAH e SEOW, 2000). Os resultados obtidos das propriedades térmicas de retrogradação estão apresentados na Tabela 11.

As temperaturas de gelatinização se mostraram mais baixas após a retrogradação, indicando que para gelatinizar amido de banana verde retrogradado é necessária uma menor temperatura em relação ao amido de banana verde nativo. O aumento da variação de temperatura confirma a maior heterogeneidade cristalina, visto que os grânulos de amido foram segregados com a ação da temperatura.

Miles et al. (1985) sugerem que a retrogradação do amido consiste em dois processos distintos, um envolvendo a amilose solubilizada durante a gelatinização, e o outro envolvendo a amilopectina dentro do grânulo gelatinizado.

Tabela 11: Propriedades térmicas de retrogradação dos amidos.

Genótipo	Ti (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	ΔT (°C)	ΔH (J.g ⁻¹)	%R
Nanicão	44,40ab ± 0,34	53,05a ± 0,54	59,31b ± 0,32	14,91b ± 0,57	6,51ab ± 0,09	44,94b ± 1,01
Grand Naine	43,45ab ± 2,07	52,88a ± 1,37	61,24ab ± 1,32	17,79ab ± 1,68	6,25b ± 0,10	47,72b ± 3,92
Maçã	45,56a ± 2,31	53,43a ± 1,11	61,93ab ± 1,52	16,37b ± 2,82	4,16c ± 0,12	45,90b ± 0,21
Prata-Anã	41,66b ± 0,45	51,80a ± 0,40	63,06a ± 0,12	21,39a ± 0,54	6,94a ± 0,17	52,51ab ± 3,36
FHIA 18	45,01ab ± 0,77	53,07a ± 0,29	61,02ab ± 1,28	16b ± 1,72	6,25b ± 0,17	57,81a ± 3,94

Ti, Tp, Tf = temperatura inicial, de pico e final; ΔT(variação de temperatura) = Tf-Ti; ΔH = variação de entalpia; %R = taxa de retrogradação.
Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

As temperaturas iniciais de gelatinização dos amidos retrogradados variaram de 41,66 °C a 45,56 °C, pertencendo a menor temperatura ao amido do genótipo 'Prata-Anã'. As temperaturas de pico não apresentaram diferenças estatísticas entre os genótipos, variando entre 51,80 °C a 53,43 °C. As temperaturas finais revelaram variação de 59,31 °C a 63,06 °C, sendo a menor temperatura do amido do genótipo 'Nanicão'

Os amidos dos genótipos 'Grand Naine' e 'Prata-Anã' não apresentaram diferenças estatísticas quanto a variação de temperatura. Para todos os amidos dos genótipos a menor oscilação foi de 14,91 °C, a maior foi de 21,39 °C.

O ΔH após a retrogradação demonstra a capacidade de associação entre as partes segregadas - amilose e amilopectina. A presença de uma menor variação de entalpia revela que houve fusão entre as frações de amido, mas que é necessária menor quantidade de energia para nova gelatinização em relação ao amido nativo.

O amido do genótipo 'Prata-Anã' apresentou menor ΔH de gelatinização (4,16), implicando que a quebra de ligações de pontes de hidrogênio formadas durante a retrogradação ocorreu com maior facilidade em relação aos outros amidos. Os amidos dos genótipos 'Prata-Anã' e 'FHIA 18' possuem as maiores taxas de retrogradação, com 52,51 % e 57,81 %, respectivamente, ou seja, mais da metade de suas estruturas são capazes de reassociar-se.

Esses dados demonstram que amidos retrogradados de banana verde necessitam de uma menor temperatura e liberação de energia para serem gelatinizados novamente. Na prática, alimentos amiláceos à base de amido de banana verde aquecidos, resfriados e aquecidos novamente necessitam de menor temperatura de aquecimento em relação aos amidos nativos para nova gelatinização.

A retrogradação da amilose em alimentos processados é considerada importante para propriedades como textura, habilidade em absorver água e digestibilidade, enquanto a retrogradação da amilopectina é um fator importante no endurecimento de pães e bolos.

4.3.10 Poder de inchamento e solubilidade

O poder de inchamento (PI) e solubilidade (S) demonstram a interação entre cadeias formadas na área cristalina e amorfa. A extensão desta interação é influenciada pelo teor de amilose e amilopectina, distribuição da massa molecular de ambas as estruturas, grau de ramificação, comprimento das cadeias laterais e conformação das moléculas (RATNAYAKE et al., 2002).

O poder de inchamento também indica a força de penetração da água em grânulos de amido. Leach et al. (1959) apud Peroni (2003) afirmaram que as áreas cristalinas mantêm a integridade dos grânulos, permitindo o inchamento, mas não completa a dispersão das macromoléculas. Durante o aquecimento de uma suspensão aquosa de amido, as áreas amorfas absorvem água rapidamente e incham, permanecendo unidas pelas regiões cristalinas. Lawal et al. (2011) relataram que o aumento da temperatura enfraquece as ligações moleculares entre as estruturas granulares do amido, facilitando a ação da água e sua retenção no interior do grânulo.

Os resultados obtidos para o poder de inchamento e solubilidade dos amidos extraídos dos diferentes genótipos de bananeira estão apresentados na Tabela 12. Para o poder de inchamento o amido do genótipo 'Nanicão' diferiu dos demais e para a solubilidade os maiores valores foram observados para os amidos de 'Maçã' e 'Prata Anã', os quais diferiram dos demais amidos estudados.

A análise dos dados evidenciou que o amido de 'Nanicão' possui o menor poder de inchamento, e também o menor teor de amilose, conforme apresentado na Tabela 7, indicando que maiores teores de amilose contribuem ao aumento do inchamento nas frações amorfas.

Tabela 12: Poder de inchamento (PI) e solubilidade (S) dos amidos de banana.

Genótipos	PI (g/g)	S (%)
Nanicão	13,20b ± 0,10	5,44b ± 0,92
Grand Naine	15,19a ± 0,26	6,85b ± 1,23
Maçã	14,42a ± 1,40	9,88a ± 2,42
Prata-Anã	14,66a ± 0,43	11,61a ± 1,64
FHIA 18	14,88a ± 0,21	6,67b ± 1,31

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Já os resultados observados para os amidos dos genótipos 'Maçã' e 'Prata-Anã', ambos com elevados teores de amilose, demonstram que quanto maior o teor amilose no grânulo de amido, maior será sua capacidade de solubilização em solução aquosa, devido o processo de lixiviação da amilose com temperaturas elevadas.

Zhang et al. (2005) demonstraram resultados elevados em relação aos aqui encontrados para amidos de bananas verdes, porém seguindo metodologia de Leach et al. (1959): 30,1 % a 35,3 % para poder de inchamento e 16,3 % a 21,7 % para solubilidade. Já de acordo com Izidoro (2011) o amido de banana 'Nanica' apresenta 18,08 g/g de poder de inchamento e 10,43 % de solubilidade a 90 °C, seguindo a metodologia de Torre-Gutiérrez et al. (2008).

Logo, as análises de poder de inchamento e solubilidade são aptas a demonstrar o comportamento do amido em solução aquosa, através da proporção amilose e amilopectina, a fim de que os resultados sejam levados em consideração para produção de alimentos com especificidades características.

5 CONCLUSÃO

Os genótipos 'Grand Naine', 'Maçã' e 'Prata-Anã' possuem as menores umidades e, conseqüentemente, as maiores quantidades de matéria seca e teores de amido. Os frutos dos cinco genótipos não apresentaram diferenças estatísticas relativas aos teores de fósforo.

Os grânulos dos amidos dos genótipos de bananas verdes analisados são grandes, ovalados, lisos e altamente resistentes à ação enzimática. Também apresentam padrão de cristalinidade tipo B, o que contribui à característica de resistência.

Os amidos dos genótipos 'Nanicão' e 'Grand Naine' assemelham-se dentre suas características e comportamento reológico, apresentando os menores teores de amido, amilose e fósforo; os maiores teores de AR; e as maiores temperaturas de pasta, VF e QV. Por outro lado, os amidos dos genótipos 'Maçã' e 'Prata-Anã' equiparam-se apresentando os maiores teores de amilose; as menores temperaturas de pasta, VF e QV; e maiores tendências a retrogradação. O amido do genótipo 'FHIA 18' revelou atuação diferente em relação aos amidos dos genótipos acima citados.

Os amidos de bananas verdes apresentam relevância e potencial de uso em substituição aos amidos usualmente utilizados na indústria por seus atributos reológico e

morfológico, produzindo alimentos viscosos aos 70°C e consistentes ao resfriamento. Sua produção potencializaria o mercado de amiláceos e diminuiria o desperdício de bananas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSAR, N.; SARKER, M. Z. I.; TAKIGAWA, S.; HASHIMOTO, N.; MATSUURA- ENDO, C.; YAMAUCHI, H. Enzymatic hydrolysis of potato starches containing different amounts of phosphorus. **Food Chemistry**, v. 112, n. 1, p. 57-62. 2009.

AGAMA-ACEVEDO, E.; NUÑEZ-SANTIAGO, M. C.; ALVAREZ-RAMIREZ, J.; BELLO-PEREZ, L. A. Physicochemical, digestibility and structural characteristics of starches isolated from banana cultivars. **Carbohydrate Polymers**, v. 124, p. 17-24. 2015.

ALMEIDA, M. C. B. M. **Estudos para fins industriais das propriedades funcionais do amido nativo e modificado hidrotermicamente, provenientes de banana verde, variedade 'Prata'**. 2013. 126f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2013.

ALVES, E. J.; DANTAS, J. L. L.; SOARES FILHO, W. S.; SILVA, S. O.; OLIVEIRA, M. A.; SOUZA, L. S.; CINTRA, F. L. D.; BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; OLIVEIRA, S. L.; FANCELLI, M.; CORDEIRO, Z. J. M.; SOUZA, J. S. Banana para Exportação: aspectos técnicos da produção. Embrapa - SPI (Série Publicações Técnicas Frupex, 18). Rev. Brasília, 2 ed., p. 106, 1997. **Anuário Brasileiro de Fruticultura**. Editora Gazeta Santa Cruz, Santa Cruz do Sul, p. 136, 2009.

AMARAL, L. **Banana 'Maçã' gera nova perspectiva no campo**. 2014. Disponível em: <<http://www.goiasagora.go.gov.br/banana-maca-gera-nova-perspectiva-no-campo/>>. Acesso em 21 jul. 2015.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEM - ISTS. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. Saint Paul, v. 1, 1983. AGRIANUAL 2010: anuário da agricultura brasileira. AgraFNP, São Paulo, p. 520, 2010.

AOAC INTERNATIONAL. **AOAC - Official methods of analysis of AOAC International**. 18th edition - Gaithersburg. Current Through Revision 2, 2007.

BALAGOPALAN, C. et al. Properties of cassava starch. In: CASSAVA IN FOOD, FEED AND INDUSTRY, **CRC Press**, 1988, p.116-126.

BELLO-PÉREZ, L. A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, L.; PAREDES-LÓPEZ, O. Isolation and Partial Characterization of Banana Starches. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 47, p. 854 - 857. 1999.

_____, L. A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; SAYAGO-AYERDI, S. G.; MORENO- DAMIAN, E.; FIGUEROA, J. D. C. Some structural, physicochemical and functional studies of banana starches isolated from two varieties growing in Guerrero, Mexico. **Starch/Stärke**, v. 52, p. 68-73. 2000.

BICUDO, S. C. W. **Caracterização de amidos nativos de diferentes fontes botânicas através de técnicas termooanalíticas e teor de amilose**. 2008. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BILIADERIS, C. G. The structure and interactions of starch with food constituents. **Canadian Journal Physiology Pharmacology**, Birmingham, v. 69, n. 1, p. 60-78. 1991.

BJÖRCK, I. et al. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 59 (suppl), p. 699S-705S. 1994.

BLENNOW, A. et al.. The distribution of covalently bound phosphate in the starch granule in relation to starch crystallinity. **International Journal of Biological Macromolecules**, Maryland Heights, v. 27, n. 3, p. 211-218. 2000.

BLENNOW A., NIELSEN T. H., BAUNSGAARD L., MIKKELSEN R., ENGELSEN S. B. Starch phosphorylation: a new front line in starch research. **Trends Plant Sci**, v. 7, p. 445-450. 2002.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução a química de alimentos**. Editora Varela, São Paulo, 2 ed., p. 223, 1995.

BORGES, M. T. M. R. **Potencial vitamínico de banana-verde e produtos derivados**. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; LUCENA, E. M. P. Caracterização da farinha de banana verde. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 29(2): 333-339, abr.-jun. 2009.

BRASIL. Resolução RDC nº263, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 de setembro de 2005.

BUENO, G.; BACCARIN J. G. Participação das principais frutas brasileiras no comércio internacional: 1997 a 2008. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, jun. 2012.

BÚLEON, A.; COLONNA, P.; PANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis - Mini review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, n. 2, p. 85-112. 1998.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p.1006-1018. 2002.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2º ed. rev. Campinas/SP: Editora da UNICAMP, 2003. 207p.

COLONNA, P.; LELOUP, V.; BULÉON, A. Limiting factors of starchhydrolysis. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 46, n. 2, p. 17-32. 1992.

COOKE, D.; GIDLEY, M. J. Loss of crystallinity and molecular order during starch gelatinization: origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**, n. 227, p. 103-112. 1992.

CORDEIRO, Z. J. M. **Cultivo da Banana para o Estado de Rondônia: cultivares**. EMBRAPA, 2003. Disponível em: <sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaRondonia/cultivares.htm>. Acesso em 23 dez. 2013.

CORDENUNSI, B. R.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. Utilização de novas técnicas de microscopia na caracterização do amido. **Carboidratos em Alimentos Regionales Iberoamericanos**. Editora da USP, São Paulo, p. 646, 2006.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1 - 11. 2009.

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. 2009.

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

EGGLESTON, G.; SWENNEN, R. AKONI, S. Physicochemical studies on starches isolated from plantain cultivars, plantain hybrids and cooking bananas. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 44, p. 121-128. 1992.

ELIASSON, A. C. **Carbohydrates in food**. New York: Marcel Dekker, 1996. 664p.

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

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: EMBRAPA, p. 306, 2006.

_____- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema de Produção da Bananeira Irrigada: Variedades**. 2009. Disponível em: <sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananeiraIrigada/cultivares.htm>. Acesso em 17 jun. 2014.

_____- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Mandioca e Fruticultura**, 2011. Disponível em: <www.cnpmf.embrapa.br/planilhas/Bananas_Mundo_2011.pdf>. Acesso em 23 Dez. 2013.

ENGLYST, H. N.; CUMMINGS, J. H. Digestion of the carbohydrate of banana (*Musa Paradisiaca Sapientum*) in the human small intestine. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 44, p. 42 - 50. 1986.

_____, H. N., KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46 (Supl. 2), p. S33 - S50. 1992.

FAISANT, N.; BULÉON. 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**, v. 73, p. 111 - 123. 1995.

_____, N.; BULÉON. A.; COLONNA, P.; MOLIS C, LARTIGUE, S.; GALMICHE, J. P, CHAMP, M. Resistant starch determination adapted to products containing high level of resistant starch. **Science des Aliments**, v. 15, p. 83-89. 1995.

FANCELLI, M. **Cultivo da Banana para o Estado do Amazonas**: cultivares. EMBRAPA, 2003. Disponível em: <sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaAmazonas/cultivares.htm>. Acesso em 23 Dez. 2013.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN - FAO. **Bananos**. Disponível em: <faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em 23 Dez. 2013.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas** . Lavras: UFLA/FAEPE, p. 183, 2005.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DO PARANÁ (FAEP) . **Cartilhas de classificação**. Disponível em: <www.faep.com.br>. Acesso em: 25 fev. 2013.

FERNÁNDEZ-MUÑOZ, J. L. et al. Effect of calcium content in the corn flour on RVA profiles. **Journal of Food Engineering**, London, v. 102, n. 1, p. 100-103. 2011.

FETTKE, J., HEJAZI, M., SMIRNOVA, J., HÖCHEL, E., STAGE, M.; STEUP, M. Eukaryotic starch degradation: Integration of plastidial and cytosolic pathways. **J. Exp. Bot.**, v. 60, p. 2907-2922. 2009.

FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. R.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. Propriedades gerais do amido. In: **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, p. 224, 2001.

_____, C. M. L.; WONG, K. S.; YOO, S.; JANE, J. Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. **Cereal Chemistry**. Saint Paul, v. 79, n. 2, p. 243-248. 2002.

FREITAS, M. C. J.; TAVARES, D. de Q. Caracterização do grânulo de amido de bananas (*Musa* AAA-NANICÃO E *Musa* AAB-TERRA). *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 25, n. 2, p. 217-222, abr-jun. 2005.

FREITAS, T. S.; LEONEL, M. Amido resistente em fécula de mandioca extrusada sob diferentes condições operacionais. **Alim. Nutr.**, Araraquara v. 19, n. 2, p. 183-190, abr./jun. 2008.

GALLANT, O. J.; BEWA, H.; BUY, Q. H.; BOUCHET, B.; SZYLIT, O.; SEALY, L. On ultrastructural and nutritional aspects of some tropical tuber starches. **Starch/Stärke**, v. 34, n. 8, p. 255-262. 1982.

_____, O. J.; BOUCHET, B.; BÚLEON, A.; PEREZ, S. Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymic degradation. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46 (Suppl 2), p. S3 - S16. 1992.

_____, O. J.; BOUCHET, P.; BALDWIN, P. M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization, **Carbohydrate Polymers.**, v. 32, p. 177-191. 1997.

GERLOFF, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition In: **New York. Springer**. Verlag, p. 453-480, 1983.

GÉRARD, C.; BARRON, C. P.; PLANCHOT, V. Amylose determinations in genetically modified starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 44, p. 19-27. 2001.

GOMES, R. P. Adubos e adubação. Editora São Paulo: **Nobel**, 7 ed., p. 178, 1978.

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

GRANT, C. A.; PLATEN, D. N.; TOMAZIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, n. 95, set. 2001.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, n. 3, p. 253-267. 2001.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola** - LSPA - Janeiro 2013. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201301.pdf>. Acesso em 23 dez. 2013.

_____. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PAM 2013**: Com preços convidativos, Brasil tem mais uma safra recorde de grãos em 2013. Disponível em: <censo2010.ibge.gov.br/pt/noticias?view=noticia&id=1&idnoticia=2794&busca=1&t=pa_m-2013-precos-convidativos-brasil-tem-mais-uma-safra-recorde-graos>. Acesso em 16 jun. 2014.

_____. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola** -LSPA -Maio 2015. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201505.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201505.pdf)>. Acesso em 7 jul. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS - IBRAF. **Comparativo das exportações brasileiras de frutas frescas**. 2011. Disponível em: <www.ibraf.org.br/estatisticas/Exportação/Comparativo_das_Exportações_Brasileiras_de_Frutas_frescas_2010-2009.pdf> Acesso em 1 fev. 2013.

ISO. International Organization for Standardization. **Norme internationale**: Riz-détermination de la teneur en amylose. S. l., 1987. 5 p. ISO 66470.

IZIDORO, D. R. **Influência do pré-tratamento com ultra-som e da secagem nas propriedades químicas, físicas e funcionais do amido de banana verde**. 2011. 201f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

JACOBS, H.; DELCOUR, J. A. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 2895-2905. 1998.

JANE, J.; KASEMSUWAN, T.; LEAS, S.; ZOBEL, H.; ROBYT, J. F. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. **Starch/Stärke**, v. 46, p. 121- 129. 1994.

_____, J. ; CHEN, Y. Y.; LEE, L. F.; McPHERSON, A. E.; WONG, K. S.; RADOSAVLJEVIC, M.; KASEMSUWAN, T. Effects of amylopectin branch length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 5, p. 629-637. 1999.

_____, J. Current understanding on starch granule structure. **Journal of Applied Glycoscience**, Tokyo, v. 53, n. 3, p. 205-213. 2006.

KARIM, A.; NORZIAH, M. H.; SEOW, C. C. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chemistry**, Whiteknights, v. 71, n. 1, p. 9-36, 2000.

KAYISU, K.; HOOD, L. F. Molecular structure of banana starch. **Journal of Food Science**, n. 46, p. 1894-1897. 1981.

KÖTTING O.; PUSCH K.; TIESSEN A.; GEIGENBERGER P.; STEUP M.; RITTE G. Identification of a novel enzyme required for starch metabolism in Arabidopsis leaves: the phosphoglucan, water dikinase (PWD). **Plant. Physiol.**, v. 137, p. 242-252. 2005.

LAWAL, O. S.; LAPASIN, R.; BELLICH, B.; OLAYIWOLA, T. O.; CESÀRO, A; YOSHIMURA, M., et al. Rheology and functional properties of starches isolated from five improved rice varieties from West Africa. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1785-1792. 2011.

LEACH, H. W.; McCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v. 36, n. 6, p. 534-544. 1959.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciênt. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 579-588, jul-set. 2007.

_____, M.; MISCHAN, M. M.; FILHO, J. D.; LEONEL, S. Efeito de parâmetros de extrusão sobre as propriedades físicas de extrusados de banana e mandioca. **Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng.**, Ponta Grossa, 14 (1): 51-58, abr. 2008.

_____, 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, p. 599-605, out. 2011.

LI, J. H. et al. Starch from hull-less barley: V. In vitro susceptibility of waxy, normal, and high-amylose starches towards hydrolysis by alpha-amylases and amyloglucosidases. **Food Chemistry**, v. 84, p. 621-632. 2004.

LII, C. Y.; CHANG, S. M.; YOUNG, Y. L. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. **Journal of Food Science**, v. 47, p. 1493-1497. 1982.

LIM, S. T.; KASEMSUWAN, T.; JANE, J. L. Characterization of phosphorous in starch by P-31 nuclear magnetic-resonance spectroscopy. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 5, p. 468- 472. 1994.

LIMA, B. N. B.; CABRAL, T. B.; NETO, R. P. C.; TAVARES, M. I. B; PIERUCCI, A. P. T. Estudo do amido de farinhas comerciais comestíveis. **Polímeros**, vol. 22, n. 5, p. 486- 490. 2012.

LINDEBOOM, N. et al. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. **Starch/Stärke**, v. 56, p. 89-99. 2004.

LING, L. H.; OSMAN, E. M.; FERNANDES, J. B.;REILLY, P. J. Physical properties of starch from cavendish banana fruit. **Starch/Stärke**, n. 34, p. 184-188. 1982.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

_____, E.; HAAG; H. P.; MELLO, F. A. P. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo, Ed. Pioneira, 1974. 727 p.

MILES, M. J.; MORRIS, V. J.; ORFOPD, P. D.; RING, S. G. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. **Carbohydrate Research**, v. 135, p. 271-281. 1985.

MOORTHY, S. N. **Tuber Crop Starches**. 2.ed. Thiruvananthapuram: Central Tuber Crops Research Institute, 2001. 52p.

MOREIRA, R. S. Nossa Nanica está garantida. **Revista Rural**, n. 63, mar/2003. Disponível em: <www.revistarural.com.br/Edicoes/2003/Artigos/rev63_nanica.htm>. Acesso em 23 dez. 2013.

MORIKAWA, K.; NISHINARI, K. Effects of concentration dependence of retrogradation behaviour of dispersions for native and chemically modified potato starch. **Food Hydrocolloids**, v. 14, p. 395-401. 2000.

MORRISON, W. R. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. **Cereal Food World**, v. 40, p. 437-446. 1995.

MV - MINHA VIDA. **Os poderes da banana verde**. Disponível em: <www.minhavidacom.br>. Acesso em 29 jun. 2010.

NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch/Stärke**, v. 35, p. 407-410. 1983.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 153, n. 2, p. 375-380. 1944.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 4**: instructions manual. Warriewood, p. 42, 1998.

NODA, T.; KOTTEARACHCHI, N. S.; TSUDA, S.; MORI, M.; TAKIGAWA, S.; MATSUURA-ENDO, C.; KIM, S. J.; HASIMOTO, N.; YAMAUCHI, H. Starch phosphorus content in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars and its effect on other starch properties. **Carbohydrate polymers**, v. 68, p. 793-796. 2007.

NÚÑEZ-SANTIAGO, M. C.; BELLO-PÉREZ, L. A.; TECANTE, A. Swelling-solubility characteristics, granule size, distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 65-75. 2004.

NWOKOCHA, L. M.; AVIARA, N. A.; SENAN, C.; WILLIAMS, P. A. A comparative study of some properties of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) and cocoyam (*Colocasia esculenta*, Linn) starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 76, p. 362- 367. 2009.

_____, L. M.; WILLIAMS, P. A. Some properties of white and yellow plantain (*Musa paradisiaca*, Normalis) starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 76, p. 133- 138. 2009.

OATES, C. G. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in Food Science & Technology**, v. 8, p. 375-382. 1997.

OLIVEIRA, C. A. P.; SOUZA, C. M. Influência da cobertura morta na umidade, incidência de plantas daninhas e de broca-dorizoma (*Cosmopolites sordidus*) em um pomar de bananeiras (*Musa* spp.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, p. 345-347. 2003.

PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v. 34, p. 1-17. 2001.

PEPE, L. S. **Impacto do tratamento térmico com baixa umidade sobre as características físico-químicas e reológicas de amidos de mandioca, araruta e mandioquinha-salsa**. 2011. 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, 2011.

PEREIRA, K. D. Amido resistente, a última geração no controle de energia e digestão saudável. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 27(supl.): 88-92, ago. 2007.

PERONI, F. H. G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2003.

LIU, Q.; DONNER, E.; TARN, R.; SINGH, J.; HYUN-JUNG CHUNG. Advanced analytical techniques to evaluate the quality of potato and potato starch. In: JASPREET SINGH e LOVEDEEP KAUR. **Advances in Potato Chemistry and Technology**. 1 ed. New Zealand: Editora Academic Press, 2009. cap. 8, p. 221-248.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.

_____, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: FUNDAG, 1997. 285 p.

RAMOS, D. P.; LEONEL, M.; LEONEL, S. Resistant starch in green banana flour. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v. 20, n. 3, p. 479-483, jul./set. 2009.

RATNAYAKE, W. S.; HOOVER, R.; WARKENTIN, T. Pea starch: Composition, structure and properties - a review. **Starch/Stärke**, v. 54, p. 2170234. 2002.

RICKARD, J. E.; ASAOKA, M.; BLANSHARD, J. M. V. The physicochemical properties of cassava starch. **Tropical Science**, v. 31, p. 189-207. 1991.

RITTE G.; LLOYD J. R.; ECKERMANN N.; ROTTMANN A.; KOSSMANN J.; STEUP M. The starch-related R1 protein is an α -glucan, water dikinase. **Proc. Natl. Acad. Sci., USA**, v. 99, p. 7166-7171. 2002.

ROCHA, T. S.; DEMIATE, I. M.; FRANCO, C. M. L. Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciê. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 620-628, jul-set. 2008.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. Resistant starch - a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 5, p. 1-17. 2006.

SATIN, M. **Functional properties of starches**. In: International Symposium on Tropical Root and Tuber Crops, Thiruvananthapuram (Trivandrum), 2000.

SERRANO, P. O.; FRANCO, C. M. L. Modificações hidrotérmicas ("Annealing") e hidrólise enzimática do amido de mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, p. 220-232. 2005.

SCHOCH, T. J. Swelling power and solubility of granular starches, In: **Methods in Carbohydrate Chemistry**. New York, Starch. Ed., Academic Press, v. 4, p. 106, 1964.

SHAMAI, K.; BIANCO-PELED, H.; SHIMONI, E. Polymorphism of resistant starch type III, **Carbohydrate Polymers**, v. 54, p. 363-369. 2003.

SILVA, S. O.; SANTOS-SEREJO, J. A.; CORDEIRO, Z. J. M. Variedades. In: BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. (Eds.). **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, p. 45-58, 2004.

SILVEIRA, J.; GALESKAS, H.; TAPETTI, R.; LOURENCINI, I. Quem é o consumidor brasileiro de frutas e hortaliças. **Hortifruti Brasil**, p. 8-23, 2011. Disponível em: <www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/103/mat_capa.pdf>

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

SINGH, J.; KAUR, L.; MCCARTHY, O. J. **Potato Starch and its Modification**. Cap. 10, p. 273, 2009.

TEIXEIRA, M. A.V.; CIACCO, C. F.; TAVARES, D. Q.; BONEZZI, A. N. Ocorrência e caracterização do amido resistente em amidos de milho e de banana. **Ciê. Tecnol. Aliment.**, v. 18, n. 2, p. 246-252. 1998.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, n. 39, v. 1, p. 151-165. 2004.

_____, R. F. Starch: The polysaccharide fractions. In: FRAZIER, P. J.; RICHMOND, P.; DONALD, A. M. **Starch: Structure and Functionality**. London: Royal Society of Chemistry, 1997. p.163-171.

_____, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal Chemistry**, v. 67, p. 551-557. 1990.

THARANATHAN, R. N. Food-derived carbohydrates - Structural complexity and functional diversity. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, p. 65-84. 2002.

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

TOMASIK, P. **Chemical and functional properties of food Saccharides**. Boca Raton: CRC Press, 2004.

TONGDANG, T.; SAASAGUL, T. Some properties of banana starches extracted from two varieties. In: Conference on Starch Technology, 3, 2005, Bangkok/Thailand. **Proceedings of Starch Update**, p. 199-200.

TORRE-GUTIÉRREZ, L.; CHEL-GUERRERO, L. S.; BETANCUR-ANCONA, D. Functional properties of square banana (*Musa balbisiana*) starch. **Food Chemistry**, n. 106, p. 1138-1144. 2008.

TSAI, M. L.; LI, C. F.; LII, C. Y. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 6, p. 750-757. 1997.

UNIVERSIA. **Projeto busca saída para o desperdício da banana**, 4 jan. 2005. Disponível em: <noticias.universia.com.br/> Acesso em 21 ago. 2013.

UTRILLA-COELLO, R. G.; RODRÍGUEZ-HUEZO, M. E.; CARRILLO-NAVAS, H.; HERNÁNDEZ-JAIMES, C.; VERNON-CARTER, E. J.; ALVAREZ-RAMIREZ, J. In vitro digestibility, physicochemical, thermal and rheological properties of bananas starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 154-162. 2014.

VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, p. 245-266. 2004.

VATANASUCHART, N.; NIYOMWIT, B.; WONGKRAJANG, K. Resistant starch content, in vitro starch digestibility and physico-chemical properties of flour and starch from Thai bananas. **Maejo Int. J. Sci. Technol.**, v. 6, n. 2, p. 259-271. 2012.

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

WHISTLER, R. L.; BeMILLER, J. N. Starch. In WHISTLER, R. L.; BeMILLER, J. N. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. AACC. St Paul: Eagan Press, 1997. p. 117-151.

WU, H. C. H.; SARKO, A. The double-helical molecular structure of crystalline A- amylose. **Carbohydrate Research**, v. 61, p. 27-40. 1978.

YONEMOTO, P. G.; CALORI-DOMINGUES, M. A.; FRANCO, C. M. L. Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo. **Ciêñ. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 761-771, out-dez. 2007.

YU, L.; CHRISTIE, G. Measurement of starch thermal transitions using differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, n. 2, p. 179-184. 2001.

ZHANG, P.; WHISTLER, R. L. Isolation of starch and hemicellulose from green bananas. Boston, MA. **Anais do 22º American Chemical Society National Meeting**, 2002.

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

ZHANG, G.; VENKATACHALAM, M.; HAMAKER, B. R. Structural basis for the slow digestion property of native cereal starches. **Biomacromolecules**, v. 7, p. 3259-3266. 2006.

ZOBEL, H. F.; YOUNG, S. N.; ROCCA, L. A. Starch Gelatinization: An X-ray Diffraction Study. **Cereal Chem.**, v. 65, n. 6, p. 443-446. 1988.

ZONG-QIANG FU; LI-JUN WANG; DONG LI; BENU ADHIKARI. Effects of partial gelatinization on structure and thermal properties of corn starch after spray drying. **Carbohydrate Polymers**, v. 88, p. 1319-1325. 2012.