

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO

Caracterização físico-química de farinha mista de milho e pupunha (*Bactris gasipaes*) obtida por extrusão

GABRIELA JARDIM BASTO

2013



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE FARINHA MISTA DE
MILHO E PUPUNHA (*BACTRIS GASIPAES*) OBTIDA POR EXTRUSÃO**

GABRIELA JARDIM BASTO

Sob a Orientação do Professor
CARLOS WANDERLEI PILER DE CARVALHO

e Co-orientação do Pesquisador
ANTONIO GOMES SOARES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção de grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ
Abril de 2013

664.8
B327c
T

Basto, Gabriela Jardim, 1986-
Caracterização físico-química de farinha
mista de milho e pupunha (*Bactris gasipaes*)
obtida por extrusão / Gabriela Jardim
Basto. - 2013.
105 f.: il.

Orientador: Carlos Wanderlei Piler de
Carvalho.

Dissertação (mestrado) - Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos, 2013.

Bibliografia: f. 77-93.

1. Pupunheira - Processamento - Teses.
2. Pupunheira - Composição - Teses. 3.
Milho - Processamento - Teses. 4. Farinhas
- Composição - Teses. 5. Processo de
extrusão - Teses. 6. Carotenóides - Teses.
7. Tecnologia de alimentos - Teses. I.
Carvalho, Carlos Wanderlei Piler de, 1967-
II. Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência
e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

DEDICATÓRIA

A minha mãe Ana Alice, minha maior incentivadora, por sempre acreditar em mim e me apoiar incondicionalmente, por estar presente em todos os momentos, mas principalmente pelo amor, amizade, carinho, paciência, compreensão e não ter medido esforços para me ajudar na realização dos meus sonhos.

Aos meus avós maternos Aceguá e Wilma (*in memoriam*), meus grandes exemplos de dedicação, superação, perseverança e empenho, por sempre me incentivarem a traçar meus objetivos e ir atrás com vontade e determinação.

Ao meu irmão Lucas pelo estímulo, ajuda, admiração e por acreditar em mim.

Aos meus cãezinhos Sasá e Elvis pelo amor incondicional, companheirismo e todos os momentos de alegria.

A minha família por toda a torcida, incentivo e ajuda na minha realização profissional.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me amparar e me dar força, calma, perseverança, saúde e paz para superar todas as adversidades que surgiram ao longo destes anos.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de realização do curso e pelo conhecimento adquirido nestes dois anos. E à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo durante todo o mestrado.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos pelas instalações cedidas para a execução deste trabalho.

Ao Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho por aceitar me orientar e pela paciência, durante a realização deste trabalho.

Ao Dr. Antonio Gomes Soares pelo projeto, conhecimentos, estímulo e ajuda dedicados a mim.

Aos técnicos, analistas e pesquisadores da Embrapa, principalmente ao Dr. Marcos Fonseca, pela oportunidade de estágio, Henriqueta, Agnelli, seu Marco, Caetano, Rodrigo, Filé, Mariana, Adriana, Cláudia e Zé por toda solicitude, presteza, amizade, carinho, ajuda durante todos os anos de estágio e mestrado.

Aos estagiários, bolsistas e amigos Thayana, Adriana, Alexandra, Luiz Felipe, Emerson, Diego, Caroline e Luciana por terem me ajudado na realização das análises e por todos os momentos de risadas e descontração.

Ao Thales, companheiro de uma década e grande amigo, por ser ter sido meu porto seguro, pelas inúmeras ajudas em trabalhos, pelo carinho, amor, paciência, consideração, enfim, tudo de melhor que as pessoas podem nos somar, eu recebi de você.

Ao Juan Ruano pela hospedagem, carinho, ajuda, apoio e amizade durante estes anos de mestrado, mas que continuará.

As amigas que ganhei durante o mestrado Marcela, Isabella, Nathália, Ellen, Luana e Thaísa, por terem feito meus dias na UFRRJ e em Seropédica únicos e muito mais divertidos, além de todo carinho, preocupação e ajuda.

A todos os meus amigos Natália Pinto, Caroline, Maria Carolina, Renata, Gustavo, Vanessa, Antônio, Andressa, dentre outros, que estão presente, nos momentos bons e difíceis, em todas as etapas de minha vida, há quase 20 anos. E aos amigos mais recentes que têm contribuído com carinho e preocupação incansáveis, em especial a Tamires, sei que são para sempre.

Muito Obrigada por tudo!

“Sonhar mais um sonho impossível, Lutar quando é fácil ceder,
Vencer o inimigo invencível, Negar quando a regra é vencer
Sofrer a tortura implacável, Romper a incabível prisão
Voar num limite impossível, Tocar o inacessível chão
È minha lei, minha questão
Virar esse mundo, cravar esse chão
Não me importa saber se é território demais
Quantas guerras terei de vencer por um pouco de paz
E amanhã se esse chão que beijei for meu leito e perdão
Vou saber que valeu delirar e morrer de paixão
E assim, seja lá como for vai ter fim a infinita aflição
E o mundo vai ver uma flor brotar do impossível chão.”

(J. Darion)

RESUMO

BASTO, Gabriela Jardim. Caracterização físico-química de farinha mista de milho e pupunha (*Bactris gasipaes*) obtida por extrusão. 93p. 2013. Dissertação (Programa em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

Palmeira nativa da Amazônia, a pupunheira produz frutos que podem ser aproveitados na alimentação por serem ricos em carotenoide e fibras alimentares, através da transformação em farinha pelo processo de extrusão termoplástica. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o fruto da pupunha e desenvolver por extrusão termoplástica farinhas pré-gelatinizadas, bem como analisar suas características físicas e tecnológicas. As concentrações de farinha de pupunha adicionada, seja amarela ou vermelha, foram de 0, 15 e 25%. As misturas foram processadas em extrusora dupla rosca Clextral Evolum 25 HT (Firminy, França). Os parâmetros utilizados foram: perfil de temperatura das 10 zonas de aquecimento: 30, 50, 80, 90, 90, 100, 100, 100, 130, 130°C; rotação dos parafusos a 400 rpm; umidade de processamento de 16% e variação quanto a vazão de água. Foram realizadas análises de composição centesimal, cor, teor e perfil de carotenoides das amostras in natura e das misturas antes e após a extrusão. Além de índices de expansão, densidade aparente, microscopia eletrônica de varredura, avaliação por imagem, difração de raios X, índices de solubilidade e absorção em água e propriedades viscoamilográficas dos tratamentos antes e após a extrusão. As farinhas de pupunha amarela e vermelha são compostas principalmente por carboidratos (79,97 e 78,59 g/100 g de produto, respectivamente) e óleo (13,46 e 15,4 g/100 g de produto, respectivamente). A polpa de pupunha vermelha apresentou cerca de 4,9 vezes mais carotenoides totais (29085,69 mg/100 g) do que a polpa amarela (5963,32 mg/100 g). Já as farinhas vermelha e amarela obtiveram teores de 8843,33 mg e 3207,21 mg/100g do produto, respectivamente, com perdas de 46% para a polpa amarela e 69% para a polpa vermelha, após a desidratação. A zeaxantina foi o maior composto no T1 e as demais formulações apresentaram o β -caroteno com o maior teor de carotenoide, assim como as polpas e farinhas dos frutos. A luteína, zeaxantina e β -criptoxantina obtiveram maiores teores após a extrusão e as demais frações não apresentaram diferença entre os tratamentos antes e após a extrusão. A coloração das farinhas foi afetada com a extrusão devido a reações de escurecimento não enzimático. A microscopia eletrônica de varredura mostrou diferenças entre as amostras cruas do T1 e dos demais tratamentos. Os valores de índice de expansão radial variaram de 3,83 a 6,06, sendo o maior valor para o T1, e entre as formulações adicionadas de pupunha o T4, o mesmo foi verificado através da imagem por *scanner*. O índice de expansão longitudinal variou de 1,05 a 1,08 e o índice de expansão volumétrico de 4,00 a 6,53, com diferenças significativas para as amostras com menos porcentagem de pupunha adicionada. As condições de elevada rotação do parafuso, baixa umidade e adição de material rico em óleo e fibra foram fundamentais na obtenção de produtos com maior índice de absorção, o qual variou de 4,06 a 7,69, onde o menor foi para o tratamento com apenas milho e viscosidade a quente com maiores valores para as formulações com menor porcentagem de pupunha. O processamento por extrusão não afetou negativamente a qualidade das frações e teor dos carotenoides identificados. As farinhas extrudadas de milho e pupunha apresentaram características para uso na elaboração de sopas cremosas e mingaus.

Palavras-chave: Cisalhamento mecânico. Carotenoides. Farinhas pré-gelatinizadas.

ABSTRACT

BASTO, Gabriela Jardim. Physico-chemical characterization of mixed flour corn and peach palm (*Bactris gasipaes*) obtained by extrusion. 2013. 93p. Dissertation (Master in Food Science and Technology). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

Palm tree native in the Amazon, the peach palm produces fruit can be availed in food because they are rich in dietary fiber and carotenoid through processing into flour by extrusion cooking process. The aim of this study was to characterize the developing fruit of peach palm and developing thermoplastic extrusion pre-gelatinized flour, as well as analyze their physical and technical characteristics. The concentrations of peach palm flour added, either yellow or red, were 0, 15 and 25%. The blends were processed in a twin screw extruder Cletral Evolum 25 HT (Firminy, France). The parameters used were: temperature profile of the 10 heat zones: 30, 50, 80, 90, 90, 100, 100, 100, 130, 130 ° C; rotation of the screws at 400 rpm; humidity of processing 16% and variation in the water flow. Analyses of chemical composition, color, carotenoid content and profile of the fresh samples and mixtures before and after extrusion. Besides expansion index, bulk density, scanning electron microscopy, imaging evaluation, X-ray diffraction, rates of absorption and water solubility in water and viscoamylographic properties of the treatments before and after extrusion. The yellow and red peach palm flour are composed primarily of carbohydrates (79.97 and 78.59 g/100 g of product, respectively) and oil (13.46 and 15.4 g/100 g of product, respectively). The red pulp of peach palm showed about 4.9 times more total carotenoids (29085.69 mg/100 g) than the yellow flesh (5963.32 mg/100 g). Already red and yellow flours were obtained contents 8843.33 mg and 3207.21 mg/100 g, respectively, with losses of 46% for yellow pulp and 69% to red pulp, after dehydration. Zeaxanthin was the major compound in the T1 and all other formulations showed the β -carotene with the highest content of carotenoid, as well as flour and pulp fruits. Lutein, zeaxanthin and β -cryptoxanthin had higher levels after extrusion and the other fractions did not differ between treatments before and after extrusion. The color of the flour was affected with extrusion due to non-enzymatic browning reactions. The scanning electron microscopy showed differences between the raw samples of T1 and the other treatments. The values of radial expansion index ranged from 3.83 to 6.06, the highest value for T1, and between formulations added peach palm T4, the same was observed by using image scanner. The longitudinal expansion index ranged from 1.05 to 1.08 and the volumetric expansion ratio from 4.00 to 6.53, with significant differences for samples with less percentage of peach palm added. The conditions of high screw speed, low humidity and adding material rich in oil and fiber were fundamental in obtaining products with higher absorption rate, which ranged from 4.06 to 7.69, which was the lowest for treatment with only corn and hot viscosity with higher values for formulations with a lower percentage of peach palm. The extrusion did not negatively affect the quality and content of the fractions identified carotenoids. The extruded flour of corn and peach palm showed characteristics for use in the preparation of creamy soups and porridges.

Keywords: Mechanical shearing. Carotenoids. Pre-gelatinized flour.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Valores de carotenoides totais da e polpa e farinha dos frutos de pupunha amarelo e vermelho após desidratação	28
Tabela 2 Conteúdo e identificação dos carotenoides presentes no fruto e na farinha de pupunha amarela e vermelha	29
Tabela 3 Caracterização físico-química de farinhas de pupunha	34
Tabela 4 Caracterização físico-química das farinhas mistas de pupunha e milho antes da extrusão	35
Tabela 5 Caracterização físico-química das farinhas mistas extrudadas	36
Tabela 6 Valores de carotenoides totais dos diferentes tratamentos antes e após extrusão e com e sem processo de saponificação	42
Tabela 7 Conteúdo e identificação dos carotenoides presentes no fruto cru e na farinha de pupunha	44
Tabela 8 Conteúdo e identificação dos carotenoides presentes nas misturas de farinha de milho e farinha de pupunha antes e após extrusão	46
Tabela 9 Cor instrumental da polpa de pupunha amarela e vermelha	51
Tabela 10 Cor instrumental da farinha de pupunha amarela e vermelha	52
Tabela 11 Cor instrumental das farinhas mistas antes do processo de extrusão	53
Tabela 12 Cor instrumental das farinhas solúveis extrudadas	54
Tabela 13 Índices de expansão das formulações extrudadas	56
Tabela 14 Determinação da cristalinidade de farinha de milho adicionada de pupunha antes e após o processamento por extrusão	61
Tabela 15 Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção em Água (IAA) das farinhas cruas de milho e pupunha	66
Tabela 16 Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção em Água (IAA) das farinhas extrudadas de milho e pupunha	66
Tabela 17 Resultados da caracterização de viscosidade de pasta das farinhas mistas extrudadas de milho e frutos da pupunha	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Pupunheira	2
Figura 2 Aspecto interno e externo do fruto da pupunheira	4
Figura 3 Curvas de secagem	9
Figura 4 Estrutura química de alguns carotenoides	12
Figura 5 Esquema simplificado de um extrusor mono rosca	14
Figura 6 Zonas de alimentação, compressão e cocção	15
Figura 7 Pupunha após ser triturada e despolpada, amarela (A) e vermelha (B)	18
Figura 8 Amostras dispostas em bandejas na estufa para secagem	18
Figura 9 Extrusora dupla rosca, marca Clextral Evolum 25 HT (Firminy, França)	19
Figura 10 Painel de comandos da extrusora Clextral Evolum 25 HT (Firminy, França)	20
Figura 11 Extrudado de farinha de milho e pupunha saindo da matriz da extrusora	20
Figura 12 Formato dos extrudados à base de misturas de farinha de milho e pupunha	21
Figura 13 Fluxograma do processo de obtenção das farinhas pré-cozidas e análise	26
Figura 14 Carotenoides totais da polpa e farinha desidratada a diferentes temperaturas do fruto de pupunha amarela e vermelha	28
Figura 15 Cromatograma dos carotenoides da polpa de pupunha amarela, faixa de 450 nm	30
Figura 16 Cromatograma dos carotenoides da polpa de pupunha vermelha, faixa de 450 nm	30
Figura 17 Cromatograma dos carotenoides da farinha de pupunha amarela a 50 °C, faixa de 450 nm	31
Figura 18 Cromatograma dos carotenoides da farinha de pupunha vermelha a 50 °C, faixa de 450 nm	31
Figura 19 Composição centesimal dos frutos de pupunha utilizados, em % peso fresco	33
Figura 20 Teor de carotenoides totais da polpa e farinha dos frutos de pupunha, antes e após processo de saponificação	39
Figura 21 Cromatograma dos carotenoides do T1 antes da extrusão, faixa de 450 nm	46

Figura 22 Cromatograma dos carotenoides da mistura de farinha de milho e pupunha (T2) antes da extrusão, faixa de 450 nm	47
Figura 23 Cromatograma dos carotenoides da farinha mista de milho e pupunha (T5) extrudada, faixa de 450 nm	48
Figura 24 Efeito do processamento por extrusão na fração de luteína de todas as formulações testadas	48
Figura 25 Efeito do processamento por extrusão na fração de zeaxantina de todas as formulações testadas	49
Figura 26 Efeito do processamento por extrusão na fração de β -criptoxantina de todas as formulações testadas	49
Figura 27 Microfotografias das farinhas cruas: de milho crua (T1), aumento 2000x(A), de milho e 25% de pupunha amarela crua (T3), aumento de 1500x(B), de milho extrudada (T1), aumento 100x(C) e de milho e 15% de pupunha vermelha extrudada (T4), aumento de 100x(D)	57
Figura 28 Microfotografia da farinha de milho extrudada (T1), aumento de 3000x (A) e microfotografia da farinha mista de milho e 15% de pupunha amarela extrudada (T2), aumento de 1800x (B)	58
Figura 29 Microfotografia do extrudado de milho e 15% de pupunha vermelha (T4), aumento de 1000x	59
Figura 30 Corte radial dos expandidos de milho adicionados de farinha de pupunha mostrando a estrutura interna das células: (A) T1(milho); (B) T2(15% pupunha amarela); (C) T3(25% pupunha amarela); (D) T4(15% pupunha vermelha); (E) T5(25% pupunha vermelha)	60
Figura 31 Difrátogramas de raios X do T1 (100% milho), antes da extrusão e extrudado	62
Figura 32 Difrátogramas de raios X do T2 (15% pupunha amarela), antes da extrusão e extrudado	62
Figura 33 Difrátogramas de raios X do T3 (25% pupunha amarela), antes da extrusão e extrudado	63
Figura 34 Difrátogramas de raios X do T4 (15 % pupunha vermelha), antes da extrusão e extrudado	63
Figura 35 Difrátogramas de raios X do T5 (25% pupunha vermelha), antes da extrusão e extrudado	63
Figura 36 Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos tratamentos 1 (100% milho); 2 (15% pupunha amarela); 3 (25% pupunha amarela); 4 (15% pupunha vermelha); 5 (25% pupunha vermelha)	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Composição de diferentes tipos de fruto da pupunha	6
Quadro 2 Composição química de 17 amostras de frutos da pupunha colombianos	6

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1	Pupunheira.....	2
2.1.1	Botânica.....	3
2.1.2	Fruto e Farinha	5
2.2	Secagem.....	7
2.3	Milho	10
2.4	Carotenoides	11
2.5	Alimentos funcionais.....	13
2.6	Extrusão termoplástica	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1	Materiais.....	17
3.1.1	Obtenção das matérias primas	17
3.1.1.1	Frutos da pupunha.....	17
3.1.1.2	Milho.....	17
3.2	Métodos	17
3.2.1	Teste preliminar para processamento dos frutos	17
3.2.2	Produção da farinha do fruto da pupunha.....	17
3.2.3	Produção da farinha mista de milho e pupunha para extrusão	18
3.2.4	Processo de extrusão termoplástica	19
3.2.4.1	Condições do processo.....	19
3.2.4.2	Extrusão termoplástica.....	20
3.2.4.3	Processo de secagem.....	21
3.2.5	Caracterização Química da Matéria-Prima e das Farinhas Extrudadas.....	21
3.2.5.1	Composição centesimal	21
3.2.5.2	Determinação de pH e acidez	22
3.2.5.3	Glicose, Frutose e Sacarose	22
3.2.5.4	Teor de carotenoides totais e seu Perfil de carotenoides	22
3.2.6	Caracterização Física das Matérias Primas e das Farinhas Extrudadas.....	22
3.2.6.1	Análise de cor	22
3.2.6.2	Índices de expansão	23
3.2.6.3	Densidade aparente.....	23

3.2.6.4	Análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV)	24
3.2.6.5	Avaliação do extrudado por imagem	24
3.2.6.6	Análise de difração de raio X	24
3.2.7	Características Tecnológicas Funcionais das Farinhas Solúveis dos Extrudados	24
3.2.7.1	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	24
3.2.7.2	Viscosidade de pasta	25
3.3	Análise estatística	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Teor de carotenoides e Perfil com a secagem	27
4.2	Caracterização Química da Matéria-Prima e das Farinhas Extrudadas	32
4.2.1	Composição centesimal	32
4.2.2	Teor de carotenoides e Perfil	37
4.3	Caracterização Física da Matéria-Prima e das Farinhas Extrudadas.....	50
4.3.1	Análise de cor	50
4.3.2	Índices de expansão	54
4.3.3	Densidade aparente.....	56
4.3.4	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	56
4.3.5	Avaliação do extrudado por imagem.....	59
4.3.6	Difração de raio X	60
4.4	Caracterização Tecnológicas Funcionais das Farinhas Solúveis dos Extrudados.....	64
4.4.1	Índice de solubilidade em água (ISA) e Índice de absorção em água (IAA)	64
4.4.2	Viscosidade de pasta.....	68
4.4.2.1	Viscosidade de pasta inicial a 25 °C	69
4.4.2.2	Viscosidade de pasta máxima a 95 °C	70
4.4.2.3	Viscosidade de pasta mínima.....	71
4.4.2.4	<i>Breakdown</i>	72
4.4.2.5	Viscosidade final.....	72
4.4.2.6	<i>Setback</i>	74
5	Conclusão	76
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por novos produtos de conveniência, prontos para consumo, por um mercado consumidor preocupado com tempo de preparo e saudabilidade, tem estimulado a pesquisa e a utilização de matérias-primas ricas em nutrientes necessários a saúde humana, como os frutos regionais. Aliado a isso, o aumento no consumo de *fast-foods* e lanches têm contribuído para a maior ocorrência de problemas nutricionais na população devido ao aumento do consumo de alimentos gordurosos e à redução de carboidratos complexos, fibras e vitaminas na dieta, associadas à diminuição da prática de exercícios físicos.

Os frutos da pupunha, palmeira nativa dos trópicos úmidos da Amazônia, são ricos, principalmente, em carotenoides, carboidratos e lipídios, apresentando assim elevado valor energético e características amiláceas, portanto, podendo servir para a produção de farinha e consequentemente ser utilizada na elaboração de diversos produtos, como, bolos, pães, massas, biscoitos e/ou produção de farinhas instantâneas, pré-cozidas, como as obtidas por extrusão termoplástica.

A indústria alimentícia está em constante busca por novos produtos, que sejam ao mesmo tempo, bem difundidos e consumidos, e que apresentem qualidade nutritiva, sensorial e tecnológica. Sendo assim, a incorporação de ingredientes que tenham características funcionais, como o carotenoide, na fabricação destes produtos torna-se de importante, por melhorar o valor nutricional nos alimentos finais e, consequentemente, trazer um benefício adicional ao consumidor.

Os carotenoides, além de suas propriedades corantes, são importantes antioxidantes com ações fisiológicas, capazes de diminuir o risco de incidências de certos tipos de cânceres, doenças crônicas e outras associadas ao estresse oxidativo. Porém, existem diferenças entre estes compostos e suas atividades antioxidantes, que dependem da sua estrutura e isomerização da molécula. Alguns, por exemplo, são provitaminas A, precursores de retinol, a forma ativa desta vitamina. Entretanto, alguns fatores como luz, metais, oxigênio e calor podem aumentar a perda de carotenoides durante o processamento.

O processo de secagem é uma alternativa para obtenção de produtos prontos para consumo de consumo de frutas e vegetais frescos e preservação de alimentos. Durante este processo deve-se maximizar a retenção da qualidade dos produtos finais. Os parâmetros deste método como temperatura e teor de umidade tem grande influência nas propriedades dos alimentos tais como: flavor, cor, textura e composição nutricional. Logo os modelos que podem prever com precisão o fenômeno de transferência de massa durante o processamento térmico são úteis na otimização da qualidade e do processo, que é expresso pela cinética de secagem. Este processo, sob diferentes condições de temperatura pode causar degradação de carotenoides em diferentes níveis.

O processamento por extrusão, um método versátil onde pequenas modificações no equipamento e nas condições de processo, geram grande variedade de produtos alimentícios com diferentes características físico-químicas desejáveis tais como: solubilidade, textura aerada, formação de pasta, dureza, expansão, densidade, dentre outras. Além disso, possui vantagens como alta produtividade, rendimento, não produz efluentes nem resíduos, curto período de reação e podem até em alguns casos minimizar as perdas nutricionais, quando comparado aos métodos convencionais de cozimento.

Este trabalho tem como objetivo analisar o efeito de três temperaturas de secagem, 40°, 50° e 60°C, no teor de carotenoides de frutos de pupunha, para a produção de farinha, assim como analisar seu teor e perfil no fruto in natura e após extrusão termoplástica. Em seguida, desenvolver farinhas pré-gelatinizadas pelo processo de extrusão, a partir da mistura de milho e fruto da pupunha, bem como analisar suas características físicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Pupunheira

O Brasil é considerado um dos maiores produtores e consumidores de palmito do mundo (MAFACIOLI et al., 2009; MARTEL, 2002; MORO, 2004). Esta produção era baseada principalmente no extrativismo de palmácea *Euterpe edulis* Mart. e *E. oleracea* Mart., espécies nativas produtoras dos palmitos juçara e açaí, respectivamente. Entretanto devido a uma forte pressão contra a exploração ilegal destes palmitos, surgiram novas alternativas ecológicas e ambientais viáveis como o cultivo da pupunheira (*Bactris gasipaes*), através do manejo sustentável, o que permite ganhos em padrão de qualidade e sanidade dos novos produtos (COSTA NETO, 2002; GRANER, 2009; MORO, 2004; TOMITA, 2009).

A cultura da pupunha (Figura 1) apresenta vantagens por ter boa palatabilidade e aceitabilidade, não sofrer escurecimento, pela pouca presença de enzimas peroxidase e polifenol oxidase, precocidade de corte, perfilhamento elevado, que são formações e desenvolvimento de ramos laterais que estabelece a produtividade da planta, por apresentar diversas formas de utilização de todas as partes da planta, principalmente na alimentação humana, e elevado potencial econômico (SANTOS; CORRÊA JÚNIOR; NEVES, 2008; SANTOS et al., 2007). Além disso, pode vir a ser uma solução para o problema de oferta desta matéria-prima no Brasil (MARTEL, 2002; MORO, 2004; TOMITA, 2009).

Esta palmeira pode ser cultivada nas mais diversas condições climáticas e ecológicas, entretanto seu melhor crescimento ocorre em regiões de temperatura tropical, entre 24°C e 28°C, super úmido, com ampla distribuições em áreas com precipitações anuais de chuva entre 2000 a 6000 mm e altitudes abaixo de 1000 m. (BLAAK, 1976; GRANER, 2009; LETERME et al., 2005; TRACY, 1987).

Tem ocorrência natural desde Honduras, na América Central, até Venezuela, Colômbia, Peru, Equador, Bolívia e Região Norte do Brasil. Entretanto, como foi domesticada pelos ameríndios há centenas de anos não se sabe ao certo seu local de origem. Seu cultivo, devido à excelente qualidade do palmito, vem se expandindo em várias regiões do Centro, Sudeste e Sul do Brasil (COSTA NETO, 2002; KERR et al., 1997; LETERME et al., 2005; OLIVEIRA; MARINHO, 2010).

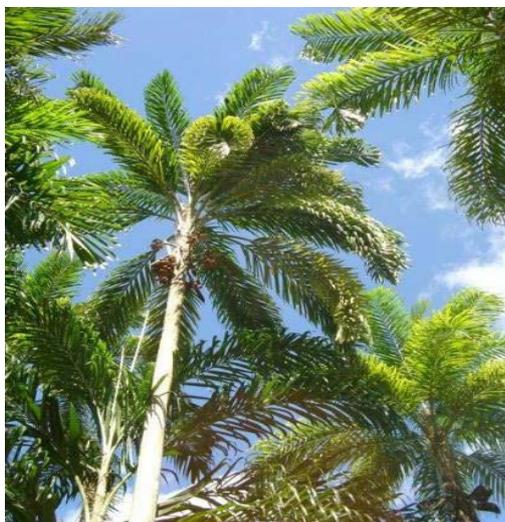


Figura 1 Pupunheira
Fonte: SILVA (2011)

2.1.1 Botânica

A pupunha, pupunheira, pejibaye, pijuayo, chontaduro ou ainda *peach palm* pertence à Família Arecaceae, e embora existam várias espécies, a mais cultivada é a *Bactris gasipaes* Kunth (FERREIRA; PENA, 2003; GRANER, 2009; LETERME et al., 2005; OLIVEIRA; MARINHO, 2010). É uma palmeira perene, sendo esse diferencial, em relação a outras produtoras de palmito, o que a torna atrativa como alternativa agrícola. É cespitosa (multicaule), com três a cinco estipes, de rápido crescimento, podendo atingir até 20 m de altura em 15 anos e com 10 a 30 cm de diâmetro (MORO, 2004; SANTOS et al., 2007; SILVA JÚNIOR, 2004; THOMAZINI, 2004). É rústica, ou seja, se adapta e se desenvolve bem em diferentes condições, de baixo custo e alta produtividade (IVANKOVICH-GUILLÉN; DEL VALLE, ARAYA-QUESADA, 2010; TONET; FERREIRA; OTOBONI, 1999; VIDA et al., 2006).

Seu estipe ou tronco tem crescimento vertical com formação de brotações nas suas terminações ou ápices (monopodial), o que lhe confere a característica de alta produtividade. Apresenta coloração que varia do branco ao cinza pardo e verde, sendo sua madeira dura, preta e com listras amarelas (BLAAK, 1976; GRANER, 2009; FERREIRA, 2005). O ápice do estipe sustenta uma coroa de 15 a 25 folhas pinadas e arqueadas (COSTA NETO, 2002; GRANER, 2009).

O palmito é formado por folhas jovens e uma mais externa, um pouco mais desenvolvida, no centro da coroa. Apresenta coloração branco-amarelada e é mais doce que os palmitos das demais espécies (PIZZINATTO et al., 2002). É constituído de três partes de acordo com sua região do talo. A primeira é a parte basal, com maior diâmetro, na parte inferior do talo, a qual é comercializada na forma de rodela em conservas de vidro (coração). A segunda é a parte apical, localizada na parte superior do talo, sendo comercializada como picadinho em conserva, pelo seu menor diâmetro. E a terceira, que é o palmito, situado na região mediana do talo, é a porção mais nobre do palmito, com elevado valor comercial (COSTA NETO, 2002; GRANER, 2009; FERREIRA, 2005).

O fruto é uma drupa (carnoso com apenas uma semente), de forma ovalar ou globular, medindo de 3 a 7 cm de diâmetro e pesam de 10 a 250 g cada. Sendo cada cacho composto de 50 a 100 frutos (COSTA NETO, 2002; LETERME et al., 2005; PIZZINATTO et al., 2002). Seu epicarpo liso apresenta coloração variada quando maduro, podendo ser vermelha, amarela ou alaranjada. Seu mesocarpo pode ter aspecto desde bastante oleoso até amiláceo, indicando propriedade farinácea, com textura firme e coloração amarelo-alaranjado. Já o endocarpo, camada mais interna que protege a semente, varia conforme a forma, dimensões e peso em ovóide, elíptico, redondo ou cuneiforme. Apresenta cor escura e normalmente encontra-se na região central do fruto, mas pode estar localizado também na extremidade distal, conforme Figura 2 (ANDRADE; PANTOJA; MAEDA, 2003; COSTA NETO, 2002; TONET; FERREIRA; OTOBONI, 1999). A semente é de cor café ou negra, de forma arredondada e muito dura (GRANER, 2009).



Figura 2 Aspecto interno e externo do fruto da pupunheira
Fonte: Adaptado de BASTO (2012) e FERREIRA (2005)

A pupunheira floresce no período de agosto a outubro, com frutificação de dezembro a março, porém em condições ambientais favoráveis pode ocorrer um menor florescimento de maio a junho, com frutificação em agosto-setembro (COSTA NETO, 2002; GRANER, 2009).

Os milênios de domesticação permitiram a exploração dessa palmeira para outras finalidades. Sua madeira é usada na fabricação de instrumentos musicais, pisos, peças de artesanato e produção de papel. A partir do fruto pode-se extrair o óleo, que contém elevado teor de ácidos graxos insaturados (ANDRADE; PANTOJA; MAEDA, 2003). A raiz é utilizada como vermífica, as flores como tempero e as folhas servem de confecção de telhados, cestos e forragem para animais (GRANER, 2009; TOMITA, 2009). A planta também é utilizada como uma palmeira ornamental pela sua altura (MORO, 2004; PIZZINATTO et al., 2002).

O maior interesse nessa cultura ainda é a produção de palmito pupunha, por ser rentável, permitir melhor controle da qualidade do produto final, ter características sensoriais bem apreciáveis pelo consumidor, além de contribuir para a diminuição do consumo extrativista do palmito nativo, industrializado de forma clandestina (ALMEIDA; YARA; ALMEIDA, 2005; FERREIRA, 2005). O cultivo para a produção do fruto vem ganhando força na América Tropical e nos mercados étnicos dos Estados Unidos, por ser utilizada como fonte de nutrientes alimentícios tanto para animais como para humanos (OLIVEIRA et al., 2006; ROJAS-GARBANZO et al., 2011).

2.1.2 Fruto e Farinha

O fruto da pupunha foi o principal alimento de muitas comunidades de ameríndios, os quais domesticaram a pupunheira e a introduziram em diversas regiões da Amazônia e da América Central (GRANER, 2009; MAFACIOLI et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2006; PIZZINATTO et al., 2002; ROJAS-GARBANZO et al., 2011). Atualmente, os frutos fazem parte da tradição alimentar regional Amazônica, onde são consumidos após cozimento em água e sal, fritos, ou transformados em farinha para a fabricação de diversos produtos como bolos, massas, sorvetes, entre outros (ANDRADE; PANTOJA; MAEDA, 2003; COSTA NETO, 2002; GRANER, 2009; MORO, 2004; ROJAS-GARBANZO et al., 2011; TOMITA, 2009). Ivankovich-Guillén, Del Valle e Araya-Quesada ao estudarem a percepção das consumidoras costarriquenhas sobre o fruto da pupunha observaram que as mesmas possuem o hábito de consumir o fruto principalmente cozido com maionese (50,6%). Outras formas de consumo foram citadas: picadinhos (8,9%), saladas (8,9%), sopas (7,6%) e com arroz (5,1%). A partir da polpa de pupunha, pode se obter uma bebida alcoólica por fermentação com bom nível de aceitabilidade (81,9%), sabor e aroma agradáveis e coloração alaranjada característico do fruto cozido (ANDRADE; PANTOJA; MAEDA, 2003).

No Brasil, há muitos frutos que não vem tendo aproveitamento como fontes importantes para a alimentação humana, apesar de oferecerem aporte calórico e nutrientes necessários para o bom funcionamento do organismo, como o fruto da pupunha (OLIVEIRA; MARINHO, 2010).

Apesar do seu interesse como alimento básico em muitas regiões da América Latina, os dados sobre sua composição química e nutricional ainda são poucos na literatura, o que se torna um entrave à sua difusão como fonte de alimento e base para elaboração de outros produtos (IVANKOVICH-GUILLÉN; DEL VALLE; ARAYA-QUESADA, 2010; LETERME et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006). Sua polpa possui elevado teor de óleo, especialmente ácido palmítico e oleico. Possui também carboidrato, principalmente composto por amido (95% é amilopectina) e carotenoides, fundamentalmente β -caroteno, pró-vitamina A com elevado percentual de bioatividade, como observado nos Quadros 1 e 2 (KERR, 1997; MARTEL, 2002; OLIVEIRA; MARINHO; 2010; ROJAS-GARBANZO et al., 2011; ROSSO; MERCADANTE, 2007). Principalmente por esta última característica, é que este alimento tem alta qualidade alimentícia (ANDRADE; PANTOJA; MAEDA, 2003; FERREIRA, 2005).

Quadro 1 Composição de diferentes tipos de fruto da pupunha

% em base seca						
Tipo	Umidade	Proteínas	Lipídios	Fibras	Cinzas	Carboidratos
1	55,7	23,0	6,9	9,3	1,3	59,7
2	49,9	11,5	9,8	2,8	2,4	73,7
3	56,7	8,3	6,1	3,6	2,1	79,9
4	61,8	8,7	8,0	0,9	1,4	81,0
5	58,0	12,9	7,7	0,9	1,6	77,8
6	56,1	18,1	6,9	0,9	1,4	72,3
7	53,2	16,1	8,4	0,9	1,4	72,2
8	57,1	13,3	9,1	0,8	1,5	75,3

Fonte: FERREIRA e PENA (2003)

Quadro 2 Composição química de 17 amostras de frutos da pupunha colombianos

g/100g de matéria seca									
Tipo	Proteína Bruta	Lipídios	Fibra Bruta	FDN ^a	FDA ^b	Amido ^c	Açúcares totais	Açúcares redutores	Cinzas
1	5,5	12,9	1,8	3,5	1,9	72	2,3	1,4	1,7
2	4,9	6,9	1,1	1,1	0,8	77	0,8	0,6	1,6
3	6,0	6,9	0,9	2,2	1,4	78	1,5	0,8	1,6
4	4,3	14,0	1,5	3,2	1,6	75	0,9	0,6	1,5
5	4,7	12,0	1,6	2,2	0,9	73	1,4	1,1	1,5
6	5,1	12,4	2,0	4,1	1,9	71	1,8	1,7	1,7
7	5,7	15,6	2,5	4,9	2,2	68	1,6	0,8	1,8
8	6,0	7,9	1,7	3,5	1,8	75	1,5	0,9	2,0
9	4,2	12,8	1,6	3,0	1,2	71	2,5	1,5	1,8
10	4,3	8,4	1,2	2,7	1,0	77	2,4	1,1	1,7
11	5,2	11,9	1,9	3,8	1,7	68	4,4	1,7	1,9
12	5,2	9,6	1,8	3,3	1,1	71	2,0	1,2	1,8
13	7,3	18,1	4,1	7,8	4,4	59	2,3	1,4	2,8
14	5,4	5,9	1,9	3,7	1,2	75	2,0	1,7	1,6
15	9,3	15,2	3,2	5,7	3,1	62	3,1	2,1	1,2
16	5,8	8,1	2,7	7,1	2,4	72	3,3	2,9	1,4
17	3,0	10,2	2,1	4,3	2,1	73	2,5	2,1	2,4

^a FDN: Fibra detergente neutra

^b FDA: fibra detergente ácida

^c uma análise de amido purificado revelou que ela contém, em média, 95% de amilopectina e amilose 5%

Fonte: Adaptado de LETERME et al. (2005)

Segundo Leterme et al. (2005) e Yuyama et al. (2003) existe uma correlação negativa entre o conteúdo de óleo e amido em frutos da pupunha, onde aparentemente a diminuição de cerca de 1 g de amido é contrabalanceada com aumento de 0,57 g de óleo. Isso parece estar relacionado a retirada do fruto precocemente, já que a seleção do tamanho do fruto favorece um maior acúmulo de amido. Além disso, diversos autores já reportaram as variações na

composição dos frutos, que se deve principalmente a variabilidade genética e as condições de cultivo (LETERME et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006; TRACY, 1987; YUYAMA et al., 2003).

Entre as desvantagens descritas pelas consumidoras de fruto da pupunha foi relatada a dificuldade de cozinhá-los e descascá-los, o que gera uma oportunidade de mercado para agroindústrias, a elaboração de produtos a base de frutos da pupunha, através da farinha dos mesmos. Entretanto, há pouca informação sobre as propriedades físico-químicas, funcionais e reológicas da farinha do fruto da pupunha (IVANKOVICH-GUILLÉN, DEL VALLE, ARAYA-QUESADA 2010; OLIVEIRA et al., 2006).

Apesar de o fruto apresentar diferentes formas de consumo, a farinha torna-se de grande importância por evitar a saturação do mercado de frutos *in natura*, facilitar sua aquisição e diversificar a demanda de pupunha, sendo possível sua utilização para o preparo de diversificadas receitas, já que a polpa do fruto é suficiente amilácea, (CARVALHO; VASCONCELOS; MOREIRA, 2005; FERREIRA; PENA, 2003; IVANKOVICH-GUILLEN, DEL-VALLE; ARAYA-QUESADA, 2010).

Tracy (1987) ao testar o uso da farinha do fruto da pupunha na panificação observou que com a substituição de 10% da farinha de trigo pode-se obter pães com alta qualidade e de melhor valor nutricional, especialmente em relação à vitamina A. Verificou-se ainda que alguns tipos de frutos da pupunha são mais adequados para a panificação que outros, já que houveram diferenças físicas significativas entre amostras de mesma mistura, mas com utilização de diferentes classes de frutos, onde por exemplo, o desenvolvimento em minutos foi de 4 min. para 90% de trigo e 10% de pupunha e 1 min. para a mesma mistura, mas com frutos de segunda classe.

Segundo Carvalho, Vasconcelos e Moreira (2005), a substituição de 10% de farinha de trigo por farinha de pupunha torna possível a obtenção de pães com elevados teores de caroteno e óleo, sem alteração significativa das propriedades tecnológicas do produto. De acordo com Ivankovich-Guillen, Del Valle, Araya-Quesada (2010) a substituição de 25% de farinha de trigo por farinha de pupunha amplia as oportunidades de desenvolvimento do setor agroindustrial, já que o custo da importação do trigo é alto. Estudos de Oliveira et al. (2006) com massas como espaguete e macarrão tipo ´fusilli` com 15% de substituição pela farinha de pupunha apresentaram resultados satisfatórios quanto a aceitação e valor nutricional, além de melhorar o volume, densidade e tempo de cozimento das massas, o que possibilita a economia de energia e dos custos de transporte.

A análise sensorial de “*snacks*” frito do tipo tortilha a base de farinha da pupunha (50%) e farinha de milho (50%) obteve média de aceitação geral de 8,99, em escala de 10 pontos, significando uma ótima aceitação por parte das provadoras (IVANKOVICH-GUILLEN; DEL-VALLE; ARAYA-QUESADA, 2010).

2.2 Secagem

Diversos métodos de conservação baseiam-se na diminuição dos valores de água livre no alimento com objetivo de proteger o mesmo do crescimento microbiano e inibir a deterioração, entre eles a desidratação, que é tido como um dos procedimentos mais antigos de preservação de alimentos. A secagem é um processo complexo, mas que basicamente envolve calor e transferência de massa, ao mesmo tempo, levando a uma concentração final de umidade que assegure a estabilidade do alimento (DEMIRAY; TUKEY; YILMAZ, 2013; FAUSTINO; BARROCA; GUINÉ, 2007; GUINÉ; PINHO; BARROCA, 2011; LEWICKI, 2006; MWITHIGA; OLWAL, 2005; McMINN; MAGEE, 1999).

As razões pelas quais a maioria dos produtos ainda são submetidos a este processo, em alguma parte do processamento, além de prevenir o crescimento e reprodução de microrganismos, são: estender a estabilidade do produto e assim sua vida de prateleira, facilidade de manuseamento, redução do volume, diminuição dos custos de embalagem, armazenamento e transporte, vantagens ambientais e permitir o consumo e utilização de frutas e vegetais na sua entressafra (GUINÉ; PINHO; BARROCA, 2011; KROKIDA et al., 2003; LEWICKI, 2006; McMINN; MAGEE, 1999; MOTA et al., 2010; MWITHIGA; OLWAL, 2005). Entretanto, apresenta algumas desvantagens por provocar modificações químicas, físicas e biológicas no alimento como mudança de pH e potencial redox, perda da capacidade de absorção de água, distorções de forma (enrugamento e endurecimento), perda de cor, flavor, textura e nutrientes (GUIDÉ; PINHO; BARROCA, 2011; IGUAL et al., 2012; LEWICKI, 2006; MOTA et al., 2010).

Até o presente momento a técnica de secagem convencional, através de ar quente, ainda é muito utilizada por ser mais simples e econômica dentre todos os processos. Durante o mesmo ocorrem simultaneamente: transferência de energia (calor) do ambiente circundante para evaporar a umidade superficial e transferência de massa (umidade) do interior para a superfície do material, ou seja, ao se fornecer calor de uma fonte quente para o material úmido, a água do material irá evaporar e em seguida a transferência de massa arrastará o vapor formado (PARK, et al., 2007; McMINN, MAGEE, 1999).

A temperatura é reconhecidamente como o elemento mais importante que dita às características dos sistemas de secagem. Segundo Mota et al. (2010), é visível como a umidade segue exponencial decrescente conforme há aumento de temperatura. Krokida et al. (2003), ao estudar o efeito de alguns parâmetros de secagem como temperatura do ar, umidade relativa e a velocidade do ar sob o progresso do processo de secagem, observou que a aplicação da temperatura é considerada de grande importância pois faz com que seu efeito na secagem seja o fator essencial na taxa de secagem, em todos os materiais analisados. Concluindo assim, que o efeito da velocidade e da umidade do ar é bem menor que o da temperatura. Entretanto, a temperatura é limitada pela sensibilidade do alimento e a qualidade que se espera do produto final (LEWICKI, 2006).

A presença de água nos alimentos pode ser interpretada graficamente tendo como base as curvas de equilíbrio do material que é composta pela umidade do mesmo e sua atividade de água (McMINN; MAGEE, 1999). As curvas do teor de água do produto, da sua temperatura e da velocidade de secagem, ou ainda taxa de secagem, ao longo do tempo podem ser observadas na Figura 3. Onde a curva (a) representa o teor de umidade do produto em relação ao tempo de secagem, a curva (b) é a taxa de secagem, que é a variação do conteúdo de umidade pelo tempo e a curva (c) descreve a variação da temperatura com a evolução do tempo (PARK, et al., 2007).

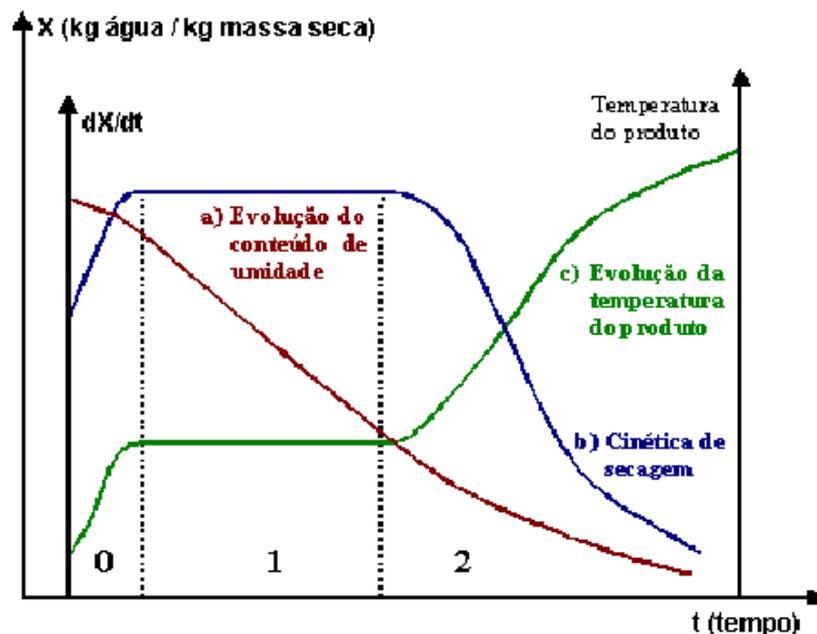


Figura 3 Curvas de secagem
 Fonte: PARK et al. (2007)

Esta taxa de secagem e sua dependência das variáveis envolvidas no processo são expressas em termos de cinética de secagem, que é essencial para o desenvolvimento de modelos de processos fidedignos (FAUSTINO; BARROCA; GUINÉ, 2007). Assim, modelos cinéticos podem ajudar a projetar novos processos com o objetivo de manter sempre o alimento seguro e a máxima retenção da qualidade do mesmo (DUTTA et al., 2006; MOTA et al., 2010). Desta forma, as perdas de alguns nutrientes como, por exemplo, os carotenoides, podem ser minimizados utilizando o desenho de processo de secagem apropriado.

Segundo Demiray, Tukey e Yilmaz (2013) ao estudarem a degradação cinética do licopeno, β - caroteno e ácido ascórbico de tomates durante secagem com ar quente com temperaturas variando de 60° a 100°C e melhor entender o efeito da temperatura de secagem, avaliaram que diferentes condições de secagem podem causar diferentes níveis de degradação de β -caroteno. Observaram assim, que a taxa de degradação de β -caroteno aumenta com o aumento da temperatura, e a secagem de tomates para melhor preservar este nutriente foi a 60°C.

Nawirska et al. (2009), ao determinar a quantidade de carotenoides de 12 cultivares de abóbora submetidas a secagem convencional, vácuo, congelamento e vácuo-microonda observou que houve diferença significativa no conteúdo de carotenoides após desidratação pelos quatro métodos. A maior média no conteúdo deste nutriente encontrada foi na secagem por congelamento, seguido pelo método de vácuo-microonda e a mais baixa foi no método convencional.

Muratore et al. (2008), ao examinar o efeito da desidratação parcial de tomates cereja sob diferentes temperaturas, em estufa de ar forçado, e com um pré-tratamento, nas características físicas, químicas e organolépticas, constataram que o maior valor de carotenoide encontrado foi em amostras não tratadas a 80°C (34,8 mg/g), já em amostras que obtiveram pré-tratamento o maior conteúdo de β -caroteno foi a 40°C (38,5 mg/g).

E ainda, Mota et al. (2010) ao estudar o efeito da cinética de secagem por ar quente de cebola sob diferentes temperaturas e avaliar a influência da secagem na composição química do alimento observou, que conforme se aumentou a temperatura de 30° para 70°C houve degradação de açúcar em torno de 21%, o conteúdo de vitamina C diminuiu de 137 para 89

mg/100 g de base seca, e a perda de ácidos voláteis também foi considerável. Contudo, o impacto nos nutrientes funcionais deve ser levado em conta, se estes serão recomendados na indicação de um produto.

2.3 Milho

O milho é produzido em quase todos os continentes, sendo que cerca de 70% da produção mundial de milho é destinada à alimentação animal de aves, bovinos e suínos (IBGE 2012). Em termos gerais, apenas 9,5% de toda a produção mundial destina-se ao consumo humano, de forma direta ou indireta (ASCHERI, 2011).

No Brasil, cerca de 4% do total da produção de milho (36,73 milhões de toneladas), representando aproximadamente 1,5 milhões de toneladas, tem sido utilizados diretamente como alimento humano e cerca de 10% da produção destinada às indústrias alimentícias, que transformam os grãos em diversos produtos, tais como amido, farinhas, canjica (mungunzá), flocos de milho, xaropes, entre outros (IBGE, 2012; PAES, 2006). Dados da última pesquisa de aquisição domiciliar do Brasil, realizada pelo IBGE, em 2008/2009, confirmam o milho como uma das mais importantes fontes alimentares da população brasileira, principalmente na região nordeste, pelo seu aporte energético, em função do alto teor de amido.

O milho pode ser industrializado através dos processos de moagem úmida e seca. Esse último é o mais utilizado no Brasil (PAES, 2006). A moagem a seco é um procedimento relativamente simples. O milho é previamente limpo, e dependendo da linha de processamento é umidificado até 20% de umidade. Então os grãos são degerminados em degerminadores e o germe é separado. O restante do endosperma é moído e peneirado em diferentes frações de tamanho de partícula e composição. Os principais produtos resultantes são a canjica, canjiquinha, *grits*, fubá e farinhas mais finas, e outros produtos como farelo de milho, óleo de milho e misturas para ração animal (ASCHERI, 2008).

A transformação do milho em diversos derivados possibilita o uso deste cereal como excelente matéria-prima para a indústria de alimentos. Uma das principais aplicações industriais do milho é o emprego do *grits* para a produção de *snacks* e cereais matinais, dada à alta capacidade de expansão do milho quando submetido ao processo de extrusão, e ao baixo custo. Entretanto, existem alternativas que possibilitariam a agregação de valor nutricional ao produto seja como substituto do milho ou como ingrediente a ser adicionado à formulação, como a soja, arroz, amaranto, entre outros (OLIVEIRA, 2007). E essa necessidade ditada pelos atuais consumidores, deve ser acompanhada de perto pelas indústrias fornecedoras de *grits* e farinha de milho (ASCHERI, 2011).

A alta capacidade de expansão do *grits* de milho está relacionada ao fato do milho apresentar uma mistura de amilose (22 a 28%) e amilopectina (72 a 78%) e a proporção amilose-amilopectina ter influência durante o processo de expansão do produto, já que altos teores de amilose prejudicam a expansão, e ao baixo teor de lipídios (COLONNA; BULEON; MERCIER, 1987; FURLAN et al., 2003).

O grão de milho, comumente utilizado para a produção de farinha, é constituído de endosperma, germe, pericarpo (casca) e ponta; sendo que os nutrientes não estão distribuídos de forma homogênea entre as diferentes estruturas morfológicas do grão. No pericarpo está presente a maior quantidade de fibra alimentar. No germe concentra quase a totalidade dos lipídios (óleo e vitamina E) e dos minerais do grão, além de conter quantidades importantes de proteína e açúcar. O endosperma é rico em carboidratos, destacando-se o amido; além de conter proteínas de reserva do tipo prolaminas, chamadas *zeínas*. Além disso, no endosperma, especificamente, na camada de aleurona e no endosperma vítreo, estão presentes os carotenoides, substâncias lipídicas que conferem a cor aos grãos (CALLEGARO et al., 2005; PAES, 2006).

A composição centesimal do *grits* de milho é aproximadamente (g/100g): carboidrato (90,57); proteína (7,84); extrato etéreo (0,49) e cinzas (0,46). Sabe-se, no entanto, que alimentos de origem vegetal apresentam limitações quanto ao seu valor nutricional, principalmente relacionado às proteínas. O milho, apesar de ter um percentual de proteínas relativamente elevado, possui baixa qualidade protéica, pois a zeína, proteína que representa a maior fração das proteínas no grão (50 a 60%) contém teores reduzidos de aminoácidos essenciais como lisina e triptofano, enquanto que a fração glutelina (em menor proporção) detém maior quantidade destes aminoácidos. Aminoácidos essenciais são aqueles que o organismo não consegue sintetizar, necessitando ingeri-los através da dieta. Sendo assim, a proteína do milho é considerada de baixo valor biológico, em relação a uma proteína de referência (SILVA, 2007; ALVIM; SGARBIERI; CHANG, 2002; PEREIRA et al., 1998).

Como visto, o milho apresenta baixa qualidade nutricional e para agregar valor a produtos tradicionais produzidos à base de milho, é necessário acrescentar outros ingredientes a sua formulação.

2.4 Carotenoides

Os carotenoides são compostos antioxidantes e uma classe de pigmentos naturais responsáveis pela coloração dos alimentos em que estão presentes ou em que são adicionados como aditivos (ROSSO; MERCADANTE, 2007). A vitamina A circula no plasma na forma de retinol ligado a uma proteína específica, a alfabglobulina, conhecida como proteína ligadora de retinol (RBP), que se complexa com a transtirretina, fazendo o transporte desta vitamina para os tecidos (YUYAMA; COZZOLINO, 1996). A absorção dos precursores desta vitamina acontece no intestino delgado através das pró-vitaminas A, como o ácido retinóico e o β -caroteno, que são então hidrolisadas formando retinol, forma ativa da vitamina A, e esta é armazenada no fígado (FRANCO, 2007; ROJAS-GARBANZO et al., 2011; YUYAMA et al., 1991). Entretanto, cada carotenoide tem sua própria forma de absorção, transporte e metabolismo, que depende principalmente da estrutura e isomerização da molécula.

Os carotenoides mais amplamente distribuídos nos alimentos, principalmente vegetais, são β -caroteno, α -caroteno, β -criptoxantina, licopeno, luteína e violanxantina (RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008; ROJAS-GARBANZO et al., 2011). Todavia, somente o β -caroteno, o α -caroteno, e a β -criptoxantina são provitaminas A, já que para ter o poder vitamínico é necessário ter na estrutura um anel com cadeia de polieno de 11 átomos de carbonos (RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008). Além disso, este nutriente tem em sua estrutura química compostos isoprenóides, duplas ligações dispostas em arranjo linear, como mostra a Figura 4 (DUTTA; CHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2005; JATUNOV et al., 2010). Dentre estes, o precursor de vitamina A com maior atividade é o β -caroteno, por gerar duas moléculas de vitamina A quando hidrolisado, já os outros dois tem apenas 50% da atividade do β -caroteno (RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008; ROJAS-GARBANZO et al., 2011).

Vários estudos têm sugerido que o maior consumo de frutas e vegetais na dieta ajuda na redução do risco de certas doenças crônico-degenerativas como câncer, doenças cardiovasculares, inflamação, catarata, além de trazer outros benefícios como reforço na resposta imunológica, diferenciação celular, estimulação do crescimento e desenvolvimento, na capacidade funcional dos órgãos de reprodução, como cofator da retina e como foto protetor na pele, contra os danos causados pelo sol (CANTRELL et al., 2003; HIDALGO; BRANDOLINI; POMPEI, 2010; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008; ROJAS-GARBANZO et al., 2011; ROSSO; MERCADANTE, 2007; YUYAMA et al., 1991).

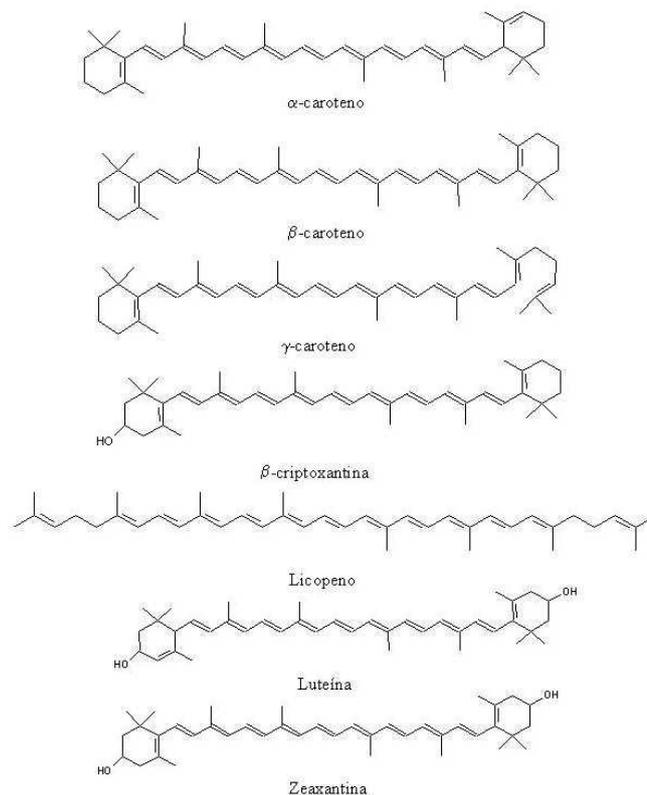


Figura 4 Estrutura química de alguns carotenoides

Fonte: CANTRELL et al. (2003)

A deficiência de vitamina A está ligada a falta de proteína e de zinco, por serem responsáveis pela síntese da proteína ligadora de retinol pelo fígado, respectivamente, a doenças de pele, olhos e dentes, e também associada à desnutrição protéico-calórica, infestações parasitárias, infecções e diarreia (YUYAMA et al., 1991; YUYAMA; COZZOLINO, 1996; ROJAS-GARBANZO et al., 2011).

O mecanismo de atuação da vitamina A no organismo humano tem sido atribuído ao forte poder antioxidante deste nutriente, especialmente a sua habilidade de destruir o oxigênio singlete e interagir com os radicais livres, que são gerados durante metabolismo aeróbico e são características de algumas doenças, pelo sistema conjugado de dupla ligação. Os que têm nove ou mais dupla ligação na estrutura, proporcionam maior proteção (QUESADA et al., 2011; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008; ROJAS-GARBANZO et al., 2011).

O teor destes precursores nos alimentos é influenciado pela presença de oxigênio, calor, luz, metais, ácidos orgânicos e exposição à hidroperóxidos, assim como pelo processamento dos mesmos. O β -caroteno, por exemplo, existe na forma de *all-trans*, porém após processamento térmico alguns são transformados em diferentes *cis*-isômeros como: 9-*cis*- β -caroteno convertidos à temperatura superior a 90°C, por mais de 60 minutos, e 13-*cis*- β -caroteno, à temperatura de 121°C, após isomerização, já a oxidação leva a produção de epoxy, hidroxí e apocarotenos (DEMIRAY; TULEK; YILMAZ, 2013; DUTTA; CHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2005; HIRANVARACHAT; SUVARNAKUTA; DEVAHASTIN, 2008; QIU; CHEN; LI, 2009; ZEB, 2012). Assim, a estabilidade do β -caroteno não depende somente da temperatura, mas também da concentração de oxigênio durante o processamento térmico (QIU; CHEN; LI, 2009; ZEB, 2012). Contudo, o grau de diminuição do nutriente depende da presença e conteúdo de lipídio e fibra no alimento e do tipo de carotenoide presente. Além disso, sua biodisponibilidade está sujeita à influência de fatores genéticos e

fisiológicos na sua digestão e absorção (DUTTA; CHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2005; HIDALGO; BRANDOLINI; POMPEI, 2010; ROJAS-GARBANZO et al., 2011).

Yuyama et al. (1991), ao avaliarem a biodisponibilidade da vitamina A do fruto da pupunha e da manga através da quantificação desta no fígado e plasma sanguíneo de ratos, verificaram diferença significativa na concentração desta vitamina no fígado, entre o grupo controle que recebeu 4 UI de vitamina A, 9,52 µg/g, o grupo que recebeu manga, 5,76 µg/g e o grupo que recebeu o fruto da pupunha, 53,45 µg/g. Observaram ainda que os grupos que receberam 4 e 8 UI de vitamina A e a pupunha ganharam mais peso do que aqueles que receberam dieta sem a vitamina, o que mostrou uma estreita relação entre a disponibilidade desta vitamina e o potencial da fonte, que foi adequado e eficiente na conversão dos carotenoides para manter o peso e o crescimento dos animais.

Rojas-Garbanzo et al. (2011), ao identificarem o perfil de carotenóides do fruto da pupunha da Costa Rica, cru, cozido e na farinha, encontraram 9, 14 e 12 picos, respectivamente. Entretanto, dos 14 no fruto cozido, apenas 12 pertenciam à família do caroteno, já que o pico 1, *all-trans- α -criptoxantina*, pertence a família da xantofila e o pico 7 não corresponde a nenhum perfil de carotenoide conhecido. Observaram também que o tratamento térmico favoreceu a formação de novos carotenoides, cinco a mais do que continha no fruto cru, pela isomerização e oxidação que ocorre com o cozimento a 96°C durante 30 minutos. O teor diminuiu significativamente do fruto cru (2723 retinol equivalentes em 100 g do produto) para o fruto cozido (1614 RE/100 g) para a farinha (1289 RE/100 g), após cozimento e secagem. Contudo, este valor ainda é alto e maior que alimentos reconhecidamente e popularmente ricos em carotenoides, como o tomate (207 RE/100 g) e o mamão papaia (74 RE/100 g).

Além disso, verificaram que o carotenoide com maior concentração, na farinha do fruto, foi o β -caroteno, o qual tem maior atividade de provitamina A e o valor de provitamina A, 2170 UI, encontrado em 100 g do fruto da pupunha cozido (peso fresco), atinge quase 50% do recomendado pelo FDA (2008) para ingestão diária desta vitamina, que é de 5000 UI. No entanto, segundo a ANVISA (2006) a recomendação diária para ingestão da vitamina A para adultos é de 600 mcg RE (2000 UI).

2.5 Alimentos funcionais

A mudança no estilo de vida da população tem provocado aumento considerável na procura por produtos de conveniência, favorecidas pela grande economia de tempo na aquisição e preparo dos alimentos (COELHO; WOSIACKI, 2010; MAIHARA, 2006). Contudo, esta busca por produtos prontos para consumo tem sido cada vez mais impulsionada por consumidores que tem valorizado mais a qualidade de vida, requerendo assim alimentos saudáveis e benéficos (IVANKOVICH-GUILLEN; DEL-VALLE; ARAYA-QUESADA, 2010; LOBO; SILVA, 2003; PAULA et al., 2009; PEREZ et al., 2008; PRADO et al., 2008).

Um produto ou ingrediente com propriedade funcional é aquela relativa ao papel metabólico ou fisiológico que o nutriente ou não nutriente tem no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções normais do organismo humano (ANVISA, 1999). Este nutriente produz efeitos metabólicos, contribuindo para o bem estar e a manutenção da saúde, além de reduzir o risco do aparecimento de doenças cardiovasculares e crônico-degenerativas, quando ingerido com certa regularidade (FREITAS; MORETTI, 2006; IVANKOVICH-GUILLEN; DEL-VALLE; ARAYA-QUESADA, 2010; STRINGHETA et al. 2007). São alimentos comuns, compostos por componentes naturais, em concentração elevada, que podem ser utilizados para enriquecer outros alimentos produzidos (ANVISA, 1999; MORAES; COLLA, 2006). Entre os nutrientes considerados como funcionais estão os

antioxidantes, as fibras alimentares e os ácidos graxos α -linolênico (IVANKOVICH-GUILLEN; DEL-VALLE; ARAYA-QUESADA, 2010).

2.6 Extrusão termoplástica

O processo de extrusão consiste basicamente em um processamento térmico e mecânico onde a matéria-prima sólida é transformada em fluida, ao passar por uma matriz sob condições de aquecimento, mistura, pressão, fricção e cisalhamento mecânico, formando produtos com características físicas pré-determinadas (CARVALHO et al., 2009; OLIVEIRA, 2007; TEBA, 2009). Envolve altas temperaturas durante um curto período de tempo (*HTST – High Temperature Short Time*), diferentemente dos processos convencionais, e envolve principalmente materiais amiláceos (DA COSTA et al., 2010).

A extrusora é formada por um alimentador, que recebe o material a ser extrudado e mantém a alimentação de forma contínua; o parafuso, que conduz o material através do cilindro, regulando o grau de cozimento e a gelatinização, pela fricção mecânica e calor gerado; a matriz, que modela o produto e um mecanismo de corte, que ajuda na finalização da formação do extrudado (TEBA, 2009).

São três as etapas de extrusão: a pré-extrusão, que inclui a preparação dos ingredientes e sua mistura em proporção adequada; a extrusão, onde a matéria-prima é introduzida pelo alimentador e impulsionada pelo parafuso passando por diferentes zonas de extrusão que aumentam a pressão e a temperatura, cozinhando o produto e modificando suas propriedades físico-químicas, tecnológicas e sensoriais, como pode-se observar nas Figuras 5 e 6. Na primeira zona, o material alimentado é comprimido nos espaços que circundam o parafuso pela expulsão do ar. A segunda seção ou zona de compressão é o onde a pressão, temperatura e taxa de cisalhamento aumentam rapidamente, pela modificação gradual do parafuso. O material aqui é transformado em uma massa de cozimento parcial. E na última zona, o material é comprimido e misturado para sair de forma homogênea da matriz. O aumento da temperatura é rápido e alto na seção final, alcançando o grau de cozimento desejado antes da saída pela matriz. A saída do material da extrusora, ainda proporciona a queda da pressão, causando evaporação da umidade, expandindo o produto. E a pós-extrusão, que é a etapa de secagem dos produtos extrudados, aplicação de sabores e temperos (CARREIRO et al., 2008; TEBA, 2009).

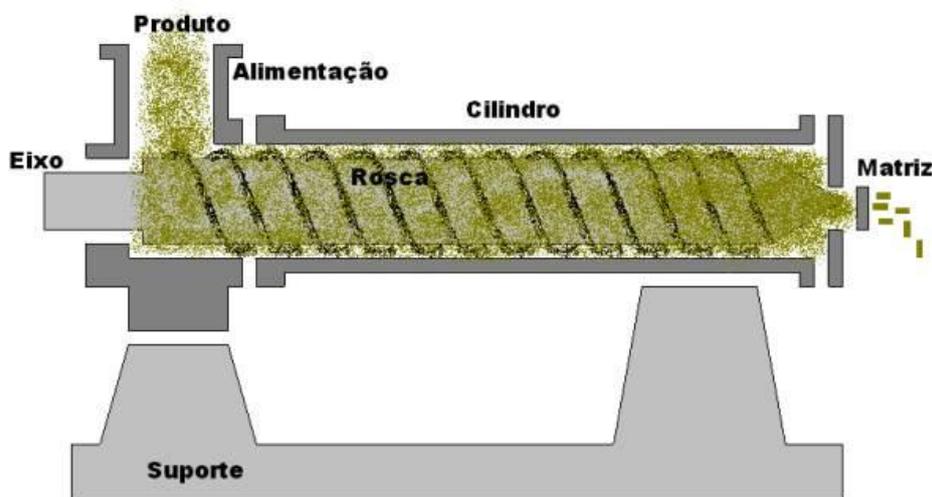


Figura 5 Esquema simplificado de um extrusor mono rosca
Fonte: SILVA (2007)

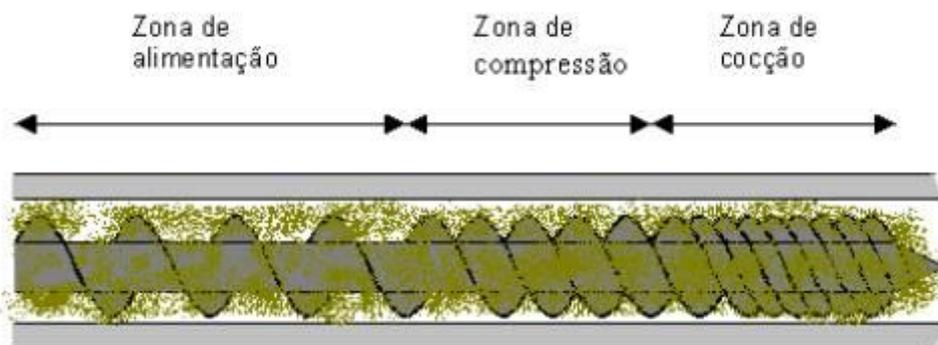


Figura 6 Zonas de alimentação, compressão e cocção
 Fonte: SILVA (2007)

Este processo resulta em modificações físico-químicas dos produtos como a gelatinização do amido e a desnaturação da proteína melhorando as qualidades sensoriais dos produtos e também sua digestibilidade (LEONEL; SOUZA; MISCHAN, 2010; SOUZA; MENEZES, 2008). Além disso, tem a função de inativar enzimas e fatores antinutricionais, reduzir a carga microbiana, reestruturar matérias-primas pouco atrativas criando novas formas e texturas, e aumentar a vida de prateleira dos produtos (TEBA, 2009). E apesar de ser um processo térmico, o material por ficar retido por um tempo curto sofre menos influência do calor sob seus valores nutricionais, possibilitando ainda um efeito nutricional vantajoso e útil, uma vez que utiliza diferentes misturas de matérias-primas ricas em nutrientes, podendo ainda incorporar na sua composição, vitaminas e minerais (CARVALHO et al., 2010; SOUZA; MENEZES, 2008).

O uso da extrusão pela indústria de alimentos apresenta outras vantagens, além da modificação nas propriedades dos alimentos, em relação aos processos tradicionais, pois trata-se de um processo contínuo com pouco ou nenhum resíduo, baixos requerimento de mão de obra e de espaço por unidade de produção, alta capacidade de produção por unidade de área, sendo considerado de baixo custo em comparação com outros processos de cocção, pois converte eficientemente a energia elétrica em energia térmica e versatilidade pois, através de diversos parâmetros e configurações dos constituintes do extrusor pode-se obter uma série de produtos (HARPER, 1981; STANLEY, 1986).

Exemplos de alimentos extrudados são biscoitos expandidos diretos ou *snacks*, alimentos infantis, cereais matinais, sopas instantâneas, farinhas pré-cozidas e pré-gelatinizadas, massas alimentícias, produtos de confeitaria e *pet food* (CARREIRO et al., 2008; CARVALHO et al., 2009; DA COSTA et al., 2010).

O monitoramento das condições de extrusão como temperatura, umidade, taxa de compressão da rosca, rotação do parafuso, velocidade e taxa de alimentação, diâmetros da matriz, tempo e temperatura de secagem são fundamentais para obtenção e garantia de produtos de qualidade (DA SILVA, 2007; LEONEL, SOUZA; MISCHAN, 2010).

Segundo Fellows (2006), as características das matérias primas, como o tipo de material, sua composição química (teor e tipo de amido, proteínas e fibras), teor de umidade, estado físico, dentre outros e os parâmetros operacionais do extrusor, como a pressão, temperatura, taxa de cisalhamento, diâmetro da matriz, tamanho do canhão e velocidade da rosca são as principais fatores que influenciam na característica do extrudado.

Os produtos extrudados podem ser caracterizados pela sua estrutura, coesividade, forma e sensação na boca, porém são influenciadas pelo tipo e grau de tratamento térmico,

origem do amido e condições utilizadas no processo. As farinhas pré-gelatinizadas, por exemplo, apresentam um aumento da solubilidade, retenção de água e consequentemente espessamento do produto, sem a necessidade de calor, que é a base para elaboração de alimentos como misturas lácteas instantâneas, misturas prontas panificáveis e sopas, o que melhora a qualidade do produto (ASCHERI, 2011; CLERICI; EL-DASH, 2008; MOURA, 2012).

Ascheri, Ascheri e Carvalho (2006) ao analisarem as características da farinha de bagaço de jabuticaba fermentado e as propriedades funcionais dos extrudados elaborados, em diferentes condições de extrusão, verificaram que a expansão dos produtos aumentou com a rotação do parafuso e diminuiu com o aumento da adição de farinha do bagaço de jabuticaba, possivelmente devido a quantidade considerável de fibra da farinha, atingindo um maior índice de expansão com a formulação de 10% da farinha do bagaço de jabuticaba a uma temperatura de 130°C e rotação do parafuso de 240 rpm. Além disso, maiores valores de ISA para a mesma porcentagem de farinha a uma temperatura de 100°C e rotação do parafuso de 240 rpm mostraram uma maior gelatinização, tornando possível, com os parâmetros adequados a produção de farinhas pré gelatinizadas com esta matéria-prima.

Carvalho et al. (2010) ao estudar o efeito da mistura de farinhas de mandioca e pupunha na qualidade final de extrudados de terceira geração, observou a redução da densidade aparente dos extrudados obtidos, após a fritura, indicando a expansão dos produtos finais nas três misturas testadas de farinha do fruto da pupunha (15%, 20% e 25%). E como a umidade de condicionamento é alta para extrudados de terceira geração (35%), a degradação das moléculas de amido é menor, resultando na não expansão do produto na saída da matriz, o que gerou valores de IAA e ISA baixos e intermediários, respectivamente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Obtenção das matérias primas

3.1.1.1 Frutos da pupunha

As amostras de frutos da pupunheira utilizados no experimento para desenvolvimento da farinha foram oriundas da Embrapa Florestas (Colombo, PR).

3.1.1.2 Milho

O milho na forma de *grits* utilizados para o preparo da farinha foram doados pela Indústria de Alimentos Granfino (Nova Iguaçu, RJ).

3.2 Métodos

3.2.1 Teste preliminar para processamento dos frutos

Os frutos de pupunha, amarelo e vermelho, foram selecionados, lavados em água clorada (100 ppm), triturados, em Cutter da marca Geiger, modelo U M 12 (Paraná, Brasil), e despulpados, separadamente, em despulpadeira 025 DF (Itametal, Salvador, Brasil), obtendo-se uma massa de cada variedade.

Os produtos obtidos foram então distribuídos em bandejas em camadas de aproximadamente 10 mm de altura e colocadas em secador do tipo cabine de escala laboratorial com circulação de ar forçado, capacidade máxima de 4kg, velocidade do ar de 0,5 m/s e equipado com lâmpada incandescente. A temperatura da estufa foi controlada por termômetro eletrônico da marca Coel modelo UL 1480 (Brasil) e a umidade e temperatura do ambiente medidos também por termômetro higrômetro eletrônico da marca Traceable Cole Parmer (Texas, EUA).

Foram testadas três temperaturas, 40°, 50° e 60° C, por aproximadamente 24 h, até obter peso constante. A cada 30 min eram registrados o valor da temperatura da estufa, da umidade do ar, do bulbo seco (maior temperatura em °C), do bulbo úmido (menor temperatura em °C), assim como eram pesadas as massas de cada bandeja com cada amostra analisada.

As amostras secas foram analisadas quanto ao seu teor e perfil de carotenoides, em triplicata, conforme item 3.2.5.3.

3.2.2 Produção da farinha do fruto da pupunha

Os frutos de pupunha, amarelo e vermelho, foram selecionados, lavados em água clorada (100 ppm), triturados, em Cutter da marca Geiger, modelo U M 12 (Paraná, Brasil), separadamente, obtendo-se uma massa de cada variedade, que então foi seca em estufa a 50° C, determinada pela cinética de secagem, marca Hauber Macanuda, modelo DMS-G-EG (Joinville, SC, , Brasil), por 24 h (Figuras 7 e 8).

Após, essa massa seca foi moída em moinho de discos da marca Perten modelo Laboratory Mill 3600 (Huddinge, Suécia) e em moinho de martelo da marca Perten modelo Laboratory Mill 3100 (Huddinge, Suécia) com peneira de abertura de 1mm, de forma a compatibilizar seu tamanho com a distribuição granulométrica do milho, usado na mistura.



Figura 7 Pupunha após ser triturada e despulpada, amarela (A) e vermelha (B)
Fonte: BASTO (2012)



Figura 8 Amostras dispostas em bandejas na estufa para secagem
Fonte: BASTO (2012)

3.2.3 Produção da farinha mista de milho e pupunha para extrusão

Foram elaboradas quatro tipos de farinhas mistas com substituições de 15 e 25% pela farinha de pupunha, com as seguintes concentrações: 15% de farinha de pupunha amarela e 85% de farinha de milho (T2), 25% de farinha de pupunha amarela e 75% de farinha de milho (T3), 15% de farinha de pupunha vermelha e 85% de farinha de milho (T4), e 25% de farinha de pupunha vermelha e 75% de farinha de milho (T5). A farinha de milho (100%) foi considerada controle e denominada T1.

Essas substituições foram determinadas após testes de expansão com substituição de 25 e 50% pela farinha de pupunha, onde a substituição pela maior concentração não possibilitou produtos com características desejáveis.

3.2.4 Processo de extrusão termoplástica

3.2.4.1 Condições do processo

As farinhas mistas foram processadas em extrusora de dupla rosca Clextral Evolum 25 HT (Firminy, França) (Figura 9) em condições de processo obtendo-se extrudados expandidos que foram então moídos para se obter as farinhas. Os parâmetros constantes foram: perfil de temperatura das 10 zonas de aquecimento: 30, 50, 80, 90, 90, 100, 100, 100, 130, 130°C; rotação dos parafusos a 400 rpm; umidade de processamento de 16%; matriz circular de um furo com 8 mm de diâmetro ; vazão de 8 kg/h da mistura de farinha. O ajuste da umidade final da mistura foi realizado por meio do painel do extrusor (Figura 10), ajustando-se a vazão de água (L/h), onde para o T1 a quantidade de água foi de 0,251, no T2 de 0,361, no T3 de 0,445, no T4 de 0,237 e no T5 de 0,217, obtidos de acordo com a equação 1, abaixo, a partir da umidade inicial média de cada mistura que foram 13,28%, 12,03%, 11,05%, 13,44% e 13,66%, respectivamente, determinadas em determinador de umidade por infravermelho marca Shimadzu modelo MOC – 120A (Japão).

A variável do processo foi apenas a porcentagem de farinha de pupunha da amostra.

$$A = (\% U_f - \% U_i / 1 - \% U_i) * V_{alim} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

% U_f: umidade final desejada

% U_i: umidade inicial média da mistura

V_{alim}: vazão em kg/h de sólidos pelo alimentador



Figura 9 Extrusora dupla rosca, marca Clextral Evolum 25 HT (Firminy, França)
Fonte: BASTO (2012)

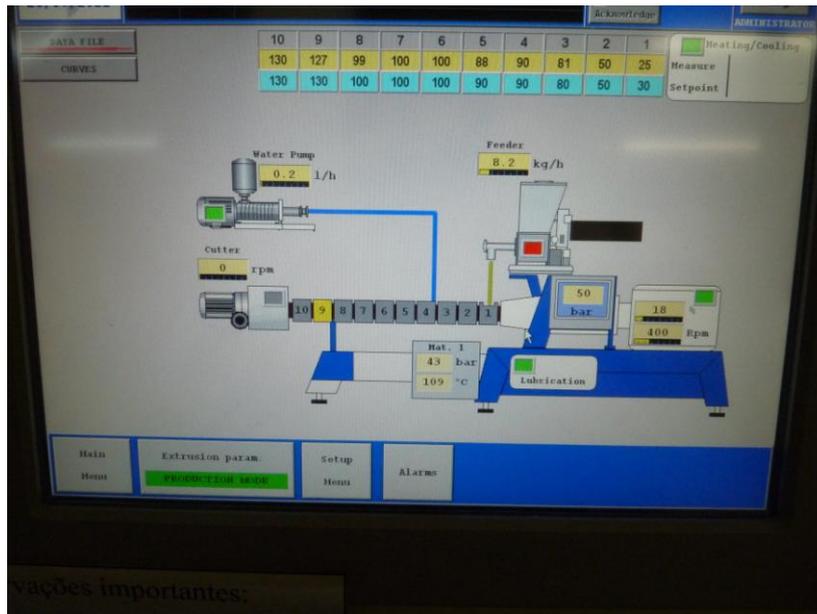


Figura 10 Painel de comandos da extrusora Clextral Evolum 25 HT (Firminy, França)
 Fonte: BASTO (2012)

3.2.4.2 Extrusão termoplástica

A extrusão das amostras foi iniciada após as zonas de alimentação, transição e alta pressão, atingirem as temperaturas desejadas conforme descrito acima. O produto extrudado foi coletado (Figura 11) após observar pouca variação da leitura de torque. Ao sair da matriz, os extrudados foram cortados com tesoura, em pedaços de aproximadamente 15 cm de comprimento, dispostos em bandejas, como mostra a Figura 12, para posterior secagem.

Para cada tratamento foram coletadas três amostras no início, meio e fim por 30 s em sacos plásticos de forma a determinar a vazão na saída da extrusora e umidade. A leitura da umidade foi usada no cálculo do índice de expansão longitudinal (item 3.2.6.2).



Figura 11 Extrudado de farinha de milho e pupunha saindo da matriz da extrusora
 Fonte: BASTO (2012)



Figura 12 Formato dos extrudados à base de misturas de farinha de milho e pupunha
Fonte: BASTO (2012)

3.2.4.3 Processo de secagem

Os extrudados expandidos foram secos após obtenção na saída da matriz, por meio de secador de ar forçado a 60°C por 4 h ou até que umidade final fosse inferior a 4% (base úmida). Após a secagem, parte dos extrudados foi moída para obtenção de material particulado usado nas determinações relativas ao monitoramento do grau de cozimento, são elas, viscosidade de pasta e índices de absorção e solubilidade em água. Já alguns extrudados inteiros foram reservados para outras análises físicas.

Os extrudados secos foram recolhidos em embalagem de polietileno até o momento do processo de moagem para obtenção da farinha. A moagem procedeu-se da mesma forma que a produção da farinha de pupunha no item 3.2.2.

3.2.5 Caracterização Química da Matéria-Prima e das Farinhas Extrudadas

3.2.5.1 Composição centesimal

As análises de composição centesimal (cinzas, umidade, extrato etéreo, proteínas) foram realizadas em duplicata, segundo a metodologia descrita pela AOAC (2010), nos laboratórios de análise físico-química da Embrapa - Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro, RJ).

Para a determinação da umidade da matéria-prima, farinha do fruto da pupunha e farinhas extrudadas, foi utilizado o método gravimétrico em estufa, até a obtenção de peso constante, de acordo com o método 931.04 da AOAC (2010). A análise de cinzas foi determinada por incineração do material em mufla a 550°C, segundo o método 923.03 da AOAC (2010). O teor de nitrogênio total das amostras foi determinado pelo procedimento tradicional de Kjeldahl, segundo método 2001.11 modificado (AOAC, 2010). Para o cálculo do teor de proteína, a partir do nitrogênio total obtido utilizou-se fator de conversão 5,75.

O extrato etéreo foi determinado utilizando-se o extrator de Soxhlet, por meio da extração com solvente orgânico, éter de petróleo, seguido da remoção por evaporação do solvente, segundo método 945.38 (AOAC, 2010). Os carboidratos foram calculados por diferença. As análises foram realizadas em duplicata para cada amostra.

3.2.5.2 Determinação de pH e acidez

Foram realizadas análises de acidez titulável do fruto *in natura*, da farinha do fruto e das farinhas extrudadas e pH da amostra do fruto *in natura*, pelo titulador automático Metrohm 794 Basic Titrino utilizando-se NaOH (AOAC, 2005). Foram realizadas triplicata de cada amostra.

3.2.5.3 Glicose, Frutose e Sacarose

Os teores de glicose, frutose e sacarose foram determinados segundo Macrae (1998), por cromatografia líquida de alta eficiência. Foi extraído, aproximadamente, 1g de amostra com, aproximadamente, 10 mL de água Milli-Q em ultra-som, por 20 min. Logo após, adicionou-se 5 mL de acetonitrila e o volume final, ajustado com água Milli-Q. O extrato foi centrifugado em *eppendorf*. Após a extração o filtrado foi transferido para o recipiente acoplado ao injetor automático, de onde 20 µL foram injetados no cromatógrafo. As condições cromatográficas foram: cromatógrafo líquido Waters Alliance 2695 com detetor de índice de refração Waters 2410, coluna Amino 4,6mm x 250mm (*High Performance Carbohydrate*), com temperatura 30°C, fase móvel acetonitrila 75% em água Milli-Q, com fluxo de 1,4 mL/min, volume de injeção de 20 µL.

3.2.5.4 Teor de carotenoides totais e seu Perfil de carotenoides

Os carotenoides foram extraídos das amostras *in natura*, das farinhas dos frutos e das farinhas solúveis dos extrudados com acetona fria e em seguida sofreram partição para éter de petróleo. Sendo então concentrados, através de evaporação do solvente até secura sob fluxo de nitrogênio, e diluídos em acetona (AMAYA; KIMURA, 2001). O perfil de carotenoides das amostras foram então analisados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), utilizando coluna C30. Foram analisados os seguintes carotenoides: violaxantina; luteína; zeaxantina; criptoxantina; α -caroteno; β -caroteno e licopeno, conforme a metodologia descrita por Pacheco (2009). As análises foram realizadas em triplicata.

3.2.6 Caracterização Física das Matérias Primas e das Farinhas Extrudadas

3.2.6.1 Análise de cor

A análise instrumental de cor foi realizada por reflectância utilizando o colorímetro Color Quest XE (Hunter Lab, Reston, EUA), escala CIELAB e CIELCh, com abertura de 0,375mm de diâmetro, com iluminante D65/10.

Os parâmetros de cor medidos foram:

L*: luminosidade (0 = preto e 100 = branco);

a*: (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho);

b*: (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo);

C* chroma: $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ em um sistema de coordenadas polares;

h° ângulo hue: $\arctan(b^*/a^*)$ em um sistema de coordenadas polares

ΔE : diferença total de cor = $\sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$ (Eq. 2)

Foram realizadas quatro repetições em cada amostra.

3.2.6.2 Índices de expansão

A expansão radial foi calculada através da razão entre a expansão radial final do extrudado e o diâmetro da matriz do extrusor. A expansão longitudinal foi calculada pela razão entre a velocidade do material extrudado antes da saída da matriz e ao deixar a matriz. Já a expansão volumétrica é o produto entre estas duas expansões (CARVALHO, et al., 2010). O diâmetro e o comprimento do extrudado foram medidos com auxílio de um paquímetro. Estes índices foram calculados através das equações abaixo e utilizando-se 20 seções de cada amostra.

$$\text{Índice de expansão radial (IER)} = [D/D_0]^2 \quad (3)$$

Onde:

D: diâmetro do extrudado quando atingir a temperatura ambiente

D₀: diâmetro da matriz

$$\text{Índice de expansão longitudinal (IEL)} = [\rho_d/\rho_e] [1/\text{IER}] [1 - M_d / 1 - M_e] \quad (4)$$

Onde:

ρ_d: densidade da massa fundida antes da matriz ou dentro do extrusor, considerada 1400 Kg/m³ (densidade do amido)

ρ_e: densidade do extrudado

M_d: umidade da massa da amostra dentro da extrusora em base úmida

M_e: umidade do extrudado em base úmida

$$\text{Índice de expansão volumétrica (IEV)} = \text{IER} * \text{IEL} \quad (5)$$

3.2.6.3 Densidade aparente

A densidade do extrudado expandido foi medida seguindo a metodologia descrita por Fan et al. (1996), através da equação 6:

$$\rho_e = \frac{4m}{\pi D^2 L} \quad (6)$$

Onde:

ρ_e = densidade aparente do extrudado;

m = a massa do extrudado;

L = comprimento do extrudado;

D = diâmetro do extrudado.

Esta análise foi realizada nas mesmas amostras que utilizou-se na determinação do índice de expansão radial.

3.2.6.4 Análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise da microestrutura das misturas cruas e extrudadas foram realizadas em microscópio eletrônico de varredura de bancada modelo TM 3000 (Hitachi, Tokio, Japão). As amostras foram colocadas em suporte metálico apropriado para a análise no MEV.

3.2.6.5 Avaliação do extrudado por imagem

Esta técnica embora muito simples permite observar as diferenças das estruturas internas dos extrudados por meio de simples *scanner* de escritório.

As amostras foram cortadas radialmente e a área cortada parcialmente imersa em solução de gelatina (10%) com KI (2%) e I₂ (1%), de forma que a estrutura interna e externa fiquem levemente coloridas pela reação entre o amido e a solução de iodo. A parte que foi imersa é colocada no *scanner* e as imagens obtidas são ampliadas de forma a permitir uma melhor visualização (ASCHERI, 2008).

3.2.6.6 Análise de difração de raio X

A determinação do perfil de difração foi realizada em equipamento Difrator de raios-X D2 Phaser (Bruker AXS, Rheinfelden Alemanha) equipado com tubo de cobre operando a 30 kV e 10 mA, produzindo radiação CuK α com 0,154 nm de comprimento de ondas. As amostras foram varridas de 2 a 32° (2 θ) na taxa de 0,15°/min, ao passo de 0,02°, largura da janela de divergência igual a 0,6 mm, largura da janela de espalhamento igual a 0,6 mm e largura da janela do detector igual a 0,2 mm (WU et al., 2010).

3.2.7 Características Tecnológicas Funcionais das Farinhas Solúveis dos Extrudados

3.2.7.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)

A determinação do ISA e IAA foi realizada de acordo com os princípios do método descrito por Anderson et al. (1969), modificado, realizados em quatro replicatas. Foi pesada cerca de 1 g de amostra em base seca, de cada tratamento, em tubos de centrífuga, previamente pesados. Posteriormente, foram adicionados 5 mL de água destilada, homogeneizados e em seguida adicionado mais 5ml para lavar as paredes dos tubos. Os tubos foram então colocados em banho maria a 25°C com agitador horizontal mecânico, da marca Dubnoff modelo NT232 (Piracicaba, São Paulo) , por 30 minutos. Em seguida, então os tubos foram colocados em uma centrífuga da marca Hettich, modelo Universal 320R (Tuttlingen, Alemanha), durante 15 min a 9000 rpm. Após a centrifugação, os líquidos sobrenadantes foram vertidos cuidadosamente em placas de petri, previamente pesadas, as quais foram submetidas ao processo de secagem em estufa com circulação de ar durante 4 h a 105 °C. Após este período, as placas foram colocadas em dessecador por 30 min. a fim de atingir a temperatura ambiente e logo após, pesadas.

A equação utilizada para o cálculo do índice de solubilidade em água está abaixo descrita:

$$ISA = \left[\frac{\text{Peso do resíduo da evaporação (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \right] \times 100 = \% \quad (7)$$

Logo após a retirada do líquido sobrenadante, os tubos foram pesados e assim, juntamente com o peso da amostra e o peso do resíduo que solubilizou na água destilada, foi encontrado o IAA do material extrudado.

O cálculo para este índice foi realizado de acordo com a equação adaptada por Hashimoto e Grossmann (2003), como segue:

$$IAA = \left[\frac{\text{Peso do resíduo da centrifugação (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \right] = g \text{ gel} / g \text{ matéria seca} \quad (8)$$

3.2.7.2 Viscosidade de pasta

A viscosidade de pasta foi determinada em Analisador Rápido de Viscosidade (RVA) (Newport Scientific, Austrália), que determina o grau de cozimento do produto extrudado. O sistema inicia a 25°C, mantendo-o por 2 min, quando então começa o aquecimento até atingir a temperatura de 95°C, aos 7 min, permanecendo durante 3 min. Então a temperatura começa a cair, fase de resfriamento, até a temperatura de 25°C novamente, totalizando 20 min de análise.

Seguiu-se basicamente a metodologia para materiais extrudados. As amostras tiveram suas umidades corrigidas para 14% (em base úmida) corrigindo a massa da amostra e adicionando-se água destilada, por meio das equações 9 e 10 (BECKER; HILL; MITCHELL, 2001).

$$S = 86 * A / 100 - M \quad (9)$$

$$W = 25 + (A - S) \quad (10)$$

Onde:

S: massa corrigida

A: peso da amostra a 14% que é 3g

M: umidade da amostra

W: massa de água corrigida

3.3 Análise estatística

Todas as análises estatísticas foram realizadas por análise de variância two way (ANOVA) e teste de média por LSD (Fisher), com 5% de significância. O software utilizado foi o Statistica 7.0 da Statsoft Inc. (Tulsa, USA, 2004).

Todo processo de obtenção das matérias-primas, extrusão para obtenção das farinhas pré-gelatinizadas, bem como as análises realizadas está representado no fluxograma da Figura 11.

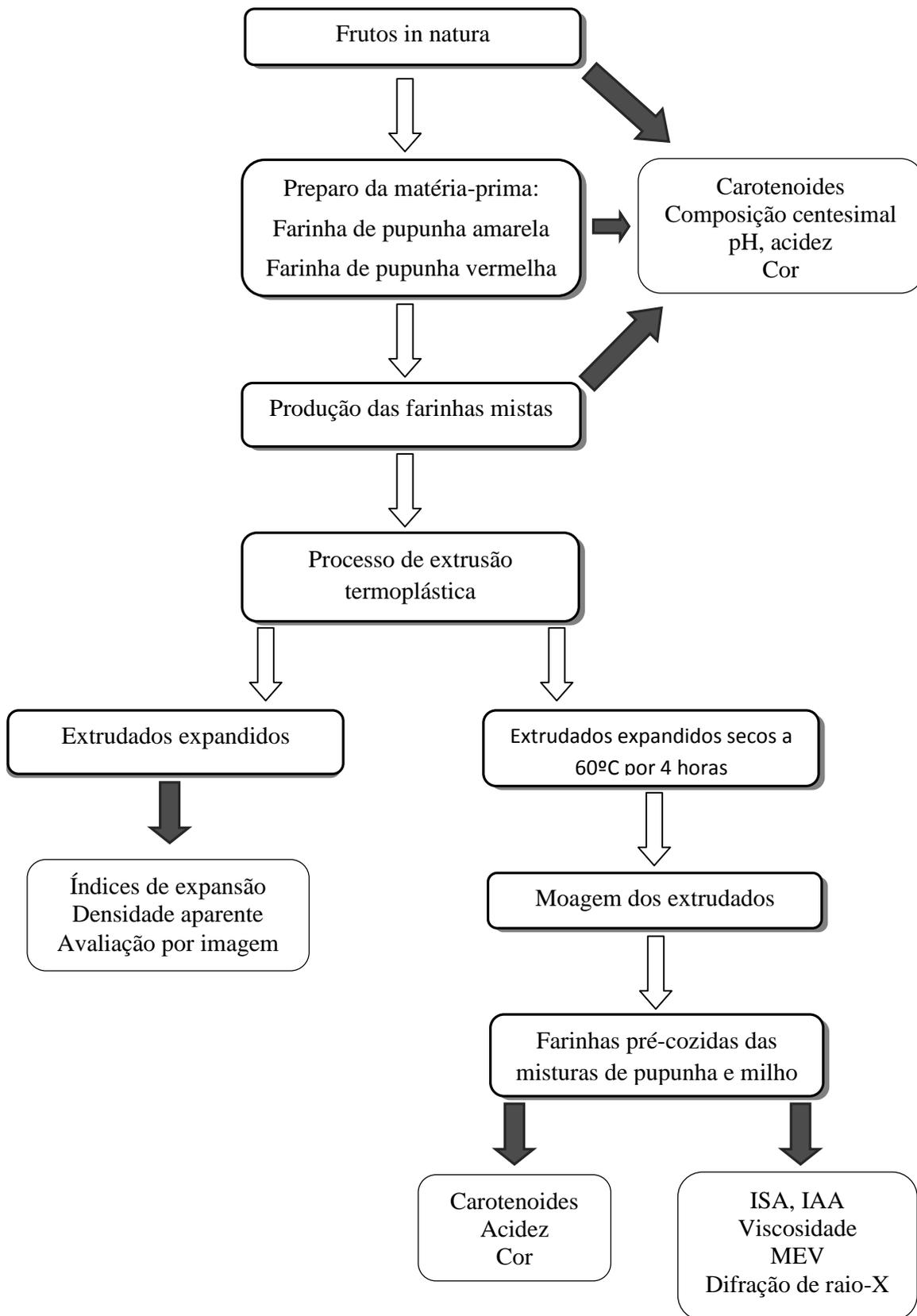


Figura 13 Fluxograma do processo de obtenção das farinhas pré-cozidas e análises realizadas

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teor de carotenoides e Perfil com a secagem

Os teores de carotenoides totais encontrados após secagem convencional por ar quente, nas temperaturas de 40°, 50° e 60°C, nos frutos de pupunha amarelo e vermelho estão dispostos na Tabela 1 e Figura 14. A secagem sob diferentes temperaturas podem causar a degradação de carotenoides em diferentes níveis.

Observa-se que a amostra de polpa vermelha apresentou teor de carotenoides bem superior a amostra de polpa amarela, 25749,35 mg contra 1800,86 mg/100 g do produto, diferentes significativamente entre si ($P < 0,05$). Não houve diferenças estatísticas entre a polpa amarela e a desidratação a 40° e 50°C. Já a farinha do fruto de pupunha amarela a 60°C (1111,77 mg/100 g) apresentou degradação de carotenoides com relação à polpa (1800,86 mg/100 g).

Entre as farinhas de pupunha vermelha desidratada a 40° e 50°C não houve diferença significativa entre os teores, 17321,25 mg e 19453,74 mg/100 g, respectivamente, ao nível de 5% de confiança. Foi encontrado valor bem inferior para o processo de secagem a 60°C com relação à polpa e as outras farinhas, o qual obteve teor de carotenoides totais de 11809,82 mg/100 g. Pode-se dizer que apesar do processo de desidratação degradar os carotenoides, em casos como a pupunha vermelha, por exemplo, os valores observados ainda são bem elevados, podendo ser considerada rica neste nutriente.

Jatunov et al. (2010) ao estudar a composição de carotenoides de diferentes variedades de fruto da pupunha e também comparar o efeito do cozimento nesses parâmetros encontraram valores totais de carotenoides que variaram de 1,1 mg no fruto amarelo cru de Gatuso a 22,3 mg/100 g no fruto vermelho cru da Bolívia, enquanto que os frutos cozidos variaram de 1,3 mg na pupunha em Gatuso a 21,1 mg/100 g no fruto vermelho em Darién. Verificaram ainda que alguns frutos como do Brasil e Colômbia obtiveram maiores teores após cozimento (6,4 para 6,8 mg e 3,6 para 4,1 mg, respectivamente), ao passo que outros frutos como da Bolívia e Costa Rica encontraram diminuição do teor com este processamento.

Os maiores teores de carotenoides totais observados foram nos frutos da Bolívia e Darién, e são bem inferiores, assim como o reportado por Rosso e Mercadante (2007) nos frutos de pupunha da Amazônia (19,7 mg/100 g), do observado no presente estudo para ambas as variedades de frutos estudados. Ao se comparar o teor encontrado no fruto amarelo, com 1800 mg/100 g de carotenoides neste estudo, com o fruto amarelo light cru e cozido de Guatuso (1,1 mg e 1,3 mg/100 g, respectivamente), também pode se dizer que foi bem superior aos da literatura.

Tabela 1 Valores de carotenoides totais da polpa e farinha dos frutos de pupunha amarelo e vermelho após desidratação

Carotenoides totais	
mg/100g	
Polpa Amarela	1800,86 ^d
Polpa Vermelha	25749,35 ^a
Farinha Amarela a 40°C	1669,99 ^d
Farinha Vermelha 40°C	17321,25 ^b
Farinha Amarela a 50°C	1769,22 ^d
Farinha Vermelha a 50°C	19453,74 ^b
Farinha Amarela a 60°C	1111,77 ^e
Farinha Vermelha a 60°C	11809,82 ^c

^{a,b}Valores com letras diferentes indicam diferença significativa entre si P <0,05

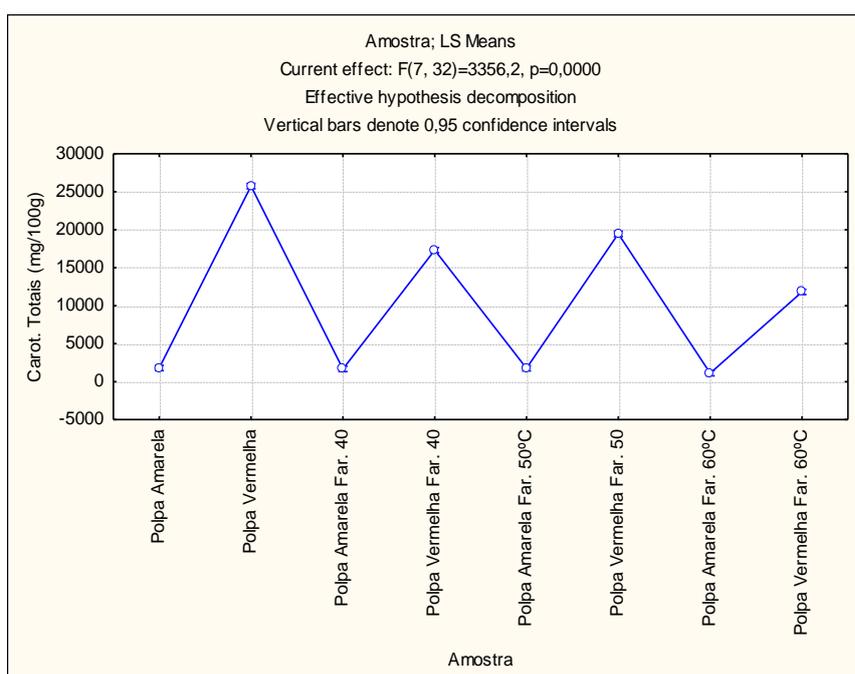


Figura 14 Carotenoides totais da polpa e farinha desidratada a diferentes temperaturas do fruto de pupunha amarela e vermelha

Monge-Rojas e Campos (2011) ao analisarem variedades de tocoferol e carotenoides em alimentos comumente consumidos na Costa Rica verificaram que em fruto de pupunha cozido sem casca, o teor de carotenoide total foi de 236,28 µg/100 g do produto, valor bem abaixo do verificado.

Muratore et al. (2008) examinado o efeito da desidratação parcial de tomates cereja sob diferentes temperaturas na composição química dos mesmos, observaram que em tomates não tratados a maior perda de β-caroteno foi a 40 °C (38 mg no fruto *in natura* contra 28,6 mg/100 g no fruto cozido) e a maior retenção foi a 80 °C com 34,8 mg/100 g. Diferentemente

do presente estudo, onde houve perda com a secagem em todas as temperaturas testadas para o fruto vermelho e perda apenas a 60 °C para o fruto amarelo, quando comparada a polpa. Já ao imergir o fruto em solução de cloreto de sódio, ácido cítrico e cloreto de cálcio antes da secagem houve preservação do nutriente a 40°C por longo período (24 h).

Topuz et al. (2011) comparando o efeito da secagem convencional, em forno e liofilização de páprica, mostraram que a concentraao de carotenoides diminuiu com a liofilizaao e secagem em forno, 1607,8 mg e 1467,0 mg contra 2318,1 mg/kg no produto fresco, enquanto que, a secagem convencional teve a maior concentraao deste nutriente (2528,0 mg/kg) quando comparada aos outros métodos. Com aumento de quase todos os carotenoides, com exceao da violaxantina que teve pequena reduao.

Demiray, Tulek e Yilmaz (2013) ao determinar a degradaao cinética de licopeno, β -caroteno e ácido ascórbico em tomates durante desidrataao a ar quente com temperaturas variando de 60° a 100 °C, verificaram que ao aumentar a temperatura de 70° para 80 °C havia perda de 2,4 vezes maior de licopeno. Já para o β -caroteno a 60 °C ocorreu a menor degradaao (305,24 mg no produto fresco contra 58,02 mg/100 g após secagem), que acelerou com o aumento da temperatura. A secagem a 40 °C por 29 h obteve teor de 28,6 mg e a 80 °C por 4hs de 34,8 mg/100 g de β -caroteno. Concluindo assim que, a degradaao é altamente influenciada pelo tempo de secagem.

A Tabela 2 apresenta os carotenoides identificados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) tanto da polpa quanto da farinha desidratada a 40°, 50° e 60 °C de ambas as variedades estudadas.

Tabela 2 Conteúdo e identificaao dos carotenoides presentes no fruto e na farinha de pupunha amarela e vermelha

	Carotenoide (mg/100g)						
	Luteína	Zeaxantina	β -criptoxantina	α -caroteno	β -caroteno	13-cis- β -caroteno	9-cis- β -caroteno
Polpa Amarela	99,33 \pm 28,7	13,33 \pm 4,2 ^a	8,0 \pm 1,0 ^b	26,0 \pm 1,0 ^b	135,33 \pm 6,0 ^b	13,0 \pm 2,6 ^b	17,33 \pm 0,6 ^b
Polpa Vermelha	85,67 \pm 26,4	0,0 \pm 0,0 ^b	31,33 \pm 3,5 ^a	171,0 \pm 4,6 ^a	2280,0 \pm 126,0 ^a	101,33 \pm 5,5 ^a	242,33 \pm 9,0 ^a
Farinha Amarela a 40°C	186,67 \pm 5,1 ^b	21,0 \pm 1,7 ^b	9,0 \pm 7,0 ^b	34,67 \pm 0,6 ^c	165,0 \pm 1,0 ^c	20,0 \pm 0,0 ^b	32,33 \pm 1,2 ^b
Farinha Amarela a 50°C	213,0 \pm 19,7 ^{ab}	28,0 \pm 2,6 ^a	14,67 \pm 0,6 ^a	34,67 \pm 5,0 ^c	175,33 \pm 20,1 ^c	29,33 \pm 3,5 ^b	38,67 \pm 4,2 ^b
Farinha Amarela a 60°C	80,33 \pm 9,1 ^c	10,0 \pm 3,6 ^c	9,67 \pm 1,2 ^{ab}	22,67 \pm 1,5 ^c	91,67 \pm 10,2 ^c	15,33 \pm 1,5 ^b	30,33 \pm 1,5 ^b
Farinha Vermelha a 40°C	241,67 \pm 50,4 ^a	0,0 \pm 0,0 ^d	0,0 \pm 0,0 ^c	300,33 \pm 13,9 ^a	3399,33 \pm 181,6 ^a	529,67 \pm 35,6 ^a	529,33 \pm 318,9 ^a
Farinha Vermelha a 50°C	104,67 \pm 16,3 ^c	0,0 \pm 0,0 ^d	0,0 \pm 0,0 ^c	207,33 \pm 64,5 ^b	2543,0 \pm 778,9 ^b	637,33 \pm 211,9 ^a	657,33 \pm 201,3 ^a
Farinha Vermelha a 60°C	109,33 \pm 13,8 ^c	0,0 \pm 0,0 ^d	0,0 \pm 0,0 ^c	232,0 \pm 14,7 ^b	2054,33 \pm 121,9 ^b	505,0 \pm 35,6 ^a	659,67 \pm 38,4 ^a

T1 - 100% milho; T2 - 15 % pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela; T4 - 15% pupunha vermelha; T5 - 25% pupunha vermelha

^{a,b}Médias com letras diferentes entre cada tipo de carotenoide para polpa/farinha indicam P <0,05

A polpa de pupunha vermelha apresentou teor significativamente superior para a maioria dos carotenoides identificados, com relaao à polpa amarela, com exceao da zeaxantina que não foi encontrada no fruto vermelho, e a luteína, que não obteve diferença significativa entre as duas variedades (Figuras 15 e 16).

O β -caroteno obteve o maior teor com relaao aos outros carotenoides, em ambas as variedades, porém, valor significativamente superior na polpa do fruto vermelho (2280,0 mg/100 g). Seguido do isômero 9-cis- β -caroteno (242,33 mg/100 g), e do α -caroteno (171,0 mg/100 g). Já para a polpa amarela, o segundo carotenoide com maior teor foi a luteína com 99,33 mg/100 g, seguido do α -caroteno com 26,0 mg/100 g, significativamente inferior ao da polpa vermelha (P<0,05).

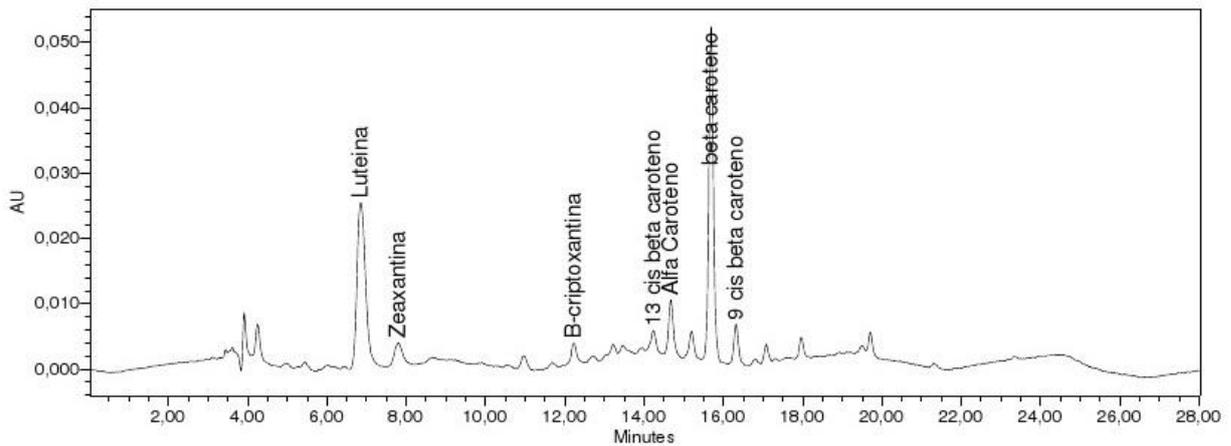


Figura 15 Cromatograma dos carotenoides da polpa de pupunha amarela, faixa de 450 nm

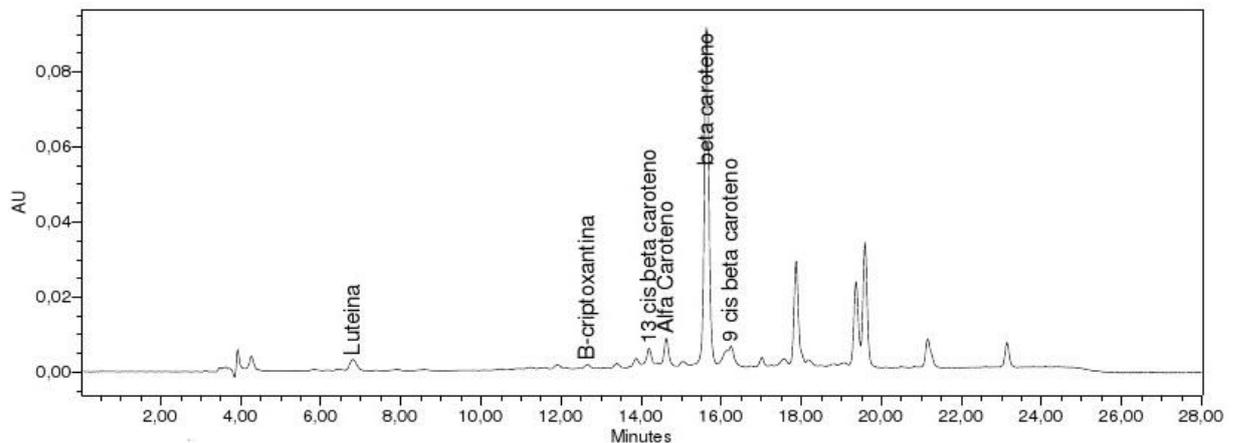


Figura 16 Cromatograma dos carotenoides da polpa de pupunha vermelha, faixa de 450 nm

Tratamento térmico e exposição à luz pode mudar a geometria do β -caroteno da forma *trans*- para *cis*-, convertendo principalmente a 9-*cis* e 13-*cis*- β -caroteno (QIU; CHEN; LI, 2009). Entretanto, pode ocorrer naturalmente na matriz do alimento, talvez por fotoisomerização, ainda no fruto imaturo (LESSIN; CATIGANI; SCHWARTZ, 1997; O'SULLIVAN et al., 2010; ZEB, 2012). Estudos apontam que tempo-temperatura são os principais responsáveis pela degradação e conseqüente formação destes isômeros. Temperaturas abaixo de 100 °C resultam predominantemente em 13- e 15-*cis*-isômero, enquanto que, o isômero 9-*cis*- é formado a temperaturas acima de 90 °C por processamentos acima de 60 min (HIRANVARACHAT; SUVARNAKUTA; DEVAHASTIN, 2008; MARX et al., 2003).

Contudo, de acordo com a Tabela 2 e as condições de secagem do presente estudo, pode-se verificar que tais isômeros além de já estarem presentes no fruto in natura, houve maior formação em temperaturas de 40° a 60 °C, talvez pelo prolongado tempo de secagem, porém sem haver degradação do β -caroteno.

Outros carotenoides e isômeros de frutos da pupunha, de outras regiões, foram identificados em diferentes estudos, como: all-*trans*- δ -caroteno, all-*trans*- γ -caroteno, 2-, 3-, 5-*cis*- γ -caroteno, 9-*cis*-licopeno, 15-*cis*- β -caroteno, *cis*- δ -caroteno, licopeno, dentre outros (JATUNOV et al., 2010; ROJAS-GARBANZO et al., 2011; ROSSO; MERCADANTE, 2007). Isso pode ser devido, tanto as diferenças entre cultivares, variedades, estágio de maturação, quanto à influência do clima, solo e região de onde os frutos são produzidos (DUTTA; CHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2005; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008).

Após a desidratação, pode-se observar que houve aumento do teor, em ambas as variedades, com relação à maioria dos carotenoides identificados, com exceção da β -criptoxantina, que aumentou apenas com a temperatura de 50 °C, para a pupunha amarela. Já na polpa vermelha houve redução deste composto, não sendo identificado no cromatograma das farinhas de pupunha vermelha (Figuras 17 e 18). Entretanto, a temperatura de 60 °C degradou a maioria dos carotenoides do fruto amarelo, com exceção dos isômeros 13-*cis* e 9-*cis*- β -caroteno e da β -criptoxantina, que aumentaram.

É importante ressaltar que no fruto de pupunha vermelha após o processo de desidratação houve aumento em torno de 2 a 6 vezes mais no valor de cada carotenoide analisado, como por exemplo, o isômero 13-*cis*- β -caroteno que obteve teor de 637,33 mg/100 g na farinha a 50 °C, enquanto que na polpa tinha apenas 101,33 mg/100 g do produto. Entretanto, tais teores foram superiores com a secagem a 40 °C.

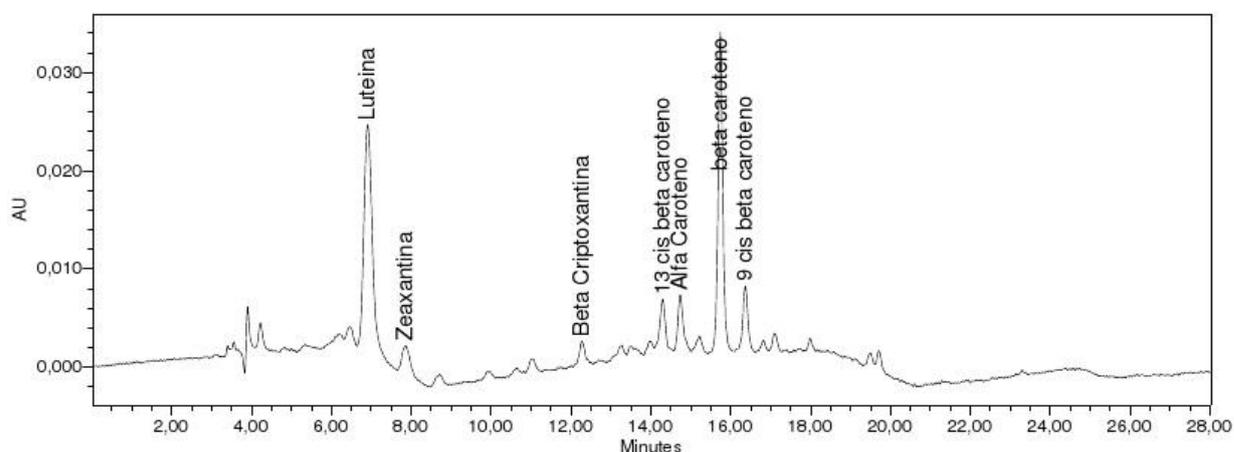


Figura 17 Cromatograma dos carotenoides da farinha de pupunha amarela a 50 °C, faixa de 450 nm

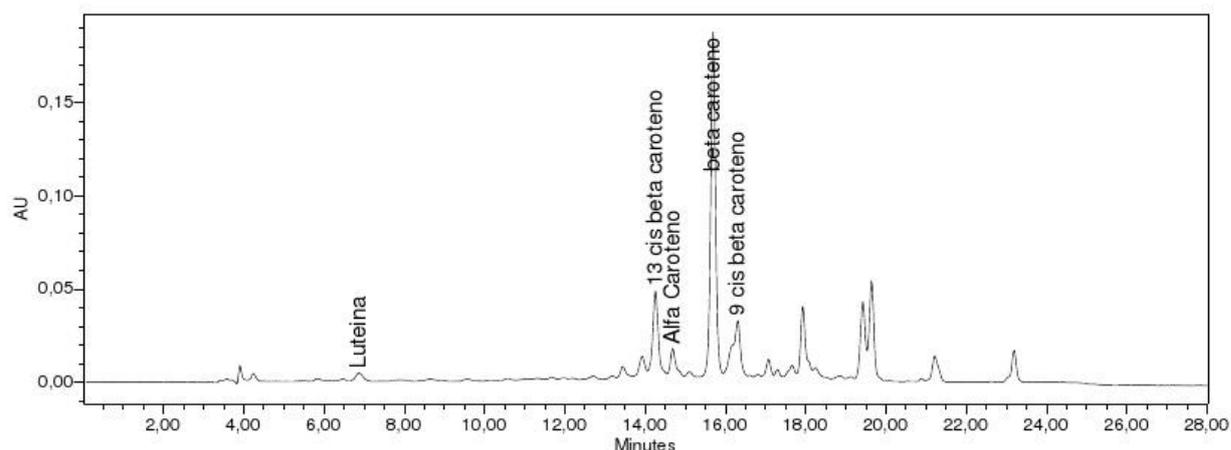


Figura 18 Cromatograma dos carotenoides da farinha de pupunha vermelha a 50 °C, faixa de 450 nm

Dutta et al. (2006) ao determinar a cinética de degradação térmica de β -caroteno de abóbora, verificaram que a 60 °C o teor de β -caroteno aumentou significativamente de 10,94 $\mu\text{g/g}$ no purê para 14,05 $\mu\text{g/g}$ no produto seco. Afirmando que, o processamento térmico tem sido relatado por aumentar a concentração de beta-caroteno, talvez por causar maior extração

química e perda de umidade, devido à concentração dos sólidos solúveis totais na amostra. O que também pode ser conferido nas amostras do presente estudo.

Já Karabulut et al. (2007) ao investigar o efeito da secagem através do ar quente e sol na qualidade de damasco, observou que a desidratação a 50 °C causou a maior perda de beta-caroteno, devido possivelmente ao aumento do tempo de secagem, pois ao aumentar a temperatura as perdas foram menores, o que também facilitou a solubilidade deste nutriente.

Hiranvarachat, Suvarnakuta e Devahastin (2008) estudando o efeito da secagem por ar quente, vácuo e baixa pressão de vapor superaquecido (LPSSD) em cenouras obtiveram retenções de β -caroteno diferentes de acordo com a temperatura. Na secagem com ar quente, por exemplo, a degradação começou entre as temperaturas de 45 a 60 °C. Isso se deve provavelmente ao fato da lipoxigenase, que é um catalisador de reações aeróbicas, ser ativada em torno dos 60 °C. Além disso, em todas as amostras secas, o isômero 13-*cis*- β -caroteno foi detectado. Com a secagem a ar quente, o seu aparecimento foi a 60 °C, já na secagem a vácuo, a temperatura responsável pela sua produção foi a de 50 °C, e em LPSSD sua formação foi a 60 °C aos 150 min, a 70 °C aos 120 min e a 80 °C aos 60 min.

4.2 Caracterização Química da Matéria-Prima e das Farinhas Extrudadas

4.2.1 Composição centesimal

A caracterização das matérias primas utilizadas na elaboração dos extrudados expandidos são apresentadas na Figura 19. A umidade das polpas dos frutos de pupunha, amarela e vermelha, representa pouco mais da metade do peso do fruto, 51,7 e 51,5 g/100 g do produto, respectivamente. Estes valores encontrados, corroboraram com algumas amostras estudadas por Yuyama et al. (2003) e Leterme et al. (2005) como a Pampa-8 e a vermelho-esverdeada da Floresta tropical, respectivamente.

Em termos de sólidos, o maior componente é o carboidrato que representa 38,8% na polpa amarela e 37,9% na polpa vermelha, que apresentou-se superior ao encontrado nos trabalhos descritos por Ferreira e Pena (2003) e Yuyama et al., (2003), que foi de 25,1% e variou de 24,3 a 35%, respectivamente. Seguido pelo extrato etéreo, que apresenta 6,58% do peso na polpa amarela e 7,48% do peso na polpa vermelha, que também pôde ser observada em algumas amostras, como a amarela-alaranjada e laranja-esverdeada da Floresta tropical, no estudo de Leterme et al. (2005). O teor de ácido graxo livre analisado, expresso em ácido oléico (C18:1) foi de 58,62% na pupunha amarela e 58,17% na pupunha vermelha. Este ácido graxo monoinsaturado também foi o mais frequentemente encontrado, e em grande quantidade, com variação de 42,8 a 60,8% em pupunhas produzidas na Amazônia Central como observado no trabalho de Yuyama et al. (2003).

Entretanto, a composição verificada no presente estudo diferiu da maioria das amostras analisadas nestes mesmos estudos acima descritos e também em outros, o que pode ser devido não só a grande diversidade de variedades existentes, como também a seleção dos frutos na hora da colheita. Verifica-se que a escolha de frutos maiores e mais maduros favorece o acúmulo de carboidrato (LETERME et al., 2005; YUYAMA et al., 2003).

Já com relação à proteína, o fruto da pupunha apresentou baixo teor desse nutriente, por apresentar 1,95 % na polpa amarela e 2,13% na polpa vermelha. Esta variação foi similar a reportada por Ferreira e Pena (2003) e esta dentro do intervalo de 1,8 a 2,7% verificado por Yuyama et al. (2003).

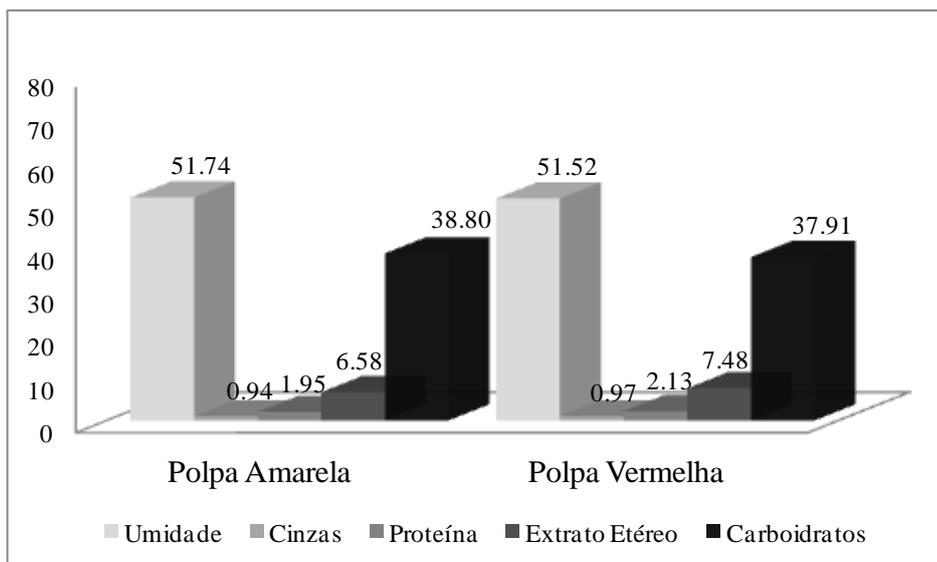


Figura 19 Composição centesimal dos frutos de pupunha utilizados, em % peso fresco

As farinhas de pupunha amarela e vermelha são compostas principalmente por carboidratos (79,97 e 78,59 g/100 g de produto, respectivamente) e óleo (13,46 e 15,4 g/100 g de produto, respectivamente), como descrito na Tabela 3, a composição química das pupunhas analisadas e as da literatura, para fins de comparação. Todos os valores foram expressos em gramas por 100 g de matéria seca.

Em termos gerais, os resultados obtidos no presente estudo estão de acordo com a literatura, com exceção da umidade da farinha de pupunha vermelha analisada que obteve um valor bem mais elevado que a farinha de pupunha amarela, diferindo assim significativamente entre si ($P < 0,05$), e que os valores citados na literatura.

Os teores de lipídeos também não estão de acordo com a literatura, e diferiram estatisticamente entre as duas variedades estudadas no presente trabalho. Vale resaltar que as pupunhas analisadas neste estudo foram recebidas já tendo passado pelo processo de autoclavagem, a fim de evitar deterioração. E após foram secas em estufa a 50 °C. Vale lembrar ainda que nos trabalhos encontrados na literatura, a pupunha foi cozida em água fervente e então seca em estufa a 60 °C.

Tabela 3 Caracterização físico-química de farinhas de pupunha

	Farinha de pupunha Amarela	Farinha de pupunha Vermelha	Carvalho et al. (2009)	Oliveira et al. (2006)
Umidade	7,77 ± 0,09 ^b	17,92 ± 1,23 ^a	6,21 ± 0,24	7,09 ± 0,17
pH	5,18 ± 0,03 ^a	4,83 ± 0,02 ^b	6,16 ± 0,01	-
Acidez	1,70 ± 0,02 ^b	1,80 ± 0,03 ^a	1,34 ± 0,09	-
Cinzas	1,95 ± 0,04	1,93 ± 0,02	1,53 ± 0,03	1,49 ± 0,06
Proteína	4,61 ± 0,08 ^a	4,06 ± 0,09 ^b	4,15 ± 0,04	4,23 ± 0,22
Lipídios	13,46 ± 0,11 ^b	15,43 ± 0,03 ^a	11,56 ± 0,25	5,88 ± 0,11
Carboidratos	79,97 ± 0,25	78,59 ± 1,39	81,06 ± 0,05	83,81 ± 1,01
Glicose	1,16 ± 0,04 ^a	0,47 ± 0,16 ^b	-	-
Frutose	0,78 ± 0,07 ^a	0,45 ± 0,08 ^b	-	-
Sacarose	-	-	-	-

Resultados em base seca

Médias com as letras ^{a,b} entre as colunas diferentemente si (P<0,05)

As farinhas de pupunha, tanto amarela quanto vermelha, podem ser consideradas como fornecedoras de amido (JANE; SHEN; AGUILAR, 1992; LETERME et al., 2005; YUYAMA et al., 2003; QUESADA et al., 2011) para o processo de extrusão termoplástica, provocando a gelatinização, característica das farinhas extrudadas, já que o percentual de carboidratos foi elevado (78,59 e 79,97%, respectivamente). Tais valores podem ser comparados às fontes de amido geralmente utilizadas para este processo de extrusão termoplástica, como o milho, 79,71%, e o arroz, 75,73% (MOURA, 2012).

Entretanto, o alto teor de óleo pode diminuir significativamente o grau de gelatinização do amido devido à lubrificação gerada pela gordura, por diminuir a temperatura do cilindro (MORARU; KOKINI, 2003).

A farinha de pupunha apresentou pH de 4,83 e 5,18, o que a caracteriza como um alimento de baixa acidez (pH > 4,5). Valores estes mais baixos que o descrito por Carvalho et al. (2009). Os valores de acidez encontrados foram de 1,70 e 1,80 para as farinhas de pupunha amarela e vermelha, respectivamente, teores esses mais altos que o verificado no trabalho de Carvalho et al. (2009), que definiu este fruto como ácido.

Os açúcares encontrados nas farinhas de pupunha foram a glicose e a frutose com diferença significativa para ambos (P<0,05), entre as variedades estudadas. A farinha de pupunha amarela obteve os maiores teores tanto para glicose com 1,16 g/ 100 g do produto, quanto para a frutose com 0,78 g/ 100 g.

A composição centesimal dos cinco tratamentos com as misturas de farinha de pupunha e *grits* de milho, antes da extrusão está exposta na Tabela 4. Pode-se observar que todos os nutrientes obtiveram diferenças significativas ao nível de 5% de confiança, entre os diversos tratamentos. Nota-se que o teor de proteína do tratamento T1 foi significativamente diferente dos demais por conter apenas milho, alimento este que oferece mais proteínas em sua composição que os frutos de pupunha, que apresentam em torno de 4% (Tabela 3), o que consequentemente contribui para o aumento deste nutriente nos outros tratamentos.

Entretanto não se verificou diferença entre os tratamentos que tinham na mistura a pupunha, já que a diferença entre a porcentagem de milho empregada foi de apenas 10%. Com relação ao teor de cinzas, ocorreu o inverso, como a farinha de pupunha apresenta em torno de três vezes mais cinzas que o *grits* de milho, este favoreceu o aumento deste nutriente nas misturas, onde foi praticamente similar. No entanto, observou-se diferença apenas entre o tratamento com 25% de pupunha amarela e 15% de pupunha vermelha, embora tenham sido semelhantes aos demais. O teor de cinzas expressa o teor de minerais presentes nos alimentos, embora sejam quantificados como sulfatos, cloretos, óxidos metálicos dentre outros, o que acaba superestimando este conteúdo (FELLOWS, 2006; FRANCO, 2007; MOURA, 2012).

O pH variou de 5,18 a 6,44, onde o maior valor foi para do T1, que continha apenas milho e o menor valor foi do T5, com 25 % de pupunha vermelha. Era de se esperar que as misturas com farinha de pupunha vermelha obtivesse menores teores de pH porém, as formulações T3 e T4 não obtiveram diferença significativa entre si ($P>0,05$). A acidez variou de 0,08 a 0,54 g/ 100 g do produto. O T1 obteve menor teor de acidez já que seu pH foi maior. O maior teor foi do T3 com 0,54 g, seguido do T5 com 0,49 g/100 g do produto.

Todas as formulações podem ser caracterizadas como alimentos de baixa acidez por ter pH maior que 4,5.

Tabela 4 Caracterização físico-química das farinhas mistas de pupunha e milho antes da extrusão

	T1	T2	T3	T4	T5
Umidade	14,1 ± 0,21	13,39 ± 0,01	12,59 ± 0,02	14,64 ± 0,10	14,92 ± 0,06
pH	6,44 ± 0,68 ^a	5,57 ± 0,07 ^b	5,33 ± 0,03 ^c	5,31 ± 0,02 ^c	5,18 ± 0,05 ^d
Acidez	0,08 ± 0,01 ^e	0,35 ± 0,02 ^c	0,54 ± 0,01 ^a	0,33 ± 0,02 ^d	0,49 ± 0,01 ^b
Proteína	7,23 ± 0,01 ^a	6,81 ± 0,13 ^b	6,62 ± 0,05 ^b	6,64 ± 0,24 ^b	6,56 ± 0,09 ^b
Lipídios	1,44 ± 0,04 ^d	3,41 ± 0,07 ^c	4,55 ± 0,09 ^b	3,56 ± 0,19 ^c	4,83 ± 0,04 ^a
Cinzas	0,54 ± 0,03 ^c	0,81 ± 0,02 ^{ab}	0,9 ± 0,06 ^a	0,79 ± 0,04 ^b	0,85 ± 0,05 ^{ab}
Carboidratos	90,81 ± 0,25 ^a	88,98 ± 0,22 ^b	87,94 ± 0,11 ^c	89,03 ± 0,52 ^b	87,78 ± 0,12 ^c

Resultados em base seca

T1 - 100% milho; T2 - 15 % pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela; T4 - 15% pupunha vermelha;

T5 - 25 % pupunha vermelha

^{a,b} Médias com letras diferentes entre as colunas indicam $P < 0,05$

Como observado anteriormente as farinhas de pupunha possuem elevado teor de lipídios (Tabela 3), de nove a onze vezes mais que a farinha de milho (T1), contribuindo para o aumento deste teor nas farinhas mistas, que variou de 3,41 a 4,83 g/100g no produto.

Os tratamentos com 15% de pupunha seja amarela ou vermelha, não apresentaram diferença significativa ($P>0,05$), mas quando comparados com os extrudados adicionados de 25% do fruto, houve diferença significativa, ao nível de 5% de confiança, os quais expressaram valores superiores, 4,55 e 4,83%, para as variedades amarela e vermelha, respectivamente.

Entretanto a diferença de percentual de lipídios na farinha de pupunha vermelha (15,43% contra 13,46% da amarela) parece ter contribuído para um teor de nutriente mais elevado no T5 quando comparado ao tratamento com também 25% de pupunha, porém amarela.

Por outro lado, com relação aos carboidratos os tratamentos com a mesma porcentagem de farinha de pupunha, tanto para a cultivar amarela como a vermelha, não obtiveram diferença significativa ($P > 0,05$) entre eles, mas diferiram dos tratamentos com diferentes percentuais. Sendo assim, os tratamentos com 15% de pupunha amarela e vermelha (T2 e T4, respectivamente) não foram diferentes entre si, mas foram diferentes quando comparados aos tratamentos T3 e T5, com 25% de farinha de pupunha. Estes últimos possuem menor percentual de carboidratos quando comparados às misturas com 15% de pupunha devido a farinha de milho, que apresenta o valor mais elevado deste componente (90,81 g/100 g do produto).

A extrusão termoplástica resulta de modificações físicas e químicas nos materiais extrudados, levando a solubilização e reações de alguns nutrientes dos alimentos até então indisponíveis, podendo alterar de forma significativa o teor dos mesmos. Entretanto tais modificações dependem da severidade do tratamento (ASCHERI et al., 2006; SOUZA; LEONEL, 2010). Assim, o valor nutricional dos lipídios de alimentos, quando aquecidos, por exemplo, no processo de extrusão são afetados como resultado da oxidação, hidrogenação e isomerização dos ácidos graxos, podendo ainda formar complexos lipídio-amilose.

A diferença entre o teor lipídico de todos os tratamentos antes e depois do processo de extrusão pode ser observada nas Tabelas 4 e 5. Após a extrusão, o teor de lipídio reduziu em 81,9% no T1, 79,2% no T2, 67,5% no T3, 81,2% no T4 e 69,8% no T5. E em contrapartida os carboidratos aumentaram significativamente nos tratamentos com pupunha (T2-T5). Não houve diferença em relação ao teor de proteína.

Ainda de acordo com a Tabela 5 os compostos que variaram significativamente ($P < 0,05$) entre os tratamentos foram as cinzas, proteínas e lipídios. Onde as maiores diferenças observadas foram entre os percentuais de pupunha analisadas, havendo pouca distinção entre o tipo de pupunha adicionada. E o T1, que naturalmente diferiu dos demais por ser composto apenas de milho.

Tabela 5 Caracterização físico-química das farinhas mistas extrudadas

	T1	T2	T3	T4	T5
Umidade	4,63 ± 0,06	4,78 ± 0,00	5,71 ± 0,40	5,21 ± 0,43	5,79 ± 0,20
pH	5,98 ± 0,02 ^a	5,57 ± 0,04 ^b	5,34 ± 0,06 ^d	5,41 ± 0,04 ^c	5,26 ± 0,04 ^e
Acidez	0,15 ± 0,00 ^c	0,39 ± 0,01 ^d	0,52 ± 0,01 ^b	0,42 ± 0,00 ^c	0,59 ± 0,01 ^a
Proteína	7,27 ± 0,05 ^a	6,86 ± 0,04 ^b	6,55 ± 0,04 ^c	6,79 ± 0,17 ^b	6,41 ± 0,08 ^c
Lipídios	0,26 ± 0,01 ^c	0,71 ± 0,01 ^b	1,48 ± 0,04 ^a	0,67 ± 0,01 ^b	1,46 ± 0,04 ^a
Cinzas	0,51 ± 0,01 ^c	0,73 ± 0,02 ^b	0,79 ± 0,01 ^a	0,73 ± 0,01 ^b	0,78 ± 0,03 ^a
Carboidratos	91,96 ± 0,11	91,71 ± 0,04	91,19 ± 0,45	91,82 ± 0,28	91,35 ± 0,11

Resultados em base seca

T1 - 100% milho; T2 - 15 % pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela; T4 - 15% pupunha vermelha;

T5 - 25 % pupunha vermelha

^{a,b}Médias com letras diferentes entre as colunas indicam $P < 0,05$

Muito se tem feito para aproveitar as diferentes matérias-primas, ricas em nutrientes, de forma a aumentarem a qualidade nutritiva do produto final, a partir da extrusão termoplástica. Com isso, vários estudos têm sido realizados sobre os fatores que podem afetar o processo. Os fatores que possuem influência significativa na extrusão, além dos parâmetros operacionais são os parâmetros dos materiais, tais como estrutura molecular, interações entre os componentes e principalmente sua composição (ASCHERI et al., 2006; LUSTOSA; LEONEL, 2010; KARKLE; ALAVI; DOGAN, 2012; MORARU; KOKINI, 2003; SOUZA; LEONEL, 2010).

4.2.2 Teor de carotenoides e Perfil

A pupunha (*Bactris gasipaes*) tem sido estudada para diferentes propósitos, mas principalmente para comercialização, podendo aumentar o valor agregado de produtos, como geleias, biscoitos e farinha, para a preparação de diferentes alimentos, devido ao conteúdo e qualidade dos carotenoides presentes (GÓMEZ; QUESADA; NANNE, 1998; IVANKOVICH-GUILLÉN; FLORES-DELVALLE; ARAYA-QUESADA, 2010; JATUNOV et al., 2010; QUESADA et al., 2011; YUYAMA et al., 1991; YUYAMA et al., 2003; ZUMBADO; MURILLO, 1988).

Este micronutriente é um poderoso antioxidante, que pode desempenhar importante papel protegendo o organismo humano contra numerosas doenças associadas ao estresse oxidativo, prevalentes atualmente na população. Estudos tem mostrado aumento de carotenoides em lipoproteínas, aumento da capacidade antioxidante do plasma e níveis mais baixos de biomarcadores de estresse oxidativo, após o consumo de frutas e vegetais cozidos ricos em carotenoides (BUB et al., 2000; ROSSO; MERCADANTE, 2007; VASCONCELOS et al., 2007).

Yuyama et al. (1991) e, Yuyama e Cozzolino (1996) ao estudar a biodisponibilidade de vitamina A, analisando as reservas do fígado e plasma em ratos, encontraram diferença significativa entre a concentração de vitamina A no fígado de ratos suplementados com dietas contendo manga (5,76 µg/g), o grupo suplementado com pupunha (53,45 µg/g) e o grupo controle que recebeu 4 UI de vitamina A (9,52 µg/g). Segundo os autores, a alimentação desses animais suplementados com pupunha aumentou os níveis de vitamina A no fígado, quando comparado aos valores obtidos quando se complementou a dieta com outra fruta ou até mesmo diretamente com a vitamina.

O total e perfil de carotenoides deste fruto, quanto de outros, são variáveis dentre os estudos, provavelmente pelo fato de que existem diferentes variedades, condições de plantio e colheita. Diferentes variedades podem ter diferentes conteúdos de carotenoides, assim como, outros estudos indicam que existem diferenças entre a capacidade antioxidante para os diferentes carotenoides. Portanto, é importante saber, não só a quantidade total do nutriente, como também o carotenoide específico presente (MONGE-ROJAS; CAMPOS, 2011; QUESADA et al., 2011; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008; ROJAS-GARBANZO et al., 2011).

A presença de fator antinutricional como lecitinas e inibidores de tripsina, que exercem efeito negativo sobre a digestão e absorção de nutrientes, além do amargor, no fruto de pupunha, faz com que se encoraje a sempre consumi-lo ao menos cozido, por no mínimo 30 min (GÓMEZ; QUESADA; NANNE, 1998; ROJAS-GARBANZO et al., 2011). O impacto do tratamento térmico sob os carotenoides da pupunha, durante o processamento, ainda não é muito conhecido (JATUNOV et al., 2010; ROJAS-GARBANZO et al., 2011).

O teor de carotenoides totais da polpa e farinha dos frutos de pupunha amarela e vermelha antes e após etapa de eliminação de materiais lipídicos e clorofilas, que interferem nos ensaios espectrofotométricos, está disposto na Figura 20. Pode-se observar que a polpa de

pupunha vermelha apresentou cerca de 4,9 vezes mais carotenoides totais (29085,69 mg/100 g) do que a polpa amarela (5963,32 mg/100 g), com diferença significativa ao nível de 5% de confiança. Entre as farinhas também houve diferença significativa entre as variedades, onde a farinha da polpa vermelha apresentou 2,7 vezes mais carotenoides totais (8843,33 mg/100 g) que a farinha da polpa amarela (3207,21 mg/100 g).

É possível verificar também que após o processo de desidratação, para a transformação em farinha do fruto, ambas as variedades sofreram perda de carotenoides totais em 46% para a polpa amarela e 69% para a polpa vermelha. Assim como o tratamento térmico pode inativar enzimas oxidativas e quebrar a estrutura de carotenoides levando a um aumento da sua biodisponibilidade, este processo também degrada alguns nutrientes termolábeis, possivelmente devido à isomerização geométrica do β -caroteno (DUTTA et al., 2006; O'SULLIVAN et al., 2010; VÁSQUEZ-CAICEDO et al., 2007).

Minguez-Mosquera e Hornero-Mendez (1994) *apud* Topuz et al. (2011) relataram que os carotenoides são bastante estáveis em seu ambiente natural, mas quando o alimento é processado/triturado esses nutrientes se tornam mais labéis, o que explica a redução ocorrida durante a secagem.

Similar efeito foi observado por Muratore et al. (2008) ao examinar os efeitos da desidratação parcial de tomates cereja sob diferentes temperaturas verificaram que o processamento de alimentos é geralmente responsável pela depleção natural de antioxidantes e que os carotenoides são sensíveis a luz, oxigênio, temperatura alta e longo tratamento, e tais condições tem afetado sua degradação.

Esta perda também foi verificada recentemente no trabalho de Zeb (2012). Ele afirmou que o β -caroteno é oxidado por tratamento térmico sob diferentes temperaturas, produzindo produtos de oxidação que variam o comprimento da cadeia dependendo do ar, temperatura e oxidação média, e que durante o processamento, há uma relação direta entre o aumento da temperatura e o aumento da oxidação, isomerização E/Z e taxa de degradação.

Além do efeito da secagem sobre a redução de carotenoides, as condições de estresse como exposição à luz UV e armazenamento, os carotenoides, principalmente *trans*, tendem a se isomerizar a forma *cis* (BECHOFF et al., 2009). E que o isômero formado, assim como o teor degradado, tem relação com o aquecimento e a duração do tratamento, o que justificou as baixas perdas encontradas, em torno de 13 a 40%, atribuídas a rápida secagem (8 h), ao tipo de secagem (ar quente) e as condições climáticas, ao se estudar o efeito de tratamentos de secagem e do sol na retenção de vitamina A em batata-doce de polpa alaranjada.

Demiray, Tulek e Yilmaz (2013) ao determinar a degradação de licopeno, β -caroteno e ácido ascórbico em tomates durante secagem a ar quente e com temperatura variando de 60 a 100 °C, estes autores verificaram que a taxa de degradação do β -caroteno aumenta com o aumento da temperatura, assim a 60 °C o conteúdo deste carotenoide variou de 305,24 mg para 58,02 mg/100g, enquanto que a 100 °C este valor caiu 4,5 vezes mais que a 60 °C (12,96 mg).

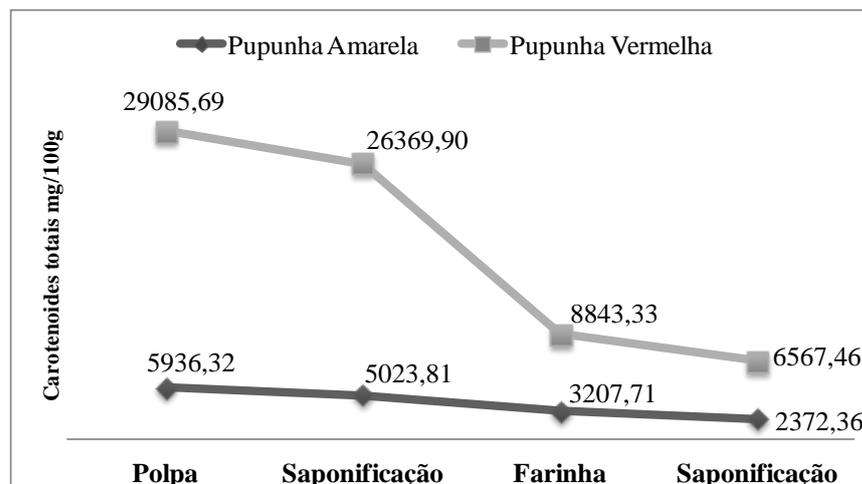


Figura 20 Teor de carotenoides totais da polpa e farinha dos frutos de pupunha, antes e após processo de saponificação

Jatunov et al. (2010) em estudo com frutos de pupunha de diferentes regiões encontraram variedades do Brasil, fruto vermelho cru e cozido, com 6,4 mg e 6,8 mg/100 g de carotenoides totais e da Costa Rica, fruto vermelho cru e cozido, com valores de 5,8 mg e 5,2 mg/100 g do produto. O presente estudo encontrou teores bem superiores a estes, mesmo no fruto amarelo (5936,32 mg/100g), o qual obteve o menor valor entre as duas variedades analisadas.

Em outro estudo sobre pupunha Quesada et al. (2011) determinou a composição de carotenoides, capacidade antioxidante e índice glicêmico de duas variedades e encontraram teores de 7,4 mg/100 g de carotenoides nos frutos do Equador e 5,7 mg/100g nos frutos de Yurimaguas (Peru), valor estes inferiores ao verificado no presente estudo tanto para os frutos de pupunha amarela quanto para os frutos de pupunha vermelha.

Rojas-Garbanzo et al. (2011) ao identificar os conteúdos e perfil de carotenoides do fruto de pupunha da Costa Rica, bem como determinar o potencial de mudanças após o fruto ser cozido e seco observou que as mudanças no conteúdo de carotenoides são uma função de fatores tecnológicos, associações de carotenoides com ácidos graxos ou proteínas do fruto, perfil de carotenoides e seu total. Os processos de cozimento e secagem reduziram o total de carotenoides do fruto cru para o cozido em 23,2% e do fruto cozido para a farinha em 17,1%, provavelmente por causa da oxidação dos carotenoides por processo enzimático, reações de oxidação e degradação da molécula pelo aquecimento.

Segundo Rodriguez-Amaya et al. (2008) em áreas tropicais e sub-tropicais, o clima pode propiciar o aumento da biossíntese de carotenoides. O Brasil tem uma notável variedade de fontes e alto nível de carotenoides, o que poderia explicar o maior conteúdo de carotenoides totais encontrado, na polpa do fruto de pupunha vermelha, quando comparado aos outros estudos.

Além disso, muitos estudos tem demonstrado a diferença com relação aos teores de micronutrientes em frutas e vegetais, devido às diferenças entre cultivares, variedades, locais de produção e geografia, estágio de maturação, à influência do clima, solo, região, modo de produção, e da variação natural na composição dos mesmos (DUTTA; CHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2005; MONGE-ROJAS; CAMPOS, 2011; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008).

Ainda com base na Figura 20 pode-se observar que com a etapa de eliminação de materiais lipídicos, saponificação, tanto a polpa do fruto como a farinha obtiveram menores teores totais de carotenoides, em ambas as variedades, quando comparada à mesma análise, porém, sem o processo de saponificação, que diferiram significativamente entre si ($P < 0,05$),

com 26369,90 mg e 6567,46 mg/100 g no fruto vermelho e 5023,81 mg e 2372,36 mg/100 g no fruto amarelo, respectivamente, o que sugere a degradação dos carotenoides e perdas de até 26% nas farinhas, ao passar por tal procedimento.

A saponificação tem sido o procedimento mais utilizado para eliminar os lipídios e clorofilas não desejados, assim como hidrolisar ésteres de carotenoides, entretanto como o tempo da análise aumenta, podem ocorrer formações de outros compostos e degradar os carotenoides. As provitaminas A como α -caroteno, β -caroteno e outros são mais resistentes à saponificação quando comparado às perdas de luteína, zeaxantina e outros dihidroxi, trihidroxi e epoxy-carotenos que podem ocorrer com a saponificação, e posterior etapa de lavagem. A extensão da depreciação durante este processo depende das condições utilizadas, sendo maior quanto mais alcalina ou quente for a saponificação (NACHTIGALL, 2007; RODRIQUEZ-AMAYA et al., 2008; WONDRACEK et al., 2012).

Segundo Rodriguez-Amaya et al. (2008) a saponificação só deve ser realizada em casos indispensáveis, pois mesmo em amostras com alto teor lipídico este procedimento pode ser dispensável quando a eluição é usada, por remover os lipídios da coluna, assim este passo deve ser completamente avaliado e otimizado, e a lavagem cuidadosamente feita para evitar a perda de carotenoides com a fase aquosa.

Wondracek et al. (2012) ao avaliar a influência da saponificação na determinação de carotenoides na polpa de espécies de maracujás encontraram que para o β -caroteno, tanto na forma *cis* quanto na *trans* este procedimento apresentou diferença significativa na espécie *P. setacea*, com perdas deste carotenoide em função da saponificação da espécie, assim como também foi observada perdas de ζ -caroteno, poli-*cis*-caroteno e policopeno nos extratos de *P. edulis* roxo nativo e comercial e de *trans*-violaxantina em *P. cincinnata*.

Como já mostrado anteriormente, os valores de carotenoides totais encontrados para a polpa e farinha a 50 °C dos frutos de pupunha amarelo e vermelho das amostras recebidas em março de 2012 (1800,86 mg e 25749,35 mg/100 g; 1769,22 mg e 19453,73 mg/100 g, respectivamente) foram inferiores aos das mesmas variedades, porém recebidas em julho de 2012, com 5936,32 mg e 29085,69 mg/100 g nas polpas amarela e vermelha, e 3207,71 mg e 8843,33 mg/100 g nas farinhas amarela e vermelha, respectivamente.

É possível verificar que, os valores de carotenoides totais das polpas recebidas em diferentes épocas diferiram significativamente entre si, onde as recebidas em julho de 2012 apresentaram maiores teores tanto nos frutos amarelos quanto vermelhos. Isto pode ser resultado das variações bioclimáticas e ombroclimáticas até mesmo de uma mesma região, influenciada pela época do ano, além das diferenças no estágio de maturação, e de solo, que podem ocorrer.

O processo de secagem apesar de ter sido o mesmo para ambos os frutos recebidos, parece ter influenciado negativamente nos frutos recebidos posteriormente, já que estes obtiveram teores de carotenoides totais bem abaixo do encontrado nos primeiros frutos recebidos, principalmente, com relação aos frutos de pupunha vermelha que variou de 19453 mg/100 g nos frutos de março de 2012 para 8843 mg/100 g nos frutos de julho de 2012. Tal fato pode ser atribuído possivelmente as diferentes condições de temperatura e umidade nos diferentes dias de secagem.

Os teores de carotenoides totais dos cinco tratamentos estudados antes da extrusão e extrudados estão dispostos na Tabela 6, com e sem o procedimento de saponificação.

A farinha de milho (T1) antes da extrusão, foi a que apresentou menor valor de carotenoides totais (1434,07 mg/100 g), diferindo significativamente dos outros tratamentos. Tal resultado diferiu do estudo de Kean, Hamaker e Ferruzzi (2008), que ao formular alimentos com milho, encontraram para a farinha de milho teores de carotenoides totais de 0,76 mg, 0,86 mg e 1,44 mg/100 g do produto, para as três variedades comerciais testadas.

Os tratamentos T2 e T3, antes da extrusão, apesar de terem porcentagens diferentes de farinha de pupunha em sua combinação, não apresentaram diferença significativa entre si ($P > 0,05$). Os tratamentos 4 e 5 antes da extrusão obtiveram os maiores teores de carotenoides totais, com 2409,60 mg e 3058,14 mg/100g do produto, por serem oriundos da mistura com a farinha de pupunha vermelha, os quais diferiram significativamente entre si ($P < 0,05$).

O mesmo pode ser observado após a extrusão, onde o T1 também apresentou o menor valor de carotenoides (1578,69 mg/100 g) e o T5 apresentou o maior teor de carotenoides totais (2958,45 mg/100 g), já que contém a maior proporção de farinha adicionada, sendo a vermelha, com o maior teor observado, porém todos os tratamentos demonstraram diferença estatística significativa entre si, ao nível de 5 % de confiança.

Com relação ao processo de saponificação, os tratamentos antes da extrusão apresentaram diferença significativa entre si, onde o maior teor foi no T4, com 1596,95 mg/100 g, seguido do T3 (1284,733 mg/100 g) e T5 (1139,64 mg/100 g). Quando comparado ao processo sem saponificação, todos os tratamentos exibiram valores de carotenoides maiores que aqueles após este procedimento. E a maior perda apresentada foi no tratamento T5.

Após a extrusão os tratamentos 1, 4 e 5 após processo de saponificação não apresentaram diferenças significativas entre si, com 1854,08 mg, 1886,34 mg e 2038,01 mg/100 g do produto. Os tratamentos T2 e T3 obtiveram os menores valores de carotenoides totais, não diferindo entre si. Quando comparado ao processo sem saponificação, o tratamento 1 não apresentou diferença significativa, já os demais tratamentos obtiveram diferenças entre si antes e após o processo de saponificação com a extrusão. Pode-se verificar que o T1 após extrusão saponificado exibiu maior teor de carotenoides totais com 1854,08 mg contra 1578,69 mg/100 g sem procedimento de saponificação, o que pode ser devido a hidrólise de carotenoides hidroxilados, que se encontravam parcial ou totalmente esterificados (MONGE-ROJAS; CAMPOS, 2011; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008).

Ao se observar os valores de carotenoides totais nas misturas, antes da extrusão e nos tratamentos extrudados, verifica-se que as formulações T2 e T5, apresentaram teores um pouco menores após o processo de extrusão, indicando que apesar de ser um processo que utiliza alta temperatura, a permanência do material dentro da extrusora por ser por curto período sofre pouca influência do calor na degradação dos carotenoides. Entretanto, os demais tratamentos exibiram maiores valores de carotenoides após a extrusão.

Uma vez que pouca ou nenhuma degradação ocorre durante o processamento térmico, o aumento na concentração de carotenoides pode ser resultado de um aumento da extração devido a matriz alimentar, à ruptura de complexos de caroteno-proteína e caroteno-lipídio, e inativação de enzimas oxidantes (JATUNOV et al., 2010; LESSIN; CATIGANI; SCHWARTZ, 1997; O'SULLIVAN et al., 2010; ROJAS-GARBANZO et al., 2011).

Shih, Kuo e Chiang (2009) ao estudar as propriedades físico-químicas, fisiológicas e a bioatividade de duas variedades de batata doce, usando diferentes processos como liofilização, ar quente e extrusão verificaram que não houve diferença no total de compostos fenólicos, para a variedade amarela, entre os tratamentos de liofilização e ar quente. Já na variedade laranja o total de compostos fenólicos foi bem menor quando se utilizou ar quente. Em ambas as variedades o efeito da extrusão foi positivo, aumentando o teor total de compostos. Isso porque o processo de secagem pode causar dano nas estruturas celulares de tubérculos, facilitando a extração destes compostos. Com relação ao teor de β -caroteno, o processo de secagem por extrusão e ar quente, nas duas variedades, foi significativamente menor, indicando um grande impacto destes tipos de tratamentos na degradação deste nutriente.

Estes autores afirmaram ainda que, em geral a secagem por ar, a temperaturas maiores que 60 °C é desfavorável, devido à possibilidade de condensação oxidativa ou decomposição de compostos termolábeis.

Tabela 6 Valores de carotenoides totais dos diferentes tratamentos antes e após extrusão e com e sem processo de saponificação

	Carotenoides totais mg/100g	
	Sem saponificação	Saponificado
T1 antes da extrusão	1434,07 ± 41,6 ^{de}	745,57 ± 37,7 ^h
T2 antes da extrusão	1894,68 ± 74,3 ^c	934,30 ± 74,1 ^{gh}
T3 antes da extrusão	1959,64 ± 101,3 ^c	1284,73 ± 108,7 ^{ef}
T4 antes da extrusão	2409,60 ± 242,1 ^b	1596,95 ± 252,4 ^d
T5 antes da extrusão	3058,15 ± 59,3 ^a	1139,64 ± 182,3 ^{fg}
T1 extrudado	1578,70 ± 48,0 ^f	1854,08 ± 115,9 ^e
T2 extrudado	1879,20 ± 97,3 ^{de}	1121,70 ± 26,7 ^g
T3 extrudado	2270,28 ± 124,2 ^c	1267,27 ± 119,7 ^g
T4 extrudado	2549,42 ± 40,4 ^b	1886,34 ± 162,1 ^{de}
T5 extrudado	2958,45 ± 103,4 ^a	2038,01 ± 53,5 ^d

T1 - 100% milho; T2 - 15 % pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela;

T4 - 15% pupunha vermelha; T5 - 25 % pupunha vermelha

^{a,b}Médias com letras diferentes entre tratamento antes da extrusão/ extrudado indicam P <0,05

Fonseca et al. (2008) ao comparar o total de carotenoides de dois cultivares, creme e laranja, de batata doce, e avaliar as perdas deste nutriente do produto fresco para o extrudado sob diferentes condições de umidade, rotação do parafuso e taxa de alimentação comprovou que em todos os métodos e condições utilizadas houveram perdas no total de carotenoides. Onde a desidratação se mostrou como o tratamento que mais degradou este nutriente com perdas de 41 e 38%, para os cultivares creme e laranja.

Esses autores observaram também que, as perdas após a extrusão foram maiores para os tratamentos que continham apenas a farinha de batata doce, já quando misturadas com arroz, a degradação sofreu apenas um decréscimo de 2,6 e 3,8% na variedade laranja e 9,9 e 16,2% na variedade creme. E que tal fato deve ter sido devido à composição da farinha de arroz que continha 9% de proteína, 0,75% de fibra bruta e 1% de lipídio formando um complexo caroteno-lipídio-proteína que protegeu os carotenoides da desnaturação térmica, o que poderia explicar a pouca ou nenhuma perda ocorrida com o processo de extrusão no presente trabalho.

Além disso, foi possível constatar que as perdas no conteúdo total de carotenoides foram maior em produtos extrudados com menor taxa de alimentação e rotação do parafuso, isso porque, tal tratamento faz com que o produto fique retido por mais tempo na extrusora e em contato com o calor. Assim, condições corretas influenciam na prevenção de perdas de importantes nutrientes, diminuindo a degradação durante o processo.

Carvalho et al. (2009) ao desenvolver *snacks* de terceira geração por extrusão com misturas de farinha mandioca e pupunha encontrou perdas no teor de carotenoides totais de até quase 99% da farinha de pupunha (137,98 µg/g) para as misturas extrudadas de mandioca e pupunha que variaram de 1,27 a 3,49 µg/g, em função da formulação. O que demonstrou perdas consideráveis em função do processamento por extrusão e posterior fritura dos *snacks*, além de comprovar a sensibilidade destes compostos ao calor e oxigênio.

Tais resultados estão bem abaixo dos encontrados no presente estudo, tanto para a farinha obtida por desidratação, quanto para as formulações extrudadas. A grande diferença entre o teor de carotenoides nas formulações extrudadas com o presente trabalho, deve-se ao fato de que, além de passar por processo de fritura, que acarreta ainda mais perdas deste nutriente, as condições de extrusão utilizadas de 35% de umidade e 177 rpm, fizeram com o que o material sofresse maior influência do calor.

Emin, Mayer-Miebach e Schuchmann (2012) ao investigar a estabilidade de β -caroteno em uma solução de óleo adicionado a uma matriz de amido, em dois pontos da extrusora, no começo e no fim, sob diferentes condições de extrusão, encontrou perdas em torno de 30% do total de β -caroteno, quando a solução foi incorporada após a plastificação do amido, enquanto que, a incorporação no começo da extrusão obteve perda em torno de 70% do total, isso pode ser explicado pela menor exposição ao estresse mecânico e térmico. Observaram ainda que, o aumento da temperatura de 135 para 170 °C não influenciou em uma maior retenção de β -caroteno, ao passo que, o aumento da rotação do parafuso de 300 para 500 rpm, aumentou a retenção deste micronutriente, em 25%, sugerindo que o estresse mecânico afeta mais que o térmico, o que pode ter ocorrido no presente trabalho ao se utilizar rotação do parafuso de 400 rpm.

Nayak et al. (2011) produziu extrudados a partir de misturas de farinha de batata roxa e ervilha amarela e avaliou os efeitos das condições de extrusão nas características químicas dos produtos elaborados. Estes autores observaram que o valor da capacidade antioxidante total das formulações cruas foi similar a dos extrudados, o que pode ser atribuído ao efeito da extrusão na quebra de complexo de polifenóis em compostos de fenólicos de baixo peso molecular, sob a interação de fenólicos com proteínas e na formação de produtos de reação de Maillard. A exceção foi no extrudado com 50% de farinha de batata roxa processada a 140 °C, o qual obteve o maior teor de capacidade antioxidante, o que pode ser atribuído ao fato de altas temperaturas promoverem a reação de Maillard e formarem compostos marrons que parecem ter efeito nesta característica. Além disso, comparada às amostras cruas, as extrudadas exibiram perda significativa de antocianinas totais em todos os níveis de farinha de batata roxa adicionada, sendo que a maior foi com a maior temperatura testada, 140 °C. Já os fenólicos totais não apresentaram diferença de perdas entre as temperaturas analisadas e apenas a formulação com 35% de farinha de batata roxa foi similar ao material cru.

O efeito térmico nos carotenoides tem sido estudado em muitas frutas e vegetais. Pode haver redução ou aumento do conteúdo de carotenoides, como já visto anteriormente, como haver mudanças nas estruturas e propriedades funcionais dos vários compostos (AMAN; SCHIEBER; CARLE, 2005; BECHOFF et al., 2009; JATUNOV et al., 2010; LESSIN; CATIGANI; SCHWARTZ, 1997; MARX et al., 2003; O'SULLIVAN et al., 2010; ROJAS-GARBANZO et al., 2011; ROSSO; MERCADANTE, 2007; VÁSQUEZ-CAICEDO et al., 2007).

Os diferentes carotenoides e seus teores encontrados nas amostras dos frutos de pupunha analisados, tanto na polpa, produto cru, quanto na farinha, produto após tratamento térmico, e suas variações após processamento, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 Conteúdo e identificação dos carotenoides presentes no fruto cru e na farinha de pupunha

	Carotenoide (mg/100g)						
	Luteína	Zeaxantina	β -criptoxantina	α -caroteno	β -caroteno	13-cis- β -caroteno	9-cis- β -caroteno
Polpa Amarela	50,67 \pm 14,0	7,33 \pm 0,6 ^c	8 \pm 1,0 ^b	45,33 \pm 7,1 ^{bc}	529,33 \pm 121,6 ^{bc}	26,67 \pm 3,2 ^c	53,33 \pm 5,5 ^c
Polpa Vermelha	69,67 \pm 9,2	54 \pm 1,7 ^a	14 \pm 3,0 ^a	121 \pm 11,1 ^a	1718,67 \pm 82,0 ^a	98,67 \pm 10,0 ^a	227,67 \pm 18,8 ^a
Farinha Amarela	76,67 \pm 8,1	10 \pm 0,0 ^c	10 \pm 1,0 ^{ab}	41 \pm 1,0 ^c	452 \pm 12,5 ^c	37,33 \pm 4,5 ^c	62,67 \pm 1,5 ^c
Farinha vermelha	49,67 \pm 29,9	26,33 \pm 14,2 ^b	14,67 \pm 4,2 ^a	61,33 \pm 16,8 ^b	755 \pm 262,7 ^b	65,33 \pm 24,5 ^b	117 \pm 46,8 ^b

^{a,b}Médias com letras diferentes entre cada tipo de carotenoide indica P < 0,05

Os carotenoides encontrados na polpa dos frutos foram os mesmos observados nas farinhas, com diferenças apenas para o teor. O principal identificado em todas as amostras foi o β -caroteno, seguido do isômero 9-*cis*- β -caroteno e o menor teor verificado foi a β -criptoxantina.

A luteína não apresentou diferença significativa (P>0,05) entre as amostras de polpa e farinha, já as demais frações de carotenoides apresentaram diferenças significativas entre as amostras de polpa e farinha, ao nível de confiança de 5%. Todos os compostos obtiveram maiores valores para a polpa e farinha do fruto de pupunha vermelha, do que as amostras dos frutos amarelos.

As frações de luteína e zeaxantina encontradas no presente trabalho não foram identificadas em outros estudos com a mesma matéria prima (JATUNOV et al., 2010; ROJAS-GARBANZO et al., 2011; ROSSO; MERCADANTE, 2007). Isso pode ser explicado pela diferença de regiões onde os frutos são produzidos. O Brasil por ter clima tropical e vasta extensão de terra leva ao aumento da biossíntese de carotenoides, podendo apresentar uma grande variedade de fontes (RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008).

Pode-se observar que para a maioria dos compostos, o fruto vermelho apresentou degradação após a desidratação para transformação em farinha, com exceção da β -criptoxantina, que não mostrou diferença estatística após tratamento, enquanto que o fruto amarelo não obteve diferença significativa (P>0,05) entre o produto cru e após tratamento térmico.

Segundo Rojas-Garbazo et al. (2011) a maior parte dos carotenoides dos frutos de pupunha são encontradas na matriz lipolítica. Assim a maior sensibilidade dos compostos da pupunha vermelha pode ser devido a maior quantidade de óleo nesta variedade, apresentando maior suscetibilidade ao calor.

O principal carotenoide identificado, β -caroteno, é também o composto com maior capacidade de converter em vitamina A, por ter grande atividade como provitamina A. Segundo a ANVISA (2005) a recomendação diária para ingestão da vitamina A para adultos é de 600 mcg RE (2000 UI). Como 1 RE é igual a 6 microgramas de β -caroteno e 12 microgramas de outros carotenoides (ROJAS-GARBANZO et al., 2011), e a farinha de pupunha amarela apresenta 4520 mcg/g e a farinha de pupunha vermelha 7550 mcg/g de β -caroteno apenas, que correspondem respectivamente a 753,33 e 1258,33 mcg RE. Logo, pode-se afirmar que, o fruto de pupunha, de ambas as variedades, mesmo na forma de farinha é rico em vitamina A.

Rojas-Garbanzo et al. (2011) ao identificar e quantificar o teor de carotenoides em fruto e farinha de pupunha, encontraram 286,9 μ g/g de β -caroteno equivalente para a farinha do fruto de pupunha proveniente da Costa Rica. Valor este bem inferior ao verificado no presente trabalho.

Nos alimentos o β -caroteno ocorre predominantemente em configurações *all-trans*. Entretanto, podem ocorrer naturalmente em tecidos de clorofila e na matriz alimentar, os isômeros *cis* (AMAN; SCHIEBER; CARLE, 2005; O`SULLIVAN et al., 2011; ZEB, 2012). O tratamento térmico também pode causar a transformação e isomerização da forma *trans* para *cis* do β -caroteno e outros compostos, como já dito anteriormente (MARX et al., 2003; O`SULLIVAN et al., 2010; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008; VÁSQUEZ-CAICEDO et al., 2007; ZEB, 2012).

O fruto *in natura* da pupunha apresenta as formas *cis* de β -caroteno na sua matriz alimentar, o que Lessin, Catigani e Schwartz (1997) atribuíram à possível iniciação da fotoisomerização das clorofilas, por atuar como sensibilizadores de β -caroteno, no seu estado imaturo, em vegetais verdes. A farinha do fruto de pupunha vermelha apresentou diferença significativa quando comparada a sua polpa, entretanto, exibiu valores menores de isômeros 13-*cis*- β -caroteno, 98,67 mg/100 g na polpa contra 65,33 mg/100 g na farinha e 9-*cis*- β -caroteno, 227,67 mg/100 g contra 117 mg/100 g do produto na farinha, mostrando que o tratamento térmico não aumentou a formação destas compostos, mas os degradou, como nas outras frações encontradas.

Vásquez-Caicedo et al. (2007) ao produzir purê e néctar de manga e determinar a degradação de β -caroteno afirmaram que as diferenças entre espécies de frutas e vegetais, com a localização do β -caroteno no tecido e seu estado físico, podem ser fatores de extrema importância na suscetibilidade a isomerização de *trans* para *cis* deste nutriente.

Marx et al. (2003) ao investigar os efeitos do processamento térmico como branqueamento, pasteurização e esterilização de suco de cenoura na isomerização do β -caroteno, encontraram maiores teores de 13-*cis*- β -caroteno nos três tratamentos e para o isômero 9-*cis* apenas houve aumento quando o suco foi esterilizado. Entretanto, o branqueamento apresentou menores níveis de isômeros. Logo, ratificaram que a isomerização depende do tratamento aplicado no que diz respeito a tempo-temperatura, o que pode explicar a degradação verificada no presente trabalho, por mais que tenha sido a baixa temperatura, o tempo de exposição ao calor foi alto.

Aman, Schieber e Carle (2005) compararam a degradação e isomerização de luteína e β -caroteno em vegetais folhosos verdes após cozimento a 98 °C e verificaram a presença de 92,5% de *all-trans*, 5,5% de 13-*cis* e 2,0% de 9-*cis*- β -caroteno nos vegetais sem tratamento, diferentemente do encontrado no presente estudo onde a proporção do isômero 9-*cis*- β -caroteno foi bem superior ao isômero 13-*cis*. Observou também que o tratamento térmico aumentou a proporção de 13-*cis*- β -caroteno enquanto que a formação de 9-*cis*- β -caroteno foi desprezível. Após aquecimento por 60 minutos o aumento destes isômeros foi de 28,8 e 5,1%, respectivamente.

Os teores dos carotenoides identificados de cada formulação, antes e após o processamento por extrusão, estão descritos na Tabela 8. As frações deste micronutriente encontrados em cada tratamento foram as mesmas tanto na polpa quanto na farinha do fruto de pupunha.

Avaliando o perfil de carotenoides das amostras, antes da extrusão, verifica-se que apenas as frações de luteína e zeaxantina não apresentaram diferenças significativas entre os diferentes tratamentos ($P > 0,05$). Já os demais compostos apresentaram diferença estatística significativa entre as formulações testadas.

A zeaxantina foi o carotenoide de maior teor no tratamento 1 com 100% milho (103,67 mg/100g), por este cereal ter basicamente a luteína e zeaxantina como espécies de carotenoides presentes em sua composição (KEAN; HAMAKER; FERRUZZI, 2008; SCOTT; ELDRIDGE, 2005). Assim, a luteína foi o segundo maior composto encontrado (68,67 mg/100g), como pode ser observar na Figura 21.

Kean, Hamaker, Ferruzzi (2008) ao determinar o perfil de carotenoides de frações de três variedades de milho utilizados comercialmente encontraram all-E-luteína e all-E-zeaxantina como carotenoides predominantes, mas também detectaram níveis de zeinoxantina e β -criptoxantina variando de 0,39 mg a 1,00 mg/kg e 0,18 mg a 0,55 mg/kg. Os valores de luteína e zeaxantina encontrados foram de 6,80 mg e 4,47 mg/kg na farinha da variedade 1, 3,32 mg e 3,43 mg/kg na farinha da variedade 2, e 3,74 mg e 2,00 mg/kg na farinha da variedade 3, respectivamente. Valores estes bem inferiores ao encontrado na farinha de milho utilizada no presente estudo.

Scott e Eldridge (2005) ao identificar os carotenoides presentes de duas variedades de milho encontraram como maior teor a zeaxantina e luteína nas suas composições. Entretanto, o mais abundante carotenoide na variedade WS fresca foi a zeaxantina (28,5 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ de peso fresco) com 80,3% do total de carotenoides, seguido da luteína, o que corrobora com o presente estudo, ao passo que a variedade GWK teve a luteína como mais abundante (303,3 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ de peso fresco) com 47,1% do total, seguido pela zeaxantina.

Tabela 8 Conteúdo e identificação dos carotenoides presentes nas misturas de farinha de milho e farinha de pupunha antes e após extrusão

	Carotenoide (mg/100g)						
	Luteína	Zeaxantina	β -criptoxantina	α -caroteno	β -caroteno	13-cis- β -caroteno	9-cis- β -caroteno
T1 antes da extrusão	68,67 \pm 14,6	103,67 \pm 20,1	36,67 \pm 4,5 ^{ab}	1,0 \pm 1,0 ^c	38,67 \pm 2,3 ^c	8,33 \pm 1,2 ^c	9,0 \pm 1,0 ^c
T2 antes da extrusão	48,67 \pm 12,3	64,33 \pm 28,3	45,0 \pm 7,2 ^a	8,67 \pm 1,5 ^b	110,0 \pm 16,1 ^b	18,0 \pm 2,0 ^b	19,0 \pm 1,7 ^b
T3 antes da extrusão	87,33 \pm 34,8	54,0 \pm 6,2	32,33 \pm 5,8 ^b	15,67 \pm 5,0 ^{ab}	134,67 \pm 21,4 ^b	17,0 \pm 2,6 ^b	24,67 \pm 5,0 ^a
T4 antes da extrusão	66,67 \pm 25,7	99,0 \pm 36,2	39,33 \pm 2,1 ^{ab}	16,0 \pm 7,0 ^a	174,33 \pm 20,5 ^a	25,0 \pm 3,6 ^a	29,67 \pm 2,1 ^a
T5 antes da extrusão	59,33 \pm 22,5	80,0 \pm 30,8	19,33 \pm 2,5 ^c	10,0 \pm 0,0 ^{ab}	118,67 \pm 5,5 ^b	18,33 \pm 1,5 ^b	19,0 \pm 2,7 ^b
T1 extrudado	163,33 \pm 21,5 ^a	284,67 \pm 45,7 ^a	74,0 \pm 9,1 ^a	0,0 \pm 0,0	64,67 \pm 7,5	19,0 \pm 3,6	27,33 \pm 3,5
T2 extrudado	94,33 \pm 31,2 ^b	111,67 \pm 45,7 ^b	49,33 \pm 4,9 ^b	8,33 \pm 2,5	86,33 \pm 17,0	13,67 \pm 1,5	23,33 \pm 4,9
T3 extrudado	87,67 \pm 19,4 ^b	126,33 \pm 30,8 ^b	44,67 \pm 1,2 ^b	10,67 \pm 3,2	117,67 \pm 8,5	18,0 \pm 1,7	26,33 \pm 2,9
T4 extrudado	127,67 \pm 18,7 ^{ab}	144,0 \pm 4,4 ^b	55,0 \pm 6,5 ^{ab}	11,67 \pm 3,2	180,67 \pm 19,2	38,33 \pm 7,1	43,67 \pm 4,5
T5 extrudado	19,67 \pm 3,4 ^c	31,0 \pm 5,3 ^c	15,0 \pm 2,5 ^c	7,33 \pm 1,2	78,67 \pm 13,6	17,33 \pm 3,0	16,0 \pm 2,8

T1 - 100% milho; T2 - 15 % pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela; T4 - 15% pupunha vermelha; T5 - 25% pupunha vermelha

^{ab}Médias com letras diferentes entre cada tipo de carotenoide nos tratamentos antes da extrusão/extrudado indicam P < 0,05

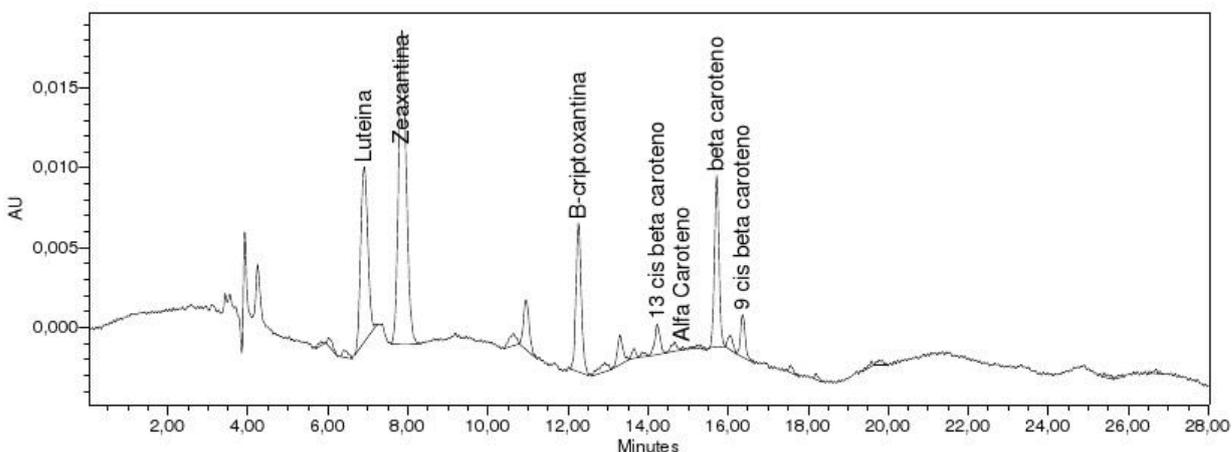


Figura 21 Cromatograma dos carotenoides do T1 antes da extrusão, faixa de 450 nm

As demais formulações antes da extrusão apresentaram o β -caroteno com o maior teor de carotenoide, variando de 110,0 mg a 174,33 mg/100 g, seguido da zeaxantina e luteína, como verificado na Figura 22. Era de se esperar que o tratamento 3 e 5 apresentassem maior valor de β -caroteno nas suas composições por terem maior porcentagem de farinha do fruto da pupunha. Assim como, os tratamento 4 e 5 exibirem maior teor desta fração por terem sido elaborados com farinha de pupunha vermelha, que obteve significativa diferença de β -caroteno quando comparada a farinha amarela. Entretanto, apenas o T4 possui maior teor deste composto, 174 mg/100 g, com diferença significativa ($P < 0,05$) aos demais tratamentos, ao passo que, o T5 não mostrou diferença significativa com relação às outras misturas.

Dentre os tratamentos extrudados a quantidade de micrograma de retinol equivalente variou de 107,78 a 301,12, onde o menor valor foi do T1 com 100% milho e o maior foi do T4 com 15% de pupunha vermelha. De acordo com a ANVISA (2005) um produto pode ser considerado com alto teor de vitaminas se apresentarem um mínimo de 30% da IDR de referência por 100 g do produto pronto para consumo. Os tratamentos 3 e 4 podem assim, ser classificados com alto teor de vitamina A por exibirem 32,69 e 50,19% do IDR desta vitamina. Já os demais tratamentos podem ser classificados como fonte desta vitamina por apresentarem um mínimo de 15% da IDR por 100g do produto.

Houve aumento de β -criptoxantina e diminuição dos isômeros 13-cis- e 9-cis- β -caroteno quando comparado as farinha puras dos frutos amarelos e vermelhos, possivelmente pelas misturas apresentarem proporção bem maior de farinha de milho, que exibiu maiores teores de β -criptoxantina (36,67 mg/100 g) e menores quantidades destes isômeros, 8,33 e 9,0 mg/100 g, respectivamente (Tabela 8).

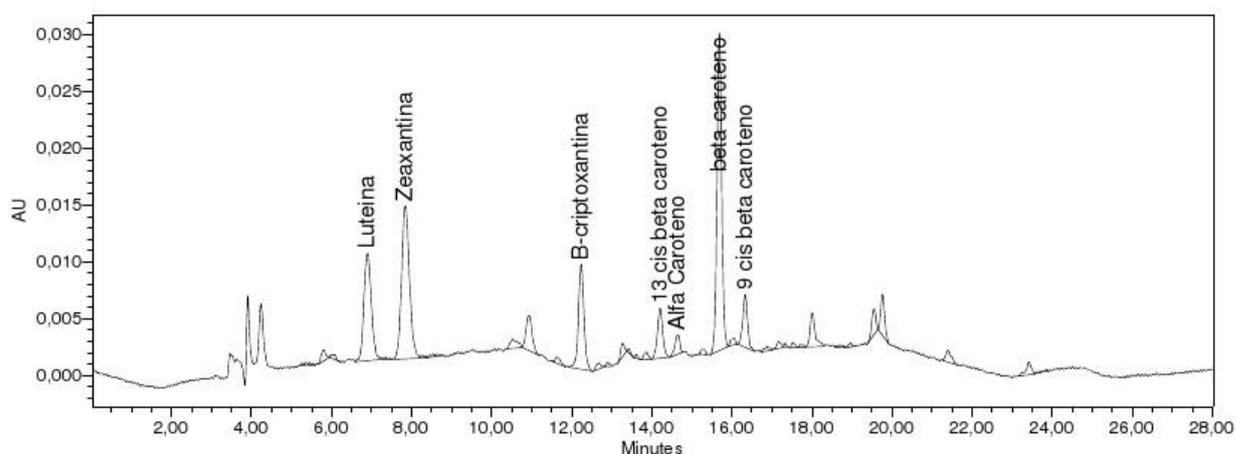


Figura 22 Cromatograma dos carotenoides da mistura de farinha de milho e pupunha (T2) antes da extrusão, faixa de 450 nm

Já após o processamento por extrusão, ao avaliar o perfil de carotenóides verificou-se que as frações de luteína, zeaxantina e β -criptoxantina apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($P < 0,05$), justamente, pelo efeito da mistura com a farinha de milho, presente em maior proporção (75 e 85%). O tratamento 5 apresentou os menores teores estatisticamente, destes compostos, que as demais formulações, isso pode ser devido não só a perda pelo processamento térmico como também a distribuição não uniforme deste nutriente entre os frutos, além de, como já dito anteriormente, por ter maior percentual de farinha de pupunha sendo da variedade vermelha, com maior teor de óleo, esta formulação pode ter sido mais suscetível ao efeito da extrusão (Figura 23).

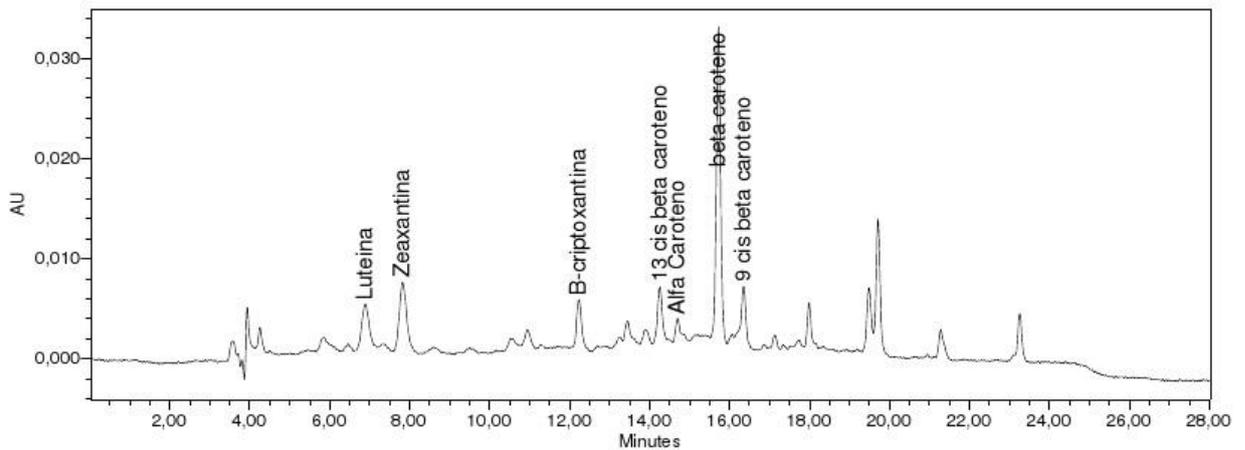


Figura 23 Cromatograma dos carotenoides da farinha mista de milho e pupunha (T5) extrudada, faixa de 450 nm

Ao se comparar os valores apresentados pelas formulações antes e após o processamento por extrusão, entre cada carotenoide identificado, podemos verificar que apenas as frações de luteína, zeaxantina e β -criptoxantina apresentaram diferença significativa ao nível de confiança de 5%, apresentando maiores teores após a extrusão (Figuras 24, 25 e 26). As demais frações não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos antes e após a extrusão. Isso indica que neste caso, o processamento por extrusão não afetou negativamente a qualidade das frações dos carotenoides identificados.

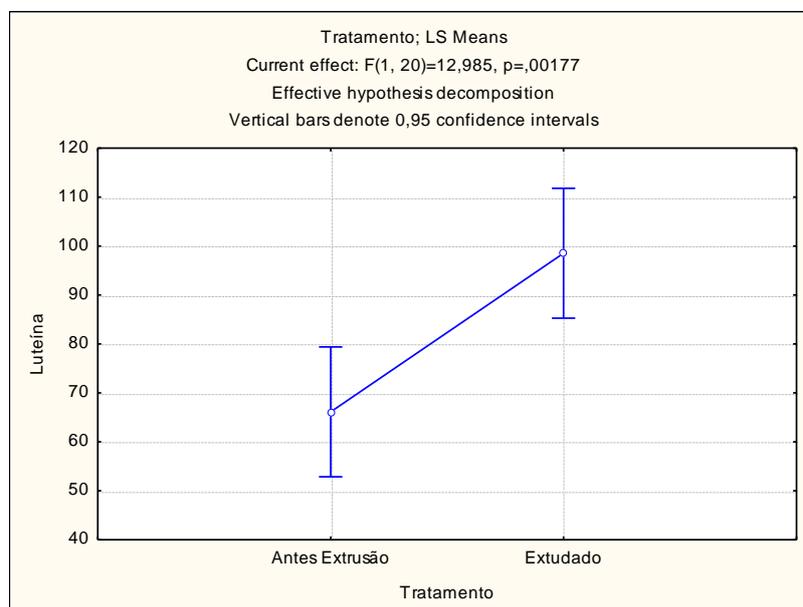


Figura 24 Efeito do processamento por extrusão na fração de luteína de todas as formulações testadas

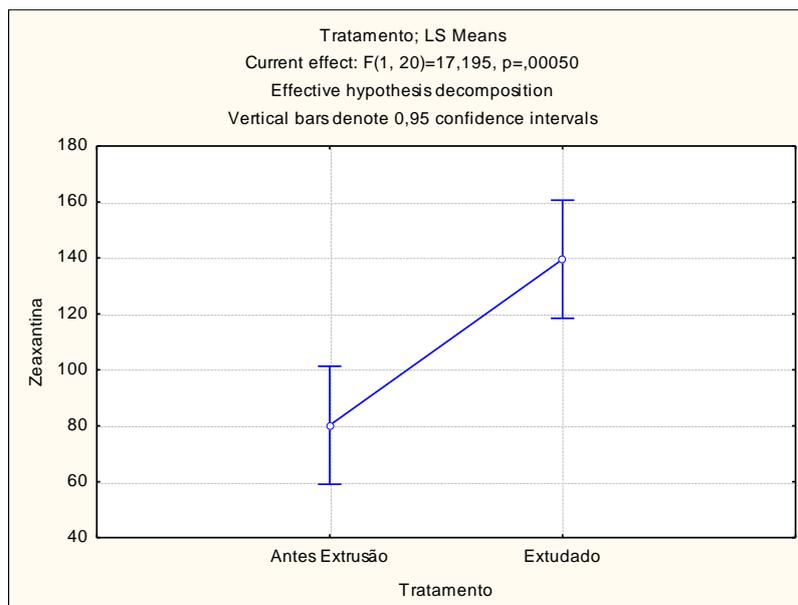


Figura 25 Efeito do processamento por extrusão na fração de zeaxantina de todas as formulações testadas

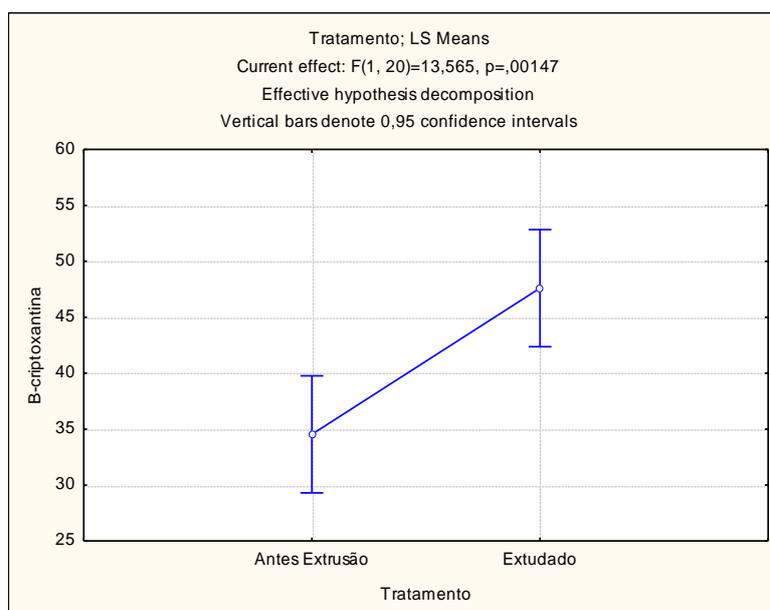


Figura 26 Efeito do processamento por extrusão na fração de β -criptoxantina de todas as formulações testadas

Kean, Hamaker e Ferruzzi (2008) afirmaram que o endosperma do milho contém cerca de 75% do total de proteínas que estão associadas em complexos com carotenoides, e que isso tem maiores implicações na sua liberação durante processamento, extração e análises. Observaram ainda, em seu estudo, que em extrudados expandidos esta liberação de carotenoides como zeaxantina e luteína tem eficiência em torno de 48 a 58%, já os carotenos tem apenas 15 a 28%. Indicando possivelmente porque houve aumento nas frações de luteína, zeaxantina e β -criptoxantina e não dos carotenos também no presente estudo.

Marx et al. (2003) estudando o efeito do tempo-temperatura na *trans-cis*-isomerização de suco de cenoura verificaram que a matriz do suco impede a dissolução dos carotenoides em lipídios durante aquecimento, no entanto, esta estabilização é afetada em temperaturas superiores a 130 °C, indicando assim a termolabilidade de componentes químicos subjacentes.

Aman, Schieber e Carle (2005) ao estudar o efeito do aquecimento e iluminação na *trans-cis*-isomerização e degradação de β -caroteno e luteína em cloroplastos de espinafre, observaram que durante os primeiros 20 min de aquecimento em carotenoides puros, a luteína degradou levemente, indicando maior estabilidade térmica quando comparado ao β -caroteno. Porém, resultados contrários foram observados em carotenoides de isolados de cloroplastos, onde houve um aumento da estabilidade do β -caroteno. Consideraram ainda, um aumento dos isômeros 9-*cis*- β -caroteno de 14,2 a 18,8%, 9-*cis*- e 9'-*cis*-luteína de 7,1 a 15%, ao passo que os níveis do isômero 13-*cis* permaneceu inalterada. O que discordou dos resultados do aquecimento de carotenoides puros, que sofreu principalmente 13-*cis*-isomerização após tratamento térmico. Afirmando assim que, a estabilidade dos carotenoides tem que ser avaliada para cada pigmento individual no seu ambiente real.

4.3 Caracterização Física da Matéria-Prima e das Farinhas Extrudadas

4.3.1 Análise de cor

A cor das polpas dos frutos de pupunha utilizados para a produção de farinhas está disposta na Tabela 9. Pode-se verificar que houve diferença estatística significativa ($P < 0,05$) entre as duas polpas, amarela e vermelha, para todos os componentes.

O componente L^* da polpa amarela foi de 60,63 e mostrou-se significativamente mais luminoso, ou seja, mais claro, que a polpa vermelha que foi de 55,26, já que esta coordenada varia do zero, cor com luminosidade perto do preto, ao 100, cor com luminosidade perto do branco. Com relação à cromaticidade a^* , a polpa vermelha apresentou maior valor significativo (29,79), ou seja, houve maior variação para o vermelho, considerando que este componente varia de verde (-80 a 0) ao vermelho (0 a +100). Já a coordenada de cromaticidade b^* apresentou maior valor para a polpa amarela (81,60), significando que esta é mais amarela que a outra polpa por levar em consideração que este componente varia do azul (-100 a 0) ao amarelo (0 a +70). Além disso, ambas tem alta variação para cor amarela por se encontrarem acima do estabelecido. O que corrobora com o descrito pela cromaticidade a^* .

A cor é um atributo sensorial importante que contribui no julgamento do sabor, frescor, aparência e na qualidade do produto final. E pode ser classificado levando-se em conta três propriedades: tonalidade (cor), saturação (pureza) e luminosidade (clara ou escura) (FELLOWS, 2006; FREITAS; MORETTI, 2006).

Na escala CIE $L^*a^*b^*$ as diferenças entre os pontos plotados no espaço de cores correspondem às diferenças visuais entre as cores traçadas. Este espaço é organizado em coordenadas polares onde o eixo L^* é vertical, e os eixos horizontais que correspondem a cromaticidade a^* e b^* .

Grizotto, Aguirre e Menezes (2005) ao produzir frutas estruturadas de umidade intermediária a partir de polpas concentradas de abacaxi e manga, verificaram valores de L^* de 43,9, a^* de -3,9 e b^* de +14,7 para a polpa de abacaxi, indicando variação para o amarelo-esverdeado, e valores de 49,5, +0,4 e +35,8 (L^* , a^* e b^* , respectivamente) para polpa de manga indicando cor avermelhada, já para a polpa concentrada houve modificação da cor para amarelo avermelhado ($a^* = -0,05$ e $b^* = +23,84$) na polpa de abacaxi e acentuação do avermelhado da polpa de manga ($a^* = +4,21$). Em ambos os casos, as duas polpas de pupunha apresentam cor amarela e vermelha mais acentuada que estes frutos.

O componente C* ou Chroma indica a saturação, ou seja, o grau de concentração ou pureza de uma cor. Assim, a cor é tanto mais saturada quanto menos a quantidade de branco ou preto tiver, por exemplo, a cor rosa é menos saturada que o vermelho, porque tem mais branco. Logo, cores puras são mais saturadas.

Ainda com base na Tabela 9, a polpa do fruto de pupunha vermelha apresentou valor cromático (C*) significativamente mais elevado (P<0,05), 8,10 contra 3,41 da polpa amarela, indicando uma maior saturação, intensidade.

O ângulo *hue* (h°) representa a localização da cor em diagrama de coordenadas polares, definindo o seu tom. Assim, a polpa vermelha obteve valor significativamente superior (28,67), ao nível de confiança de 5%, quando comparada à polpa amarela (22,96), representando uma tonalidade mais avermelhada.

Canuto et al. (2010) ao caracterizarem quinze polpas de frutos da região Amazônica, observaram que a maioria das polpas estudadas como muriri, abiu, cajá, caju, bacuri, cupuaçu e graviola apresentaram valor de tonalidade cromática alto, indicando cor amarelada variando de amarelo-esverdeado (valores negativos de h°) ao alaranjado (valores positivos de h°). O açaí foi a polpa mais escura (L* = 16,6) e a de bacuri, a mais clara (L* = 65,5). Verificaram ainda que, a graviola tem coloração mais opaca, enquanto o buriti mostra cor mais viva, já que seus valores de *chroma* variaram de 3,2 a 42,9 respectivamente.

Tabela 9 Cor instrumental da polpa de pupunha amarela e vermelha

	Polpa Amarela	Polpa Vermelha
L*	60,63 ± 1,31 ^a	55,26 ± 2,40 ^b
a*	23,21 ± 1,62 ^b	29,79 ± 2,12 ^a
b*	81,60 ± 0,80 ^a	74,24 ± 1,00 ^b
C*	3,41 ± 0,55 ^b	8,10 ± 0,82 ^a
h°	22,96 ± 1,56 ^b	28,67 ± 2,02 ^a

^{a,b} médias significativamente diferentes entre si (P<0,05)

A polpa ao passar por aquecimento em estufa durante longo período, para a produção da farinha, leva a degradação de pigmentos termolábeis resultando em formação de compostos escuros que reduzem a luminosidade (DUTTA et al., 2006; VEGA-GÁLVEZ et al., 2012). Observando-se as Tabelas 9 e 10 pode-se verificar esta transformação, através do componente L* onde a farinha de pupunha amarela obteve valor de 5,70 (na polpa L* = 60,63) e a farinha de pupunha vermelha de 4,61 (na polpa L* = 55,26) indicando coloração mais escura, com a luminosidade mais perto do preto (zero). Não havendo diferença significativa (P>0,05) entre os dois tipos de farinhas estudadas.

As coordenadas a* e b* nas farinhas também obtiveram valores bem reduzidos quando comparados à polpa, com valores de 3,92 e 22,49 para a farinha amarela e de 5,08 e 27,61 para a farinha vermelha, indicando ainda variações para o vermelho (a*) e amarelo (b*), porém mais reduzidos. Ambos os componentes apresentaram diferenças significativas entre as farinhas, apontando maiores valores para a farinha de pupunha vermelha. Já os valores de *chroma* e do ângulo *hue* foram bem mais elevados nas farinhas do que nas polpas indicando maiores saturação e tonalidade, ou seja cores mais vivas. Houve diferença estatística, ao nível

de 5% de confiança, para o componente *chroma* apontando valor superior para a farinha de pupunha vermelha, 28,08 contra 22,82 na farinha amarela.

Tabela 10 Cor instrumental da farinha de pupunha amarela e vermelha

	Farinha Pupunha Amarela	Farinha Pupunha Vermelha
L*	5,70 ± 0,87	4,61 ± 1,24
a*	3,92 ± 0,24 ^b	5,08 ± 0,23 ^a
b*	22,49 ± 0,57 ^b	27,61 ± 0,82 ^a
C*	22,82 ± 0,60 ^b	28,08 ± 0,84 ^a
h^o	80,12 ± 0,40	79,57 ± 0,33

^{a,b} médias significativamente diferentes entre si (P<0,05)

A cor dos produtos extrudados além de estar relacionada à temperatura do processo, composição da matéria-prima, pressão e cisalhamento, pode ser influenciada por reações de Maillard e caramelização, principalmente se houver alto teor de açúcar no material (BORBA, 2005; MENEGASSI et al., 2007; NASCIMENTO, 2010). Assim, a mudança de cor durante este processo pode ajudar na avaliação da intensidade do processamento nas alterações das características químicas das matérias extrudadas. Condições severas geram produtos com menores valores de luminosidade e elevação dos componentes *a* e *b* (TEBA, 2009).

O componente L* das farinhas mistas extrudadas variou de 70,14 a 73,56 indicando pequena redução da luminosidade nos tratamentos T2, T3 e T5 com a extrusão, ou seja, houve pequeno escurecimento, quando comparado com a luminosidade da farinha antes da extrusão que foram de 72,52 a 73,84. Entretanto, para o tratamento T4 não houve diferença e para o T1 houve aumento da luminosidade com o processo de extrusão, obtendo-se uma amostra mais clara (Tabelas 11 e 12).

Nascimento (2010) ao estudar o aumento do valor nutricional de cereais extrudados de milho com gergelim observou que aumentando a porcentagem de gergelim, a amostra se distanciava da cor padrão, sendo mais escura. A variação do padrão (*grits* de milho) para a amostra do componente L* foi de 82 para 74,09. O mesmo não foi observado no presente estudo em que se aumentando a porcentagem de pupunha utilizada ou mesmo do tipo utilizado, não houve diferença estatística significativa (P>0,05) entre os tratamentos na extrusão.

Teba (2009) ao desenvolver massas alimentícias por extrusão isentas de glúten a partir de matérias primas como arroz e feijão obteve valores do componente L* de 55,77 a 71,46 apresentando redução da luminosidade com o processo de extrusão, já que os valores de luminosidade das farinhas cruas de arroz e feijão foram de 72,96 e 77,51, respectivamente. O que corroborou com a maioria das amostras do presente estudo, mostrando que a extrusão leva ao escurecimento dos produtos elaborados, na maioria dos casos.

A coordenada a* das farinhas extrudadas apresentaram valores que variaram de 25,03 a 33,40, valores estes superiores ao encontrado nas farinhas antes da extrusão que foram de 5,56 a 9,49, indicando grande variação para o vermelho. Entretanto, o tratamento 1, que representa apenas o milho, apresentou o maior valor para coordenada a* tanto na farinha antes da extrusão como na extrudada, diferindo significativamente dos outros tratamentos. Nas farinhas cruas mistas houve diferença significativa entre todos os tratamentos, porém o T5

não diferiu do T3 nem T4 (Tabela 11). Já com relação às farinhas extrudadas, a cor do T3 foi similar ao T2, que foi similar ao T5, e este similar ao T4.

Menegassi, et al. (2007) ao avaliar o efeito das condições de extrusão sobre a cor e as propriedades viscográficas da farinha de mandioca-salsa, encontraram maiores valores de *chroma* a* em condições de baixa umidade, em torno de 16%, sendo esta a única variável a influenciar significativamente neste componente.

Da Costa et al. (2010) ao desenvolver alimento de fácil consumo pelo processo de extrusão termoplástica adicionando ingredientes funcionais como licopeno e proteína de soja observou que a intensidade da cor vermelha nos produtos (acima de 22,82), aumentava com a elevação do teor de licopeno adicionado (0,1%) e que ainda um pequeno efeito da proteína de soja também se mostrou favorável nesta coordenada. Já no presente estudo, o aumento de percentual e o tipo de pupunha adicionada não influenciaram na elevação deste componente.

Com relação ao componente b* houve aumento destes valores na farinha extrudada (78,98 a 82,96) quando comparada as farinhas cruas (24,99 a 35,43), indicando elevada cromaticidade para o amarelo, apresentando inclusive índices superiores ao limite estabelecido nesta coordenada que é de +70. A farinha de milho (T1) foi a que apresentou maiores valores significativos (P<0,05) tanto na crua quanto na extrudada. Nas farinhas mistas extrudadas pode-se observar diferença significativa ao nível de 5% de confiança entre os tratamentos com pupunha amarela (T2 e T3), e os adicionados de pupunha vermelha (T4 e T5), que apresentaram valores menores para esta coordenada, indicando variação maior para o amarelo entre as farinhas mistas com pupunha amarela (Tabela 12).

Moura (2012) ao desenvolver e caracterizar farinhas pré-gelatinizadas através do processo de extrusão elaboradas com milho, feijão e arroz também observou valores mais elevados na coordenada de cromaticidade b* após extrusão do que nas farinhas cruas. A farinha de milho crua apresentou valor de b* de 30,52, similar ao encontrado no presente estudo que foi de 35,43 (Tabela 11).

Leonel et al. (2010) ao estudar as condições operacionais do processo de extrusão de misturas de polvilho doce e polpa de laranja desidratada sobre as características físicas dos produtos expandidos verificou que a variação do *chroma* b* de 18,69 a 23,16 indicou presença do amarelo nas amostras porém, com pouca interferência da temperatura, umidade e rotação da rosca.. Outros estudos demonstraram que a elevação da temperatura aumenta a intensidade da cor, e que altos níveis de umidade resultam em produtos mais claros, pela redução do tempo de residência das amostras na extrusora (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005; MENEGASSI et al., 2007; TEBA, 2009).

Tabela 11 Cor instrumental das farinhas mistas antes do processo de extrusão

	T1 antes da extrusão	T2 antes da extrusão	T3 antes da extrusão	T4 antes da extrusão	T5 antes da extrusão
L*	72,52 ± 2,23	73,02 ± 1,57	73,84 ± 1,92	73,49 ± 1,10	72,72 ± 2,03
a*	9,49 ± 0,67 ^a	6,71 ± 0,33 ^c	5,56 ± 0,46 ^d	7,71 ± 0,50 ^b	7,19 ± 0,37 ^{bc}
b*	35,43 ± 2,29 ^a	27,89 ± 0,92 ^c	24,99 ± 1,04 ^d	31,27 ± 1,44 ^b	29,71 ± 1,38 ^{bc}
C*	36,68 ± 2,32 ^a	28,68 ± 0,97 ^c	25,60 ± 1,10 ^d	32,20 ± 1,52 ^b	30,57 ± 1,41 ^{bc}
h^o	74,99 ± 0,83 ^c	76,48 ± 0,31 ^b	77,48 ± 0,61 ^a	76,17 ± 0,31 ^b	76,41 ± 0,42 ^b

T1 - 100% milho; T2 - 15% pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela; T4 - 15% pupunha vermelha; T5 - 25% pupunha vermelha

^{a,b} médias significativamente diferentes entre si (P<0,05)

Tabela 12 Cor instrumental das farinhas solúveis extrudadas

	T1 extrudado	T2 extrudado	T3 extrudado	T4 extrudado	T5 extrudado
L*	77,98 ± 0,59 ^a	71,97 ± 1,94 ^b	70,14 ± 1,18 ^b	73,56 ± 1,16 ^b	70,40 ± 4,44 ^b
a*	33,40 ± 1,32 ^a	26,40 ± 1,56 ^{cd}	25,03 ± 1,04 ^d	30,14 ± 0,60 ^b	28,26 ± 3,04 ^{bc}
b*	82,96 ± 0,05 ^a	82,16 ± 0,47 ^b	82,29 ± 0,41 ^b	79,7 ± 0,60 ^c	78,98 ± 0,30 ^d
C*	4,10 ± 0,18 ^b	3,61 ± 0,41 ^{bc}	3,36 ± 0,30 ^c	5,39 ± 0,38 ^a	5,40 ± 0,57 ^a
h°	33,15 ± 1,30 ^a	26,15 ± 1,51 ^{cd}	24,80 ± 1,01 ^d	29,65 ± 0,56 ^b	27,74 ± 2,99 ^{bc}

T1 - 100% milho; T2 - 15% pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela; T4 - 15% pupunha vermelha; T5 - 25% pupunha vermelha

^{a,b} médias significativamente diferentes entre si (P<0,05)

Ainda com base na Tabela 11 e 12, pode-se observar que houve redução na pureza da cor, ou seja, a variação do valor de C* das farinhas cruas (25,60 a 36,68) para as farinhas extrudadas (3,61 a 5,40) apresentou amostras mais opacas. Os tratamentos extrudados adicionados de farinha de pupunha vermelha obtiveram os maiores valores significativos indicando menor opacidade, diferentemente das farinhas cruas onde o maior valor significativo (P<0,05) foi da farinha com 100 % de milho. O ângulo *hue* respeitou também a redução que houve nos valores entre as farinhas cruas e as extrudadas. O processo de extrusão termoplástica conferiu diminuição da tonalidade das amostras entre 55 a 68%, com diferenças significativas entre si onde o maior índice de h° foi do T3 entre as farinhas cruas. Já o maior valor significativo nas farinhas extrudadas foi da farinha com 100% de milho.

Nota-se a influencia do processo de extrusão na terminação da cor, em que os extrudados tendem a uma maior intensidade da cor amarela, ou seja, um amarelo mais escuro, com certa nuância para o vermelho, principalmente para as amostras adicionadas de farinhas de pupunha vermelha.

4.3.2 Índices de expansão

Os índices de expansão expressam o quanto o material expandiu considerando a área da matriz e a seção do extrudado. A expansão do material ocorre na saída da extrusora em função da temperatura e pressão interna e externa. Ao sair, a água evapora e há formação e colapso posterior de bolhas de ar na massa fundida (DEGHAN-SHOAR; HARDACRE; BRENNAN, 2010; LEONEL; SOUZA; MISCHAN, 2010).

São importantes atributos físicos, principalmente o índice de expansão radial (IER), que exibem claramente o efeito da mudança na conversão do amido, como resultado do processo de extrusão (ASCHERI; ASCHERI; CARVALHO, 2006; NASCIMENTO et al., 2012).

Os resultados das análises do índice de expansão radial (IER), índice de expansão longitudinal (IEL) e índice de expansão volumétrico (IEV) dos extrudados de milho e pupunha, estão expostos na Tabela 13.

O IER variou de 3,83 a 6,06. O maior valor obtido foi no T1, com 100% milho, já que o amido é o componente geralmente responsável pela expansão (NASCIMENTO, 2010). Esta autora declarou ainda que o resultado desta análise com números acima de 1 mostra que houve aumento da expansão do produto com relação a matriz utilizada. Dentre os tratamentos adicionados de farinha de pupunha, o T4 diferiu estatisticamente dos demais (P<0,05), com maior valor (4,42).

No processo de extrusão a adição de material de baixa massa molecular bem como, fibras, lipídios e proteínas em substituição parcial a misturas com amido ocasionam a redução da expansão (ASCHERI; ASCHERI; CARVALHO, 2006; DEHGHAN-SHOAR; HARDACRE; BRENNAN, 2010; LEONEL; MARTINS; MISCHAN, 2010; KARKLE; ALAVI; DOGAN, 2012; NASCIMENTO et al., 2012). Além de diminuir a quantidade de amido necessária à expansão pela substituição, esses componentes podem reagir com o amido, impedindo a evaporação da água ligada ao grânulo (MOURA, 2012).

Esta diminuição na expansão radial tem sido reportada por vários sistemas de amido-fibra. Karkle, Alavi e Dogan (2012) observaram uma redução importante em qualquer nível de substituição por bagaço de maçã, sendo que a adição de 28% levou a maior redução quando comparada ao controle, com diminuição de 46-57% na expansão radial. Estes autores verificaram que as fibras são incompatíveis com o amido e existem em uma fase dispersa. Os componentes das fibras provavelmente se alinham longitudinalmente dificultando a expansão já que ficam contra o grão, causando a ruptura das células de ar, além de reduzir as propriedades de elasticidade do amido.

Nascimento (2010) atribuiu a redução da expansão radial de seus extrudados ao teor de óleo e fibra presentes nos grãos de gergelim, por reduzir a viscosidade do fundido, já que o óleo atua como lubrificante no interior do extrusor. O mesmo foi descrito por Dehghan-Shoar, Hardacre e Brennan (2010) ao estudarem a adição de derivados de tomate como fonte de licopeno em *snacks* extrudados, o que também pode ser verificado no presente estudo. Já Ascheri, Ascheri e Carvalho (2006) atribuíram esta redução do IE a porcentagem de farinha de bagaço de jabuticaba adicionada, que ao diminuir a proporção de material amiláceo, favoreceu a redução da expansão e aumento da densidade dos expandidos.

O trabalho elaborado por Leonel, Martins e Mischan (2010) com biscoito de polvilho azedo adicionado com farinha de soja, os autores também verificaram valores de índice de expansão de 3,18 a 4,17, com o menor valor para a maior porcentagem de soja em razão do efeito das proteínas, lipídios e fibras presentes na farinha de soja.

Nascimento (2010) encontrou índice de expansão radial para extrudados de grits de milho a temperatura de 130 °C e rotação do parafuso de 355 rpm, de 15,03. O presente trabalho em condições de extrusão parecidas e um mesmo produto observou valor bem inferior a este (6,06). A diferença encontrada pode ser atribuída ao tipo de extrusores, já que processaram o milho com extrusora de parafuso único. Segundo Moura (2012), o aumento da rotação do parafuso está diretamente relacionada com a quebra molecular do amido. A redução da massa molecular do amido favoreceu o aumento da porosidade no interior das células e do índice de expansão. Entretanto, uma quebra elevada destas moléculas pode reduzir a expansão final do extrudado por redução da viscosidade do fundido no interior do extrusor, o que pode estar relacionado ao encontrado no presente estudo.

Para o IEL os valores encontrados não obtiveram diferença significativa entre si ao nível de 5% de confiança, variando de 1,05 a 1,11, mostrando que este índice não é afetado pela adição de pupunha, o que corrobora com o estudo de Karkle, Alavi e Dogan (2012). Altan, McCarthy e Maskan (2008) correlacionaram o aumento deste índice a uma baixa viscosidade e elasticidade.

Já o IEV apresentou maior valor significativo ($P < 0,05$) para o T1 com 6,53, seguido das formulações com 15% de pupunha (T2 e T4) com 4,41 e 4,61, respectivamente. Indicando que o tipo de pupunha analisada parece não interferir neste índice, diferentemente da porcentagem adicionada. Quanto mais pupunha menor é o índice de expansão volumétrico.

Tabela 13 Índices de expansão das formulações extrudadas

Índices de expansão			
	IER	IEL	IEV
T1	6,06 ± 0,47 ^a	1,08 ± 0,08	6,53 ± 0,47 ^a
T2	3,99 ± 0,43 ^c	1,11 ± 0,12	4,41 ± 0,65 ^b
T3	3,83 ± 0,32 ^c	1,05 ± 0,06	4,00 ± 0,21 ^c
T4	4,42 ± 0,40 ^b	1,05 ± 0,11	4,61 ± 0,44 ^b
T5	3,92 ± 0,29 ^c	1,05 ± 0,12	4,10 ± 0,46 ^c

T1 - 100% milho; T2 - 15 % pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela;

T4 - 15% pupunha vermelha; T5 - 25 % pupunha vermelha

IER - índice de expansão radial; IEL - índice de expansão longitudinal;

IEV - índice de expansão volumétrica

^{a,b} Médias com letras diferentes entre as linhas indicam P < 0,05

4.3.3 Densidade aparente

A densidade aparente (DA) de produtos extrudados é inversamente proporcional ao índice de expansão radial, já que quanto maior este último menor é o peso do extrudado, pela formação de bolhas de ar no produto ao sair da extrusora (OLIVEIRA, 2007; WANG; JIN; YUAN, 2007). O ar ocupa cerca de 85 a 92% do volume total do extrudado expandido e a densidade varia de 0,04 a 0,38 g/cm³ (ASCHERI, 2008).

Os valores de DA variaram de 0,211 a 0,354 g/cm³, onde o menor valor significativo (P<0,05) foi do T1, o qual obteve o maior valor de IER e os menores foram o T5 e T3, que apresentaram maior valor de IER.

Oliveira (2007) ao utilizar a casca de soja na elaboração de produtos extrudados expandidos observou que o teor de casca de soja na farinha de milho apresentou efeito negativo sobre a densidade aparente, associando o aumento de DA à redução da viscosidade e a quebra molecular do amido pela presença de fibra na casca, o que corroborou com o presente estudo.

O mesmo foi observado por Nascimento (2010) ao elaborar produtos de milho enriquecidos com gergelim, atribuindo o aumento da densidade ao aumento do teor de gergelim, por sua composição ter em torno de 70% em média entre óleo e proteína. Já ao se trabalhar com torta de gergelim semi-desengordurada, encontrou extrudados com estrutura mais aerada e, portanto menos densos, devido ao baixo teor de óleo. Já Altan, McCarthy e Maskan (2008) em estudo de *snacks* de cevada com bagaço de tomate não observaram efeito significativo do nível de tomate, na densidade dos extrudados, apenas sua interação com a temperatura se mostrou significativa.

4.3.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A estrutura interna da farinha de milho e das farinhas mistas, antes e após a extrusão, pode ser avaliada pelas micrografias de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Como não foram observadas diferenças entre os tratamentos das farinhas e extrudados mistos quanto ao aspecto morfológico, apenas algumas fotos são apresentadas abaixo.

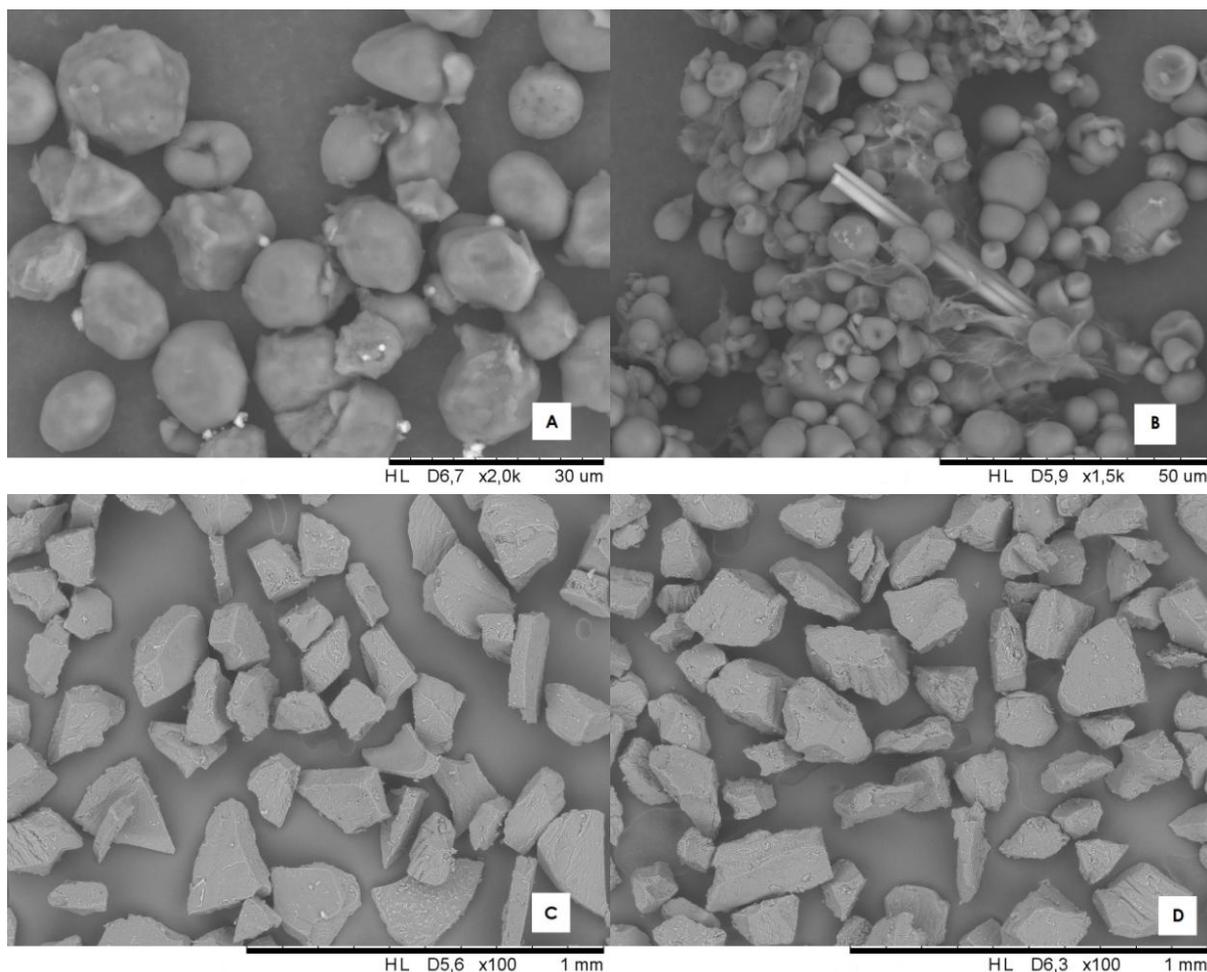


Figura 27 Microfotografias das farinhas cruas: de milho crua (T1), aumento 2000x(A), de milho e 25% de pupunha amarela crua (T3), aumento de 1500x(B), de milho extrudada (T1), aumento 100x(C) e de milho e 15% de pupunha vermelha extrudada (T4), aumento de 100x(D)

Através da Figura 27A e 27B podemos observar que a diferença apresentada entre os tratamentos foi com relação às farinhas cruas mistas, que demonstraram além dos grânulos de amido intactos, conteúdos em forma de pequenos canudos, que acredita-se serem as fibras presentes nos frutos de pupunha. Ainda com base na Figura 27A pode-se notar que a amostra de milho crua exibiu alta proporção de grânulos de amido de formato poliédrico e alguns em formato arredondado. Já as Figuras 27C e 27D mostram a farinha de milho (T1) e a farinha mista de milho e pupunha vermelha (T4), extrudadas, respectivamente. É importante notar que com o processo de extrusão o amido que se encontrava inicialmente intacto em sua forma granular (Figuras 27A e 27B) foi transformado por ação da umidade, temperatura e cisalhamento em material denso, compacto e amorfo de superfícies irregulares com desaparecimento da estrutura granular cristalina dos amidos, onde não é possível distinguir o que é amido e o que é material não amiláceo, o que corroborou com o trabalho de Freitas e Leonel (2008).

Weber, Collares-Queiroz e Chang (2009) ao avaliar os amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose perceberam aspectos morfológicos distintos para cada espécie, onde o amido de milho padrão se mostrou com alta proporção de grânulos angulares e alguns arredondados, como o observado no presente estudo, já o amido com alto teor de amilopectina apresentou morfologia rugosa e o amido com alto teor de amilose exibiu superfícies mais arredondadas e lisas.

Leonel (2007) ao analisar forma e tamanho de grânulos de amido de diferentes fontes botânicas visando fornecer informações úteis para a aplicabilidade desses amidos verificou que das fontes estudadas os grânulos de menor tamanho foram os de taioba com aspectos circulares e poliédricos e os maiores foram os de biri com grânulos ovais. E os amidos com baixa diferença entre diâmetros e distribuição mais homogênea foram os de ahipa, batata-doce e gengibre.

As Figuras 28A e 28B representam as farinhas extrudadas de milho (T1) e mista de milho com pupunha amarela (T2), respectivamente. Pode-se notar que as condições de processamento nas diferentes formulações causaram uma profunda mudança nas células internas do material cru para a farinha extrudada.

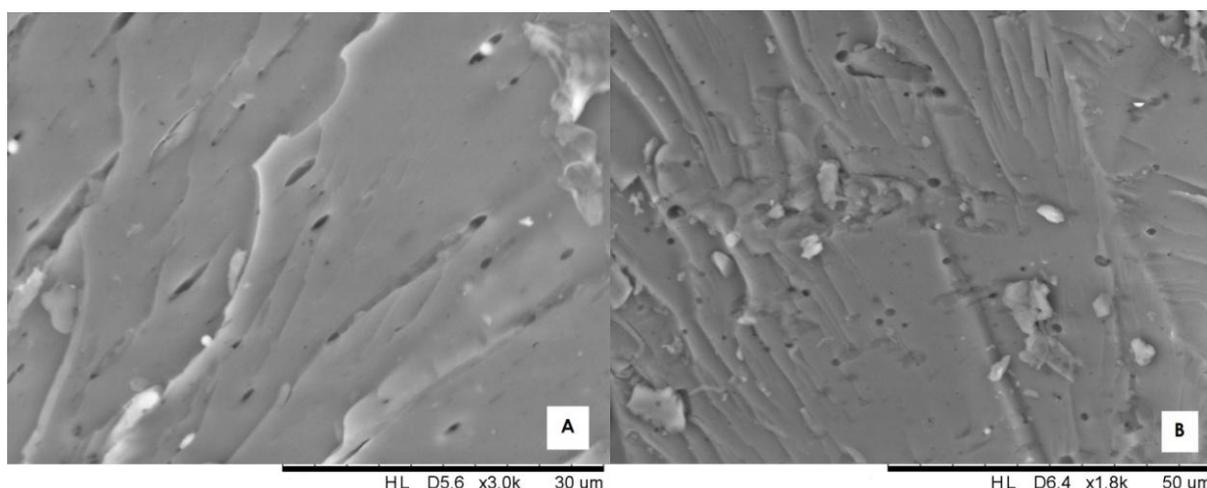


Figura 28 Microfotografia da farinha de milho extrudada (T1), aumento de 3000x (A) e microfotografia da farinha mista de milho e 15% de pupunha amarela extrudada (T2), aumento de 1800x (B)

A microestrutura superficial do extrudado expandido de milho adicionado com 15% (T4) está disposta na Figura 29. Esta caracteriza o aspecto morfológico de superfície irregular do extrudado expandido em uma estrutura complexa composta de paredes celulares rompidas ligadas em conjunto por uma matriz de amido gelatinizado.

Cheyne et al. (2005) ao relatar a microestrutura de extrudados de batata desenvolvidos durante extrusão, por microscopia eletrônica de varredura e microscopia de luz por interferência diferencial de contraste, mostrou um extrudado constituído por três regiões: um núcleo central com grânulos de amido não danificados, uma região altamente comprimida com grânulos de amido parcialmente danificados e outros intactos, e uma superfície com amido amorfo, de forte cisalhamento, insinuando um processamento de extrusão por alta pressão, por ter tido cisalhamento significativo apenas na superfície, ao passo que no centro não houve quebra dos amidos.

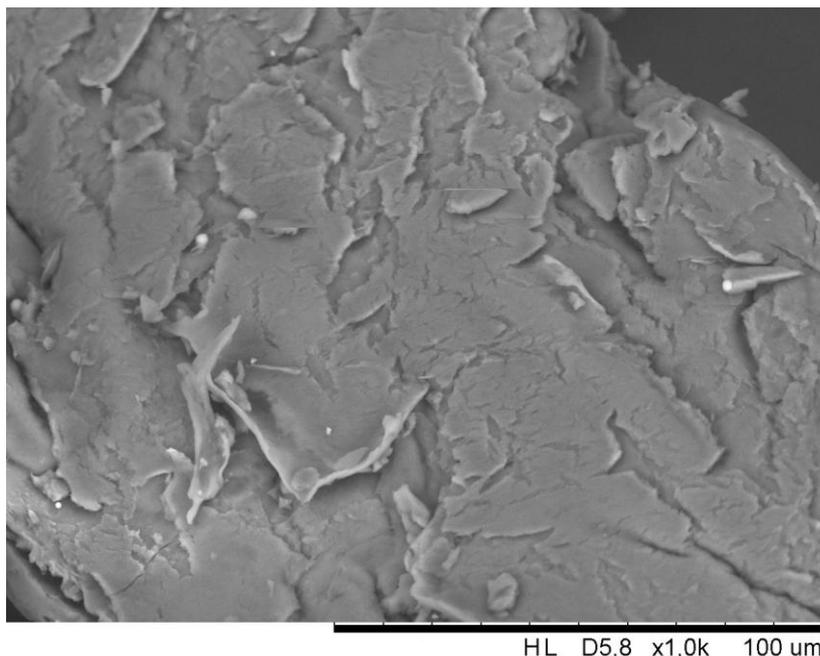


Figura 29 Microfotografia do extrudado de milho e 15% de pupunha vermelha (T4), aumento de 1000x

4.3.5 Avaliação do extrudado por imagem

A estrutura dos produtos é determinada pela resposta dos materiais e sua composição as condições do processo (CHEYNE et al., 2005). As diferenças na constituição e disposição das células internas dos extrudados podem evidenciar as diferentes dos processos. Assim, células de tamanho similar e com paredes finas conferem produtos com maior qualidade e aceitação (ASCHERI, 2008).

A Figura 30 mostra as diferenças entre a organização interna dos extrudados, onde o tratamento T1 representado por 100% de milho (Figura 30A) apresenta células maiores e mais similares entre si. As Figuras 30B e 30D com 15% de pupunha, amarela e vermelha, respectivamente, indicam estruturas com células maiores na região central e células menores ao redor. Já as Figuras 30C e 30E com 25% de pupunha, amarela e vermelha, respectivamente, demonstram compartimentos de ar menores e irregulares. Todas as amostras adicionadas de pupunha obtiveram um aumento no número de células. Contudo, estas modificações na estrutura destes tratamentos podem ser atribuídas ao efeito combinado da fibra e do óleo presentes no fruto de pupunha.

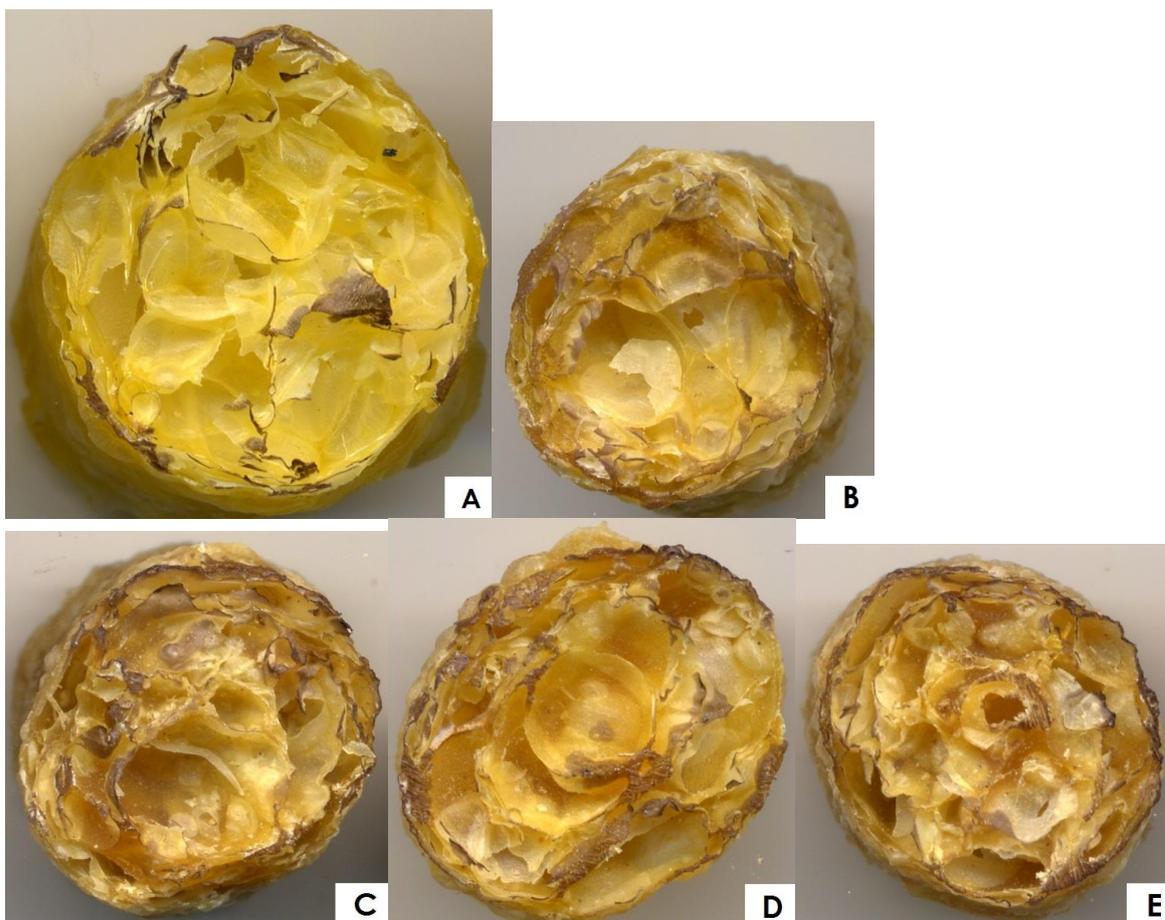


Figura 30 Corte radial dos expandidos de milho adicionados de farinha de pupunha mostrando a estrutura interna das células: (A) T1(milho); (B) T2(15% pupunha amarela); (C) T3(25% pupunha amarela); (D) T4(15% pupunha vermelha); (E) T5(25% pupunha vermelha)

É possível notar que o extrudado de maior expansão foi o T1, com 100% milho, normalmente utilizado neste tipo de processamento, por extrusão, por atingir as características tecnológicas desejadas em produtos (ASCHERI, 2011; MOURA, 2012).

Dentre as formulações adicionadas de pupunha, o T4, com 15% de pupunha vermelha, foi aquele de maior expansão, diferindo dos outros, que se apresentaram similares entre si, o que corroborou com os resultados apresentados no item 4.3.2 para o índice de expansão radial. Vale lembrar que as condições de processamento foram as mesmas para todos os tratamentos. Similar análise da estrutura interna dos extrudados foi conduzida por Barret e Peleg (1992) ao avaliarem a distribuição do tamanho das células de extrudados expandidos de milho.

4.3.6 Difração de raio X

A porcentagem de cristalinidade e parte amorfa dos tratamentos crus e extrudados sob mesmas condições de processamento estão expostas na Tabela 14. Vale ressaltar que os resultados de cristalinidade calculados pelo software do D2phaser ainda são pouco compreendidos.

O tratamento 1 aproveitou maior amorfismo (62,2%), ou seja sem forma, o que difere de Cheyne et al. (2005) que apontou cristalinidade de 100% para amido nativo sem tratamento

por extrusão. Era de se esperar um maior percentual de cristalinidade, evidenciando a estrutura nativa do grânulo de amido de milho. Os demais tratamentos apresentaram uma porcentagem de cristalinidade ainda menor, variando de 26,7 a 29,5%, não diferindo muito entre si, o que pode ser devido aos processamentos realizados anteriormente para transformação do fruto de pupunha a farinha para a elaboração das misturas.

Após o processo de extrusão dos tratamentos podemos verificar que apenas no tratamento 1 houve uma redução da cristalinidade, porém baixa, de 37,8 para 30,1%, mostrando o efeito do processamento sobre a quebra dos grânulos de amido. Já com relação aos demais tratamentos houve um aumento considerável da cristalinidade quando comparada as formulações cruas, como por exemplo, 49 contra 29,5% no T5, o que pode ser possível, apesar da cristalinidade original do amido ser reduzida, pelo rompimento causado pela extrusão. Com o armazenamento das amostras para posteriores análises, pode ter ocorrido um rearranjo das moléculas de amido com os outros compostos químicos presentes na farinha de pupunha, como lipídios e fibras, formando complexos cristalinos, denominados de cristalinidade do tipo V e E, mas normalmente ocupam regiões de cristalinidade inferiores ao do amido nativo ou cru (ASCHERI; ASCHERI; CARVALHO, 2006; BHATNAGAR; HANNA, 1994; CAMIRE; CAMIRE; KRUMAR, 1990; MOURA, 2012).

Pode-se ainda relatar a presença de amidos nativos, ou seja, que não foram destruídos após o processamento por extrusão continuando intactos, o que corrobora com o verificado nas análises de viscosidade, item 4.4.2.2.

Tabela 14 Determinação da cristalinidade de farinha de milho adicionada de pupunha antes e após o processamento por extrusão

	Cristalinidade (%)	Amorfo (%)
T1 antes da extrusão	37,8	62,2
T2 antes da extrusão	28,3	71,7
T3 antes da extrusão	28,7	71,3
T4 antes da extrusão	26,7	73,3
T5 antes da extrusão	29,5	70,5
T1 extrudado	30,1	69,9
T2 extrudado	40,5	59,5
T3 extrudado	36,0	64,0
T4 extrudado	44,5	55,5
T5 extrudado	49,0	51,0

T1 - 100% milho; T2 - 15 % pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela;

T4 - 15% pupunha vermelha; T5 - 25 % pupunha vermelha

As Figuras 31 a 35 mostram através dos picos a presença de cristalinidade tanto no material cru, antes da extrusão, quanto no material extrudado. A intensidade dos picos variou tanto no material cru quanto no extrudado, onde a menor intensidade foi do T5 e a maior do T3, em ambos os casos. A intensidade após a extrusão não variou muito entre os tratamentos, com exceção do T5.

Bhatnagar e Hanna (1994) ao utilizarem difração de raios X para obter evidências qualitativas dos complexos entre amilose e lipídios formados verificaram que o amido e milho nativo (tipo A) apresentaram picos em 15,1, 16,4, 17,5 18,7 e 22,6 ângulo 2 theta. E que após o processamento por extrusão ocorreu modificação do padrão de cristalinidade com a

formação e cristalinidade do tipo V com ângulos 2 theta a 7.3, 12.7 e 19.8, indicando que o processamento resultou em formações de complexos entre o amido e lipídios nativos. Afirmaram ainda que os picos formados foram pequenos, e que dependiam do tipo de lipídio. O mesmo pode ser observado no presente estudo onde os picos após extrusão foram menores e apareceram em diferente posição do ângulo 2 theta em relação aos amidos nativos de pupunha e milho das misturas cruas.

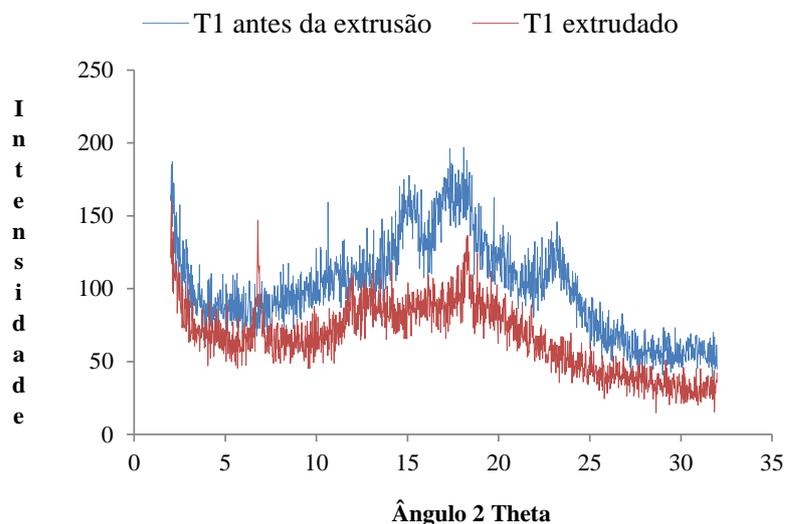


Figura 31 Difratomogramas de raios X do T1 (100% milho), antes da extrusão e extrudado

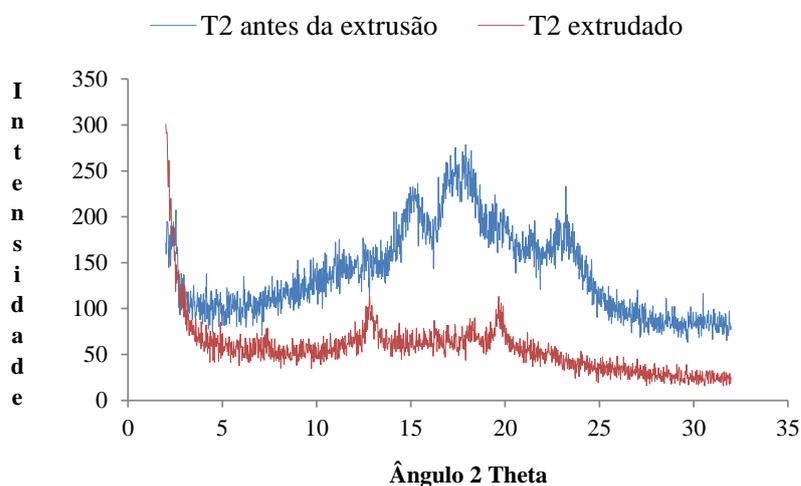


Figura 32 Difratomogramas de raios X do T2 (15% pupunha amarela), antes da extrusão e extrudado

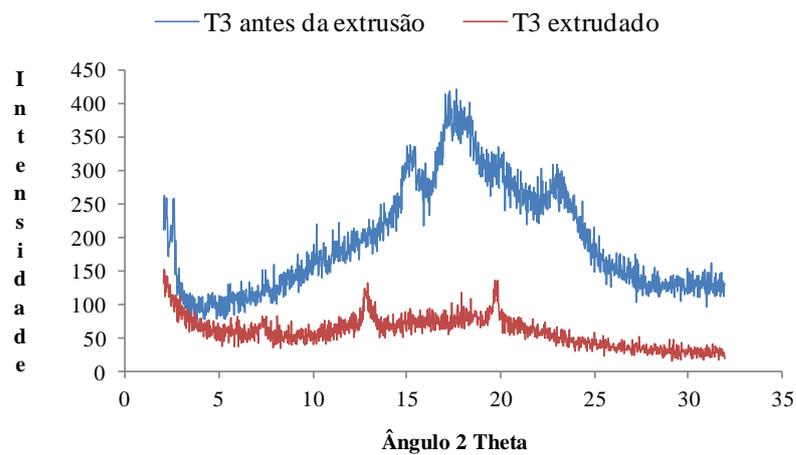


Figura 33 Difratomogramas de raios X do T3 (25% pupunha amarela), antes da extrusão e extrudado

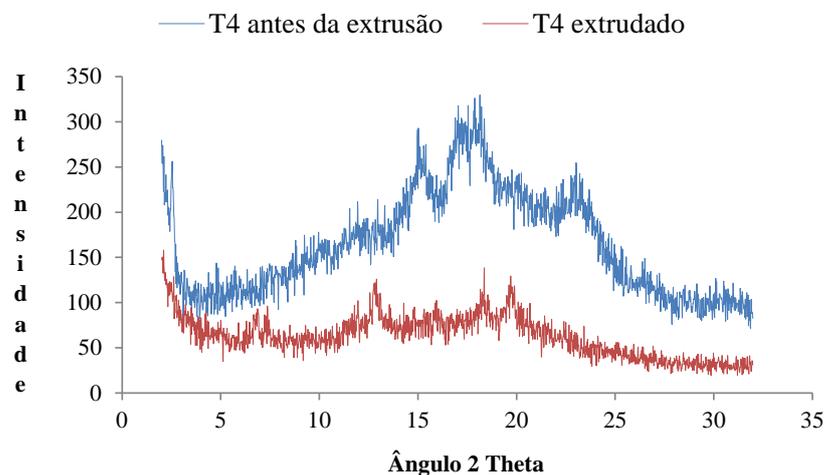


Figura 34 Difratomogramas de raios X do T4 (15 % pupunha vermelha), antes da extrusão e extrudado

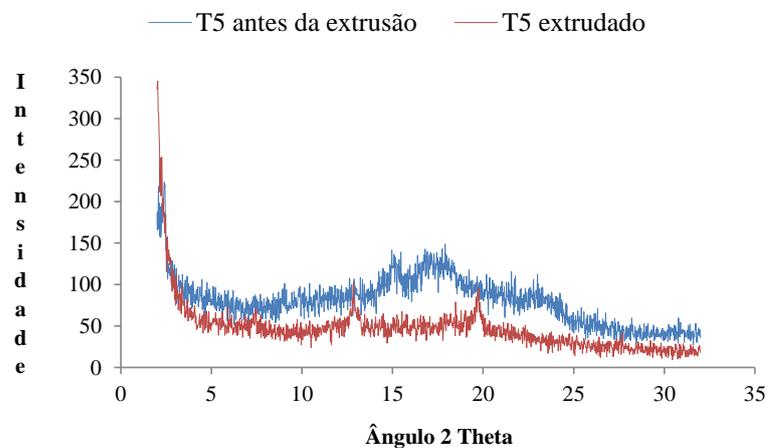


Figura 35 Difratomogramas de raios X do T5 (25% pupunha vermelha), antes da extrusão e extrudado

Cairns et al. (1997) afirmou que amido cristaliza em um dos quatro tipos de polimorfos A, B, C ou V, e que os tipos V resultam quando o amido é extrudado em presença de lipídio ou emulsificante. Entretanto, ao estudar os efeitos de diferentes condições de processo na estrutura e cristalinidade de extrudados de *grits* de milho, observaram que ao adicionar monoglicerídeo o efeito sobre as estruturas cristalinas dos extrudados foi pouco ou nenhuma. E que o polimorfo do tipo V também ocorreu sob baixas temperaturas, alta umidade e sem a adição de monoglicerídeo. Assim, o tipo de polimorfo V encontrado no presente estudo, pode ser atribuído ao alto teor de lipídeo encontrado no material utilizado.

Verificaram ainda que, o material cristalino após a extrusão nos extrudados sem a adição de monoglicerídeos pode ser devido à complexação da amilose solubilizada pela gelatinização, com lipídeos do milho. E que os aumentos nos níveis de cristalinidade nas amostras extrudadas com monoglicerídeos foi devido tanto ao complexo da amilose com monoglicerídeo e da amilose com lipídio, e que a redução na sua degradação foi atribuída ao efeito da lubrificação causada pelo monoglicerídeo na extrusora.

Cheyne et al. (2005) ao estudarem a microestrutura do amido de batata durante a extrusão encontraram grânulos e flocos sem alteração após a extrusão, quando comparada ao material cru, indicando que o processamento não exerceu efeito sobre a estrutura do amido em escala nanométrica. E que a cristalinidade do amido nativo não extrudado foi do tipo B. relataram ainda que a presença de cristalinidade em batata cozida foi devido à retrogradação do amido durante o armazenamento.

Weber, Collares-Queiroz, Chang (2009) estudaram a morfologia e cristalinidade de amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. Eles encontraram que o amido de milho normal e ceroso com padrão de cristalinidade do tipo A, ou seja, com uma proporção maior de moléculas de amilopectina com cadeias curtas, e o amido com alto teor de amilose com padrão tipo B. Observaram ainda que, o amido com maior cristalinidade foi o ceroso, por contém maior quantidade de amilopectina que é a responsável pela parte cristalina dos grânulos.

4.4 Caracterização Tecnológicas Funcionais das Farinhas Solúveis dos Extrudados

4.4.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e Índice de absorção em água (IAA)

Estes índices alteram de acordo com o grau de modificação do amido sofrido durante o processo de extrusão. O índice de solubilidade em água está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis na amostra seca. Dependendo da matéria-prima, o ISA aumenta com a severidade do tratamento e com o decréscimo da umidade (LEONEL; FREITAS; MISCHAN, 2009; MOURA, 2012; SACCHETTI et al., 2004). Os amidos que sofreram modificação durante o processo apresentam em solução, moléculas solúveis de baixo peso molecular, e, por isso, têm capacidade limitada em absorver água em temperatura ambiente. O índice de absorção em água está relacionado com a viscosidade, pois apenas os grânulos de amidos danificados tem mais grupos hidrofílicos livres para formar ligações de hidrogênio com a água, absorvendo-a à temperatura ambiente, inchando. (CARVALHO et al., 2010; CLERICI; EL-DASH, 2008).

Os resultados dos índices de solubilidade em Água (ISA) e absorção em Água (IAA) das amostras cruas e extrudadas de milho e pupunha estão dispostos nas Tabelas 15 e 16.

Os valores de ISA variaram de 2,35 a 4,71% nas farinhas cruas e de 2,20 a 27,83% nas farinhas extrudadas. Com relação as farinhas antes da extrusão, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as formulações testadas onde o tratamento 3, com 25% de pupunha, obteve o maior índice, 4,71%, e o tratamento 1, com 100% milho, o menor valor, 2,35%. Já as farinhas de milho e pupunha extrudadas apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de

confiança apenas para o tratamento 1, com 100% milho, o qual foi 12 vezes superior ao seu próprio valor antes da extrusão, e as demais formulações extrudadas, as quais demonstraram uma diminuição com relação a farinha crua.

Como consequência do tratamento sofrido no extrusor, com relação ao ISA do T1 (27,83%), pode-se dizer que devido às condições empregadas de baixa umidade (16%) e alta rotação do parafuso (400 rpm), ou seja tratamento severo, sob sua estrutura amilácea, houve degradação a ponto de gerar grande número de dextrinas, pequenas cadeias de amilose e amilopectina, resultando em aumento no teor de sólidos solúveis e conseqüentemente solubilização do amido.

Segundo Collona et al. (1984) *apud* Camargo, Leonel e Mischán (2008) baixos conteúdos de umidade podem aumentar o efeito do cisalhamento e do tempo de residência, aumentando o grau de gelatinização, e se aumento for contínuo possivelmente pode levar a formação de compostos de baixa massa molecular, aumentando a solubilidade, o que pode ter ocorrido no presente estudo.

Segundo Teba (2009) o aumento da solubilidade é a base para produção de alimentos instantâneos, de rápido preparo, como as bebidas solúveis. Afirmou ainda que, as modificações estruturais em função do cisalhamento podem gerar diferentes graus de solubilidade no produto, como o verificado no presente estudo que apesar da severidade do processo ter sido alta, apenas o tratamento com 100% milho (T1) foi influenciado pelas condições do processamento, já que com os demais tratamentos não houve aumento do ISA, indicando que a composição química do produto estudado apresentou maior influência.

Ascheri, Ascheri e Carvalho (2006) ao estudar as propriedades funcionais dos extrudados elaborados a partir da mistura de farinha de arroz e bagaço de jabuticaba em diferentes condições de extrusão afirmaram que a diminuição dos valores do índice de solubilidade em água foi pelo teor de fibras e proteínas presentes na farinha de bagaço de jabuticaba, já que as fibras podem interagir com o amido, reduzindo a solubilidade, corroborando com o presente estudo. Citaram ainda que as proteínas, em altas temperaturas, sofrem desnaturação favorecendo a produção de $-NH_2$, que podem reagir com as hidroxilas livres do amido, gerando complexos não solúveis.

Nascimento (2010) ao elaborar produtos expandidos, farinha pré-gelatinizada ou instantânea através de duas extrusoras de rosca simples, laboratório e comercial, observou que em extrusora de rosca simples de laboratório da marca Brabender com umidade de 15%, temperatura da última zona de 130 °C e rotação do parafuso de 150 rpm, os grits de milho extrudados obtiveram um ISA de 17,35%, já em uma extrusora comercial de parafuso único e curto, de alto cisalhamento, da marca Inbramaq, com umidade de 15%, temperatura desconhecida, e velocidade do parafuso de 355 rpm o valor do índice de solubilidade em água foi de 31,67%, valor este próximo ao encontrado no presente estudo para a mesma amostra de milho. Observou ainda que, ao adicionar mais torta desengordurada de gergelim a mistura, a degradação do amido era menor e conseqüentemente o ISA diminuía.

Moura (2012) ao analisar farinhas mistas de milho, feijão e arroz e suas propriedades funcionais observou que os tratamentos que geraram produtos com maior índice de solubilidade em água foram os que obtiveram maiores índices de expansão, como o verificado no presente estudo.

Camargo, Leonel e Mischán (2008) ao avaliar o efeito dos parâmetros operacionais de extrusão sobre as propriedades físicas de extrudados de mistura de farelo de mandioca, polvilho azedo e fibra, encontraram resultados de ISA que variaram de 23,17% a 29,23%, cujos parâmetros significativos foram a temperatura na forma quadrática e a interação umidade e fibra. Apenas a porcentagem de fibra não foi significativa.

Altan, McCarthy e Maskan (2008) ao investigar a processabilidade de farinha de cevada com polpa de tomate para produzir alimentos tipo *snacks* em um extrusor dupla rosca

reconheceu o efeito da rotação do parafuso e o nível de polpa de tomate como efeito positivo no aumento do índice de solubilidade em água.

Ainda com base na Tabela 15 e 16 os valores de IAA variaram de 2,22 a 3,20 g/g nas farinhas cruas e de 4,06 a 7,69 g/g nas farinhas extrudadas de milho e pupunha. Houve diferença significativa, ao nível de 5% de confiança, entre quase todos os tratamentos onde apenas a formulação com 25% de pupunha vermelha foi similar a ambas as amostras com 15% de pupunha, amarela e vermelha. A formulação T4 obteve o menor valor de índice de absorção em água (2,22 g/g), seguido da T1 com 2,57 g/g.

Moura (2012) encontrou valor similar para farinha de milho crua com 2,78 g/g de IAA ratificando que este baixo índice em comparação com a farinha extrudada, mostra o difícil acesso da água as cadeias do amido, já que sua cristalinidade permanece.

As amostras extrudadas mostraram diferença significativa apenas entre o T1, 100% milho, e as demais formulações adicionadas de pupunha, as quais não obtiveram diferenças entre si ($P > 0,05$), onde as misturas de farinhas de milho e pupunha, amarela e vermelha, apresentaram os maiores valores de IAA que ficaram entre 7,55 e 7,69 g/g.

Tabela 15 Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção em Água (IAA) das farinhas cruas de milho e pupunha

	ISA (%)	IAA (g/g)
T1	2,35 ± 0,10 ^c	2,57 ± 0,12 ^c
T2	3,04 ± 0,30 ^b	2,88 ± 0,21 ^b
T3	4,71 ± 0,23 ^a	2,22 ± 0,06 ^d
T4	3,05 ± 0,13 ^b	3,20 ± 0,15 ^a
T5	3,31 ± 0,20 ^b	3,02 ± 0,13 ^{ab}

T1 - 100% milho; T2 - 15 % pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela;

T4 - 15% pupunha vermelha; T5 - 25 % pupunha vermelha

^{a,b} Médias com letras diferentes entre as linhas indicam $P < 0,05$

Tabela 16 Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção em Água (IAA) das farinhas extrudadas de milho e pupunha

	ISA (%)	IAA (g/g)
T1	27,83 ± 1,02 ^a	4,06 ± 0,12 ^b
T2	2,33 ± 0,14 ^b	7,66 ± 0,21 ^a
T3	2,20 ± 0,20 ^b	7,55 ± 0,15 ^a
T4	2,61 ± 0,09 ^b	7,69 ± 0,19 ^a
T5	2,60 ± 0,22 ^b	7,60 ± 0,20 ^a

T1 - 100% milho; T2 - 15 % pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela;

T4 - 15% pupunha vermelha; T5 - 25 % pupunha vermelha

^{a,b} Médias com letras diferentes entre as linhas indicam $P < 0,05$

Embora tenha sido usado parâmetros operacionais severos como baixa umidade (16%) e alta rotação do parafuso (400 rpm), o material estudado, pupunha, por ser rico em óleo e fibras, deve ter contribuído para reduzir a severidade do tratamento por, reduzir o efeito do

cisalhamento sobre a fração amilácea dos amidos de milho e pupunha, tendo ainda a capacidade de intumescimento e gelatinização. Além disso, a gordura tem a capacidade de impedir que a água se ligue ao amido (CAMIRE; CAMIRE; KRUMAR, 1990; FAUBION; HOSENEY, 1982; MORARU; KOKINI, 2003). Segundo estes autores os lipídios polares interagem com as cadeias lineares de amilose para inibir o entumescimento e a hidratação do grânulo. Este efeito está relacionado ao comprimento da cadeia hidrocarbonada: cadeias curtas de lipídios polares podem acelerar a taxa de gelatinização, enquanto cadeias médias e longas inibem o entumescimento dos grânulos.

Segundo Clerici e El-Dash (2008) quanto maior a gelatinização, maior o número de hidroxilas disponíveis para formar ligações com a água, e como consequência, maior é o IAA, o que pode ser observado no presente estudo. Citaram ainda que, farinhas de arroz pré-gelatinizada por extrusão com baixa viscosidade podem ser usadas para produtos com alto teor de sólidos, como fórmulas infantis e alimentos para dietas especiais. Já alta viscosidade a frio e alto IAA são mais indicados para produtos de preparo rápido.

Sacchetti et al. (2004) ao investigar os efeitos da farinha de castanha na mistura e a temperatura de extrusão nas propriedades funcionais dos produtos observaram que quando os conteúdos de farinha de castanha são altos, baixos valores de IAA são encontrados, possivelmente pelo alto teor de açúcares, principalmente sacarose na farinha, diferentemente do encontrado no presente trabalho, já que a maior adição de farinha de pupunha, seja em qualquer proporção e variedade estudada não tiveram efeito sobre os valores desta propriedade.

Borba (2005) afirmou que com baixas rotações e temperatura no extrusor os valores de IAA apresentam-se mais altos que em elevadas rotações e temperaturas.

Altan, McCarthy e Maskan (2008) ao estudar o efeito do conteúdo do bagaço de tomate, temperatura de extrusão e rotação do parafuso em extrudados observou que o índice de absorção em água foi menor com o aumento da porcentagem de bagaço de tomate. E que isto foi devido à redução do teor de amido com a adição do bagaço e a competição da absorção da água entre o tomate e o amido disponível.

Camargo, Leonel e Mischan (2008) ao verificar o efeito da adição de fibras na produção de biscoitos de polvilho azedo com maior valor agregado conferiram que os maiores valores de IAA foram nos tratamentos isentos de fibras. E que sua incorporação a mistura reduz muito esta propriedade quando sob altos teores de umidade, porém com baixas porcentagens de umidade, o efeito da adição de fibras já não é tão acentuado.

Moura (2012) observou valores de índice de absorção em água similares ao verificado no presente estudo, nas misturas de farinha de feijão, arroz e milho elaborados com 193 °C de temperatura, rotação do parafuso de 140 rpm e 21% de umidade (7,75g/g), e 180 °C de temperatura, 160 rpm e 24% de umidade (7,25g/g). Porém a baixa taxa de cisalhamento foi por efeito do uso de elevados teores de umidade durante o processo, o que fez com que houvesse diminuição do atrito do parafuso sobre as moléculas de amido, funcionando também como lubrificante o que consequentemente diminui a degradação do mesmo, aumentando o IAA.

Carvalho et al. (2010) com objetivo de estudar as propriedades tecnológicas de extrudados de terceira geração obtidos de misturas de farinhas de pupunha e mandioca, encontraram valores de ISA que variaram de 5,37 a 7,34%, os quais foram superiores ao observado no presente estudo e índices de absorção de água que variaram de 5,01 a 6,48g/g, os quais foram inferiores ao presente estudo. Verificaram ainda que, quanto maior a quantidade de pupunha usada nas formulações, menor foram os valores de ISA e IAA. Afirmaram também que, os resultados de ISA e IAA de extrudados diretos possuem comportamento diferente dos materiais extrudados de terceira geração, pelo fato principal de

no processamento de extrudados de terceira geração usar alta umidade (35%), o que limita a expansão do produto na saída do extrusor.

4.4.2 Viscosidade de pasta

As características de pasta formada revelam as mudanças na estrutura molecular do amido submetido ao processo de extrusão, que é bastante sensível a pequenas variações na formulação, temperatura, rotação do parafuso e umidade, além de permitir avaliar a tendência à retrogradação durante o resfriamento (DUARTE; CARVALHO; ASCHERI, 2009; NASCIMENTO et al., 2012). Além disso, é uma das propriedades mais importantes, pois pode determinar as propriedades funcionais das matérias-primas utilizadas e suas mais variadas aplicações nas indústrias alimentícias (CARVALHO et al., 2010; MENEGASSI et al., 2007).

A viscosidade esta sujeita à capacidade dos grânulos de amido absorver água, incharem, romperem, com o aumento da temperatura, e se difundirem no meio, transformando-se em gel ou líquido viscoso (LUSTOSA; LEONEL, 2010; SOUZA; LEONEL, 2010). Tratamentos rigorosos fazem com a estrutura do amido seja completamente destruída, causando baixas viscosidade de pasta (CARVALHO et al., 2010).

Os grânulos de amido sofrem gelatinização e fusão, por ação do calor e umidade nas pontes de hidrogênio entre as cadeias polissacarídicas firmemente ligadas na estrutura. Sob condições de excesso de água, as pontes de hidrogênio nas regiões amorfas do grânulo, menos ordenadas, se rompem, permitindo que a água se associe com grupos hidroxilas livres (CLERICI; EL-DASH, 2008; TEBA, 2009). A água leva ao entumescimento e a aberturas adicionais da estrutura do grânulo. A fusão cristalina resulta em um desaparecimento completo da birrefringência (DUARTE; CARVALHO; ASCHERI, 2009). Porém, este intumescimento prossegue até um ponto de máxima viscosidade, a partir do qual, qualquer energia extra fornecida (aquecimento) provoca a “quebra” do gel formado, fazendo com que a viscosidade sofra uma redução (BECKER; HILL; MITCHELL, 2001).

Assim, os maiores valores de viscosidade estão associados com a alta proporção de amidos não gelatinizados, já que resultados mais baixos indicam uma proporção de amido gelatinizado que é atribuído à variação de diferentes graus de despolimerização e desarranjo molecular resultante das condições do processamento térmico (SILVA, 2007).

Logo, a viscosidade de pasta tem como objetivo avaliar as condições em que se encontram os grânulos de amido, submetidos ao aquecimento, assim como a intensidade e severidade do tratamento térmico e as condições de extrusão.

Os resultados de viscosidade inicial a 25 °C, viscosidade máxima a 95 °C, viscosidade mínima e viscosidade final, bem como os valores calculados para quebra de viscosidade (*breakdown*) e tendência a retrogradação (*setback*) estão expostos na Tabela 17.

Tabela 17 Resultados da caracterização de viscosidade de pasta das farinhas mistas extrudadas de milho e frutos da pupunha

	Vinicial 25 (cP)	V_{máx} (cP)	V_{mín} (cP)	Breakdown (cP)	V_{final} (cP)	Setback (cP)
T1	253	0	101,5	0	211	111,5
T2	91,5	307,5	225	82,5	217,5	10,5
T3	63	248	161	87	155,5	12
T4	91	291	212	79	201	7,5
T5	78,5	256,5	174,5	82	167	12

*Tratamentos: T1 - 100% milho; T2 - 15% pupunha amarela; T3 - 25% pupunha amarela; T4 - 15% pupunha vermelha; T5 - 25% pupunha vermelha

Vinicial 25: Viscosidade de Pasta Inicial a 25°C V_{máx}: Viscosidade de Pasta Máxima a 95°C V_{mín}: Viscosidade de Pasta Mínima

Breakdown: Quebra de viscosidade V_{final}: Viscosidade de Pasta Final Setback: Tendência a retrogradação

4.4.2.1 Viscosidade de pasta inicial a 25 °C

A viscosidade inicial a 25°C ou viscosidade de pasta a frio indica a capacidade das farinhas de absorver água à temperatura ambiente e formar gel ou líquido viscoso (LUSTOSA; LEONEL, 2010; MENEGASSI et al., 2007), importante em produtos instantâneos.

Segundo Shuey e Tipples (1980), *apud* Teba (2009) quando os grânulos de amido são submetidos a um tratamento térmico, ocorre rompimento nas pontes de hidrogênio que ligam as moléculas em rede micelar, favorecendo a capacidade de hidratação e resultando em processo de intumescimento irreversível, que irá refletir o seu grau de pré-gelatinização. Consequentemente, quanto maior for o grau de gelatinização, maior será a viscosidade inicial.

Assim, um alto valor de viscosidade a frio pode revelar que a fração de amido foi convertido de tal modo que o grupo hidroxil foi exposto, permitindo que este absorva mais água que o amido nativo (DUARTE; CARVALHO; ASCHERI, 2009). Em contrapartida, a viscosidade inicial diminui quando os grânulos de amido se rompem, ficando dextrinizados, já que a capacidade de retenção de água tem relação com o tamanho das moléculas de amilose e amilopectina (CLERICI; EL-DASH, 2008; SOUZA; LEONEL, 2010).

No presente estudo, como foram mantidas as mesmas condições de temperatura, rotação do parafuso e umidade, durante o processamento das misturas estudadas, as alterações da viscosidade foram decorrentes das diferenças nas formulações dos extrudados. Os resultados obtidos mostraram baixa viscosidade inicial para todas as misturas (Tabela 17).

O tratamento 1, 100% milho, foi o que apresentou maior valor de viscosidade a frio (253 cP) quando comparado aos tratamentos adicionados de pupunha.

Nascimento et al. (2012), ao estudar o efeito da rotação do parafuso e porcentagem de torta de gergelim semi-desengordurada em extrudados expandidos de milho observaram que a 356 rpm, a 15% de umidade, e com 100% milho, o valor da viscosidade inicial foi de 63 cP, o que foi bem inferior ao encontrado no presente estudo. Com trabalho similar, mas com parâmetros de extrusão de 15% de umidade, 150 rpm, 130°C de temperatura e 100% milho, a mesma autora em 2010, verificou valores de 124,5 cP, também inferior ao encontrado. Já Duarte, Carvalho e Ascheri (2009), ao investigarem o efeito da casca de soja como material rico em fibra bem como os parâmetros de extrusão nas propriedades física de expandidos direto de extrudados de milho conferiram que a 100 rpm, 100 °C na ultima zona de aquecimento, 0% de casca de soja e 16% de umidade, a viscosidade a frio foi de 700 cP, bem superior ao verificado no presente trabalho.

Ainda com base na Tabela 17, a viscosidade a frio das farinhas elaboradas com pupunha variaram de 63 a 91,5 cP. A adição de maior porcentagem de pupunha, não havendo diferença entre o tipo, amarela ou vermelha, resultaram em redução ainda maior destes valores. Sugerindo que, uma vez que foram constantes os outros parâmetros de extrusão, o aumento do teor de pupunha, por conter expressiva quantidade de óleo, além de fibras em sua composição, acaba por reduzir o efeito combinado do cisalhamento e da temperatura sobre os grânulos de amido, diminuindo a gelatinização do mesmo, o que corroborou com Nascimento (2010).

Oliveira (2007), ao desenvolver processos e produtos, utilizando casca de soja e milho, visando o aumento do valor nutritivo e consumo de soja verificou que com a adição de diferentes teores de casca de soja, aqueles com maior teor, resultaram em menores valores de viscosidade de pasta inicial.

Carvalho et al. (2010), estudando o efeito de misturas de farinhas de mandioca e pupunha na qualidade final de extrusados de terceira geração obtidos por extrusão termoplástica também encontraram baixos valores de viscosidade inicial, de 17 a 55 cP, e os menores valores foram verificados em formulações com maiores teores (25%) de farinha de pupunha.

4.4.2.2 Viscosidade de pasta máxima a 95 °C

A viscosidade máxima, também chamada de viscosidade a quente é o ponto máximo da curva obtido durante o aquecimento e indica a presença de grânulos de amido com integridade estrutural preservada. Em outras palavras, está diretamente relacionada com o nível de degradação do amido. Com a destruição do grânulo e de sua estrutura cristalina, perde-se a capacidade de inchar quando aquecido em água, mostrando ausência de pico ou baixo valor de viscosidade (DUARTE; CARVALHO; ASCHERI, 2009).

Isso pode ser observado através do tratamento 1, com 100% de milho, onde houve ausência de pico (Figura 36). O mesmo foi observado por Clerici e El-Dash (2008), ao comprovarem que os valores de viscosidade a quente foram bem inferiores aos obtidos pela viscosidade inicial, com redução em até 88,8%, nos treze tratamentos estudados, com diferentes temperaturas e umidades no processo.

O mesmo foi verificado para as amostras adicionadas de pupunha por apresentarem pico de viscosidade a quente, onde os valores variaram de 248 a 307,5 cP. Os maiores picos foram obtidos nas formulações com menor porcentagem de pupunha (15%) em ambos os tipos estudados, amarela e vermelha (Tabela 17). O tratamento 2, com farinha de pupunha amarela, apresentou maior valor que o 4 (307,5 cP contra 291 cP), com farinha de pupunha vermelha, isso pode ser devido ao maior teor de óleo apresentando na farinha de pupunha vermelha, o qual pode interagir com o amido, impedindo a interação deste com a água para a gelatinização do amido. Entretanto, a mesma relação não foi observada entre as amostras com 25% de pupunha adicionada, já que o maior valor foi para o tratamento 5 com farinha de pupunha vermelha.

Moraru e Kokini (2003) ratificaram que a gordura presente no material a ser extrudado diminui a conversão do amido durante a extrusão, impedindo a quebra mecânica dos grânulos pela tensão do cisalhamento, não permitindo que a água seja absorvida pelo amido. Afirmaram ainda que, durante este processamento a maioria das farinhas dos cereais é transformada em massas viscoelásticas, porém dependem das variáveis de extrusão e da composição química do produto envolvido.

Além disso, o conteúdo de fibras presente no material pode tanto interferir na degradação do amido, como atuar influenciando na ligação da água com as moléculas de amido por também apresentar hidroxilas livres (-OH), podendo assim, interagir com a

molécula de água, diminuindo o grau de gelatinização do amido (NASCIMENTO, 2010; MOURA, 2012).

Segundo Moura (2012), um amido que não sofre um processo de extrusão tão severo, seja por auxílio de elevada umidade, ou baixa temperatura associada a uma baixa rotação do parafuso, pode manter sua estrutura amilácea apresentando pico de viscosidade máxima. Embora o presente trabalho tenha apresentado parâmetros de extrusão severos como alta rotação do parafuso (400 rpm) e baixa umidade (16%), parte dos grânulos de amido parecem não ter sofrido completo rompimento, uma vez que foi observado aumento da viscosidade a quente. Isso pode ser atribuído à composição da farinha de pupunha, uma vez que esta apresenta elevado teor de óleo (de 13 a 15%), bem como considerável teor de fibras em sua composição.

Teba (2009), com o objetivo de desenvolver massas alimentícias pré-cozidas por extrusão, utilizando como matéria-prima arroz e feijão, observou que a variável umidade foi significativa para o aumento da viscosidade máxima a 95 °C. Já com o aumento da proporção de farinha de feijão, houve uma diminuição do amido presente, resultando na diminuição da viscosidade. Além disso, outro fator que interferiu na viscosidade a quente foi a presença de proteína, a qual interagiu com o amido, impedindo sua quebra durante o processamento por extrusão.

Carvalho et al. (2010), testando formulações com mandioca com vários teores de farinha de pupunha (15, 20 e 25%), a 35% de umidade, com rotação do parafuso de 177 rpm e 70 °C na última zona da extrusora, obtiveram valores de viscosidade a quente de 1130, 1177 e 1139 cP. Valores que foram bem superiores ao encontrado no presente estudo, o que pode ter ocorrido pela diferença no tipo de extrusora e por empregarem parâmetros operacionais menos severos, particularmente mais alto teor de umidade e reduzida velocidade de rotação do único parafuso usado. Afirmaram ainda que esses valores da análise de RVA tornam-se importantes para definir o tipo de aplicação do produto extrudado, o qual foi moído. Assim, a farinha resultante poderia ser destinada ao preparo de sopas, tortas ou outros alimentos em que é interessante a viscosidade permanecer alta em temperaturas superiores a ambiente.

4.4.2.3 Viscosidade de pasta mínima

A viscosidade mínima ocorre quando a ruptura dos grânulos, com a agitação do meio, atinge seu máximo, ou seja, corresponde ao grau de desintegração dos grânulos de amido e outras substâncias. É encontrada como o menor valor de viscosidade após o pico de gelatinização, que nas farinhas extrudadas acontece a temperatura inferior a 95 °C (MOURA, 2012; TEBA, 2009).

Os valores de viscosidade mínima para as farinhas extrudadas variaram de 101,5 a 225 cP. As amostras adicionadas com farinha de pupunha obtiveram maiores valores para esta propriedade, quando comparado ao tratamento com milho apenas, justamente por suas composições químicas serem ricas em substâncias como óleo e fibra, que diminuem o atrito do processamento, e então uma quantidade menor de grânulos sofre degradação. E evidentemente, as formulações com maiores valores foram as que tinham 25% de pupunha incorporada, ao passo que 225 cP de viscosidade mínima, com adição de 15% de farinha de pupunha amarela, foi bem superior a 161 cP, ao se misturar 25% de pupunha amarela ao tratamento.

Diversos autores relataram a variável umidade como um parâmetro de grande influência em todas as propriedades de pasta, mas principalmente a viscosidade mínima de pasta. Como mencionado anteriormente, esta característica de pasta está relacionada à ruptura dos grânulos de amido, para isso é necessária uma menor umidade, já que umidades elevadas diminuem o efeito do cisalhamento, quebrando uma menor quantidade de grânulos

(BECKER; HILL; MITCHELL, 2001; CLERICI; EL-DASH, 2008; LUSTOSA; LEONEL, 2010; MENEGASSI et al., 2007; NASCIMENTO et al., 2012; SOUZA; LEONEL, 2010; TEBA, 2009).

Moura (2012), ao avaliar os parâmetros de extrusão na elaboração de extrudados expandidos utilizando *grits* de milho acrescidos de farinha de feijão e farinha de arroz, observou que o maior valor de viscosidade mínima foi para o tratamento de maior valor de temperatura (193 °C). Este autor verificou ainda que, a uma temperatura constante, se obtém valores quando se inverte as condições de rotação e umidade. Além disso, a uma rotação e temperatura constantes, basta uma diminuição da umidade, para ocasionar aumento do valor de viscosidade mínima. Assim, a umidade seria o parâmetro mais importante a se considerar para os produtos que necessitem de uma baixa viscosidade ao aquecimento, como as sopas menos viscosas.

4.4.2.4 Breakdown

Breakdown, ou viscosidade de quebra, é caracterizada pela diferença entre o pico de viscosidade e a viscosidade mínima. A partir desta propriedade de pasta pode-se avaliar a estabilidade do produto em elevadas temperaturas, sob agitação mecânica (BORBA, 2005; SOUZA; LEONEL, 2010). Esta quebra não é apenas relacionada à ruptura do grânulo, mas também a morfologia do amido e ao conteúdo de amilose e amilopectina (DUARTE; CARVALHO; ASCHERI, 2009).

Os resultados de quebra de viscosidade para as farinhas pré-gelatinizadas de milho e pupunha ficaram em torno de 79 a 87 cP, mostrando diferença entre a porcentagem de farinha de pupunha empregada, mas entre a mesma variedade estudada. Assim, a amostra com 25% de farinha de pupunha foi superior a com apenas 15% para a mesma amostra, por exemplo, 87 cP em farinha mista com 15% de pupunha amarela contra 82,5 cP com 25% de farinha de pupunha amarela (Tabela 17). Entretanto, não houve diferença entre o tipo de pupunha adicionada.

Nascimento et al. (2012), demonstrou que na presença de torta de gergelim semi-desengordurada na formulação, houve um aumento do *breakdown*. O elevado conteúdo de fibra insolúvel na mistura aumentou o valor de quebra de viscosidade, o que foi atribuído à presença de fibra insolúvel que atuou como agente cisalhante sobre a fração amilácea.

Similares resultados também foram encontrados por Duarte, Carvalho e Ascheri (2009). Estes autores atribuíram a temperatura baixa de processamento e aumento no teor de casca de soja por diminuírem o valor de *breakdown*. Entretanto ao elevar a temperatura de processamento, a adição de mais cascas de soja aumentou os valores de quebra de viscosidade, o que foi atribuído ao efeito da fibra insolúvel no interior da extrusora, já que está não funde, restringindo o fluxo e, em consequência o cisalhamento do amido.

Moura (2012) afirmou que para elaborar um produto que mantenha sua viscosidade durante o cozimento, como macarrão, é necessário utilizar parâmetros que permitam esta condição como temperatura média de 160 °C, rotação do parafuso a 140 rpm e elevado percentual de umidade, acima de 24%. Todavia, se o produto que se deseja não precisar manter essa característica, pode-se utilizar valores médios de temperatura e rotação, mas com menores teores de umidade, abaixo de 18%.

4.4.2.5 Viscosidade final

A viscosidade final está relacionada à extensão do processo de retrogradação do amido, que ocorre durante o ciclo de resfriamento. É uma característica que, em produtos extrudados, vai depender das modificações que ocorrem nas estruturas do grânulo de amido e

das moléculas durante o processamento (BORBA, 2005; OLIVEIRA, 2007; SOUZA; LEONEL, 2010).

Quando soluções amiláceas são resfriadas ocorre formação de géis ou precipitados microcristalinos, pelo reagrupamento das partes lineares das moléculas de amido, amilose e amilopectina, através da formação de novas ligações de hidrogênio, levando a recristalização do amido, processo chamado de retrogradação (SILVA, 2007; TEBA, 2009). Soluções concentradas e resfriadas tendem a formar géis rapidamente, ao passo que, soluções diluídas precipitam pela formação de ligações intermoleculares da fração amilose, o que não acontece com a amilopectina, devido às suas ramificações (CARVALHO et al., 2010).

Segundo Moura (2012), o rearranjo molecular, durante o resfriamento do material, dependerá de vários fatores entre eles: se é material ceroso, glutinoso, ou se possui ingredientes complexantes, dentre outros, que podem retardar a retrogradação.

A viscosidade de pasta final das farinhas extrudadas de milho e pupunha variou de 155,5 a 217,5 cP onde o menor valor foi da farinha mista de milho com 25% de pupunha amarela, e o maior valor obtido foi da farinha adicionada de 15% de pupunha amarela. Com base na Tabela 18 nota-se que, os maiores valores de viscosidade final foram obtidos para as farinhas que apresentaram em sua composição menores proporções de farinha de pupunha. A farinha controle de milho, tratamento 1, apresentou 211 cP de viscosidade final a 25 °C.

O mesmo foi observado no trabalho de Teba (2009) a qual atribui esta redução à diluição do amido causada pela elevação no teor de cinzas, lipídeos, proteínas e fibras, em virtude do incremento na proporção da farinha de feijão nas massas alimentícias. Afirmou ainda que, moléculas amiláceas quando não totalmente degradadas tendem a se reestruturar, aumentando assim, o valor da viscosidade final, refletindo o grau de retrogradação do amido. Com base nos resultados encontrados na Tabela 17, pode-se verificar que ocorreu retrogradação na maioria das amostras estudadas, já que os valores numéricos da viscosidade final a 25 °C, foram superiores aos da viscosidade inicial a 25 °C.

Ao contrário dos demais tratamentos, a farinha de milho (T1) apresentou valor de viscosidade final menor que o de viscosidade inicial a 25 °C, não apresentando assim retrogradação. Isso pode ser explicado pelo grau de degradação dos grânulos de amido levando ao rompimento de suas estruturas moleculares resultante do tratamento severo, causando a perda da capacidade de retrogradação devido ao realinhamento da fração amilose (MENEGASSI et al., 2007; MOURA, 2012; SOUZA; LEONEL, 2010).

Silva (2007) assegurou que em muitos tratamentos ocorreu o aumento da viscosidade final com a redução do percentual de farinha de milho. Isso pode ser devido ao fato da diferença de composição da farinha de pupunha em relação à do milho, já que a pupunha contém maior quantidade de lipídeos e fibras.

Moura (2012) ratificou que ao se trabalhar com maiores teores de umidade e temperatura, menor rotação do parafuso, e vice-versa, os valores de viscosidade após o resfriamento aumentam, o que restringe o uso destes tratamentos em alimentos. E que a retrogradação só é desejável em farinhas para revestir algum produto, antes da fritura, por diminuir a absorção de óleo e assim conferir textura mais agradável ao produto final.

Souza e Leonel (2010) observaram que nas condições de baixa umidade, em torno de 15%, o teor de fibras pode agir como uma barreira na degradação do amido, sendo este efeito menos pronunciado com o aumento da umidade até o ponto em que a umidade pode agir como lubrificante, interferindo na degradação dos componentes da mistura, sendo assim um efeito significativo sobre a viscosidade final dos produtos extrudados.

Carvalho, et al. (2010) confirmaram que o fenômeno de retrogradação confere na maioria dos casos um aumento da viscosidade final. Além disso, encontraram que este aumento foi verificado em todas as amostras analisadas, com maior valor para a formulação adicionada de 25% de pupunha (1139 cP), diferentemente do encontrado no presente trabalho.

Relataram ainda que a interferência de materiais de massa molecular superior ao das cadeias de amilose e amilopectina, leva a alterações nas propriedades funcionais do amido puro, como na capacidade de absorção de água e retrogradação.

4.4.2.6 *Setback*

Setback, ou tendência à retrogradação, é a diferença entre a viscosidade máxima de resfriamento e a viscosidade mínima de resfriamento após o pico. Esta propriedade permite avaliar o comportamento do amido durante a fase de resfriamento (TEBA, 2009).

Segundo Duarte, Carvalho e Ascheri (2009) esta propriedade de pasta é a indicação da reassociação entre as moléculas de amido, indicado pelo aumento na viscosidade durante o resfriamento, que está relacionado a retrogradação do amido e a reordenação de suas moléculas.

As formulações adicionadas de pupunha obtiveram baixos valores de *setback*, que variaram de 7,5 a 12 cP, onde o maior valor encontrado foi nas amostras T3 e T5, que continham 25% de pupunha amarela e vermelha, respectivamente. Isso se deve ao fato dos valores encontrados de viscosidade, após o pico serem muito próximos. Entretanto, o T1 apresentou maior valor de tendência a retrogradação com 111,5 cP.

Segundo Borba (2005), Menegassi et al. (2007) e Souza e Leonel (2010), em tratamentos mais severos, onde os valores de *setback* são menores, ocorre maior degradação dos polímeros, com rompimento das estruturas moleculares e redução da capacidade de recristalização dos mesmos, o que pode ser observado no presente estudo.

Muitos autores observaram menores valores de tendência a retrogradação quando se reduziu a porcentagem de adição das farinhas testadas, as quais eram ricas em material não amiláceo, diferentemente do observado no presente estudo, onde os maiores valores foram quando houve maior incremento de farinha de pupunha (DUARTE; CARVALHO; ASCHERI, 2009; NASCIMENTO et al., 2012; TEBA, 2009).

4.4.2.7 Perfil de viscosidade de pasta

As curvas de viscosidade de pasta estão apresentadas na Figura 36.

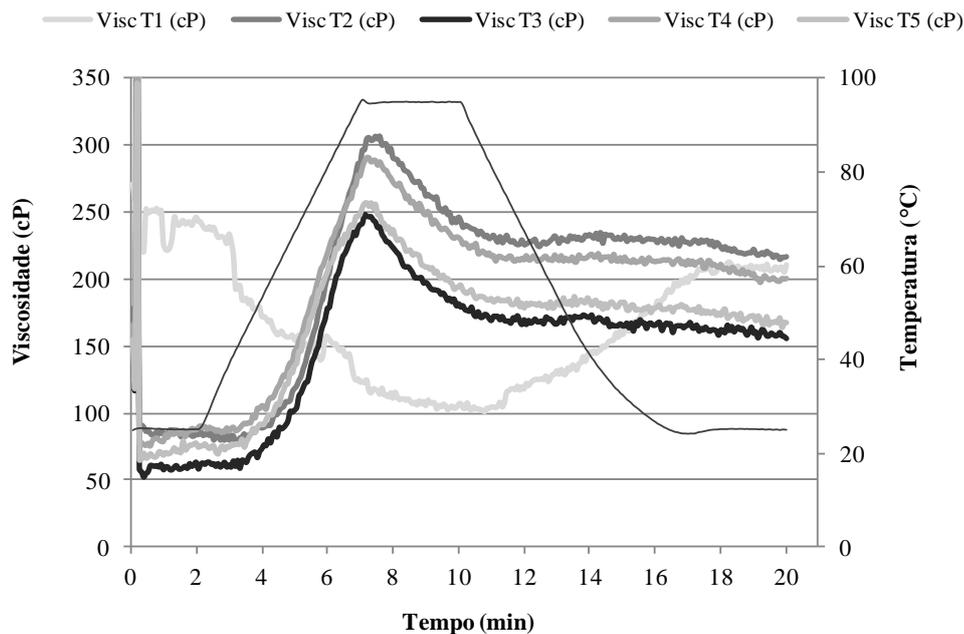


Figura 36 Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos tratamentos 1 (100% milho); 2 (15% pupunha amarela); 3 (25% pupunha amarela); 4 (15% pupunha vermelha); 5 (25% pupunha vermelha)

A propriedade de viscosidade de pasta de extrusados é importante, principalmente, quando a farinha processada é utilizada em diferentes aplicações. As modificações de viscosidade dos extrusados têm sido demonstradas em diversos estudos e são afetadas não só pelas condições de operação do processo de extrusão, mas principalmente pelo material empregado e sua composição química, como já discutido anteriormente.

Pode-se notar que as farinhas extrudadas a base de pupunha T2 e T4, assim como a T3 e T5, apresentaram perfis de viscosidade similares entre si, entretanto, a farinha referente ao tratamento 1, que possui em sua composição apenas farinha de milho e, portanto, maior material amiláceo foi a que apresentou diferença de perfil, com maior viscosidade a frio, diferentemente das outras formulações com maior viscosidade a quente, isso devido principalmente há diferença entre a composição química destas amostras, e a relação da degradação dos grânulos de amido, nas mesmas condições de processo.

Como mostra a Figura 36, a viscosidade inicial permaneceu constante, para as formulações adicionadas de pupunha, até aproximadamente os primeiros cinco minutos iniciais da análise. Após isso, ocorreu um incremento nos valores da viscosidade, devido ao intumescimento dos grânulos de amido causado pelo aumento da temperatura até o pico máximo de viscosidade a 95 °C. O aumento da viscosidade com o aumento da temperatura sugere que parte dos amidos ainda se encontrava com alguma integridade estrutural após o processamento.

A partir da viscosidade máxima a 95 °C ocorreu queda do perfil de viscosidade, possivelmente causado pelo rompimento de todos os grânulos outrora intumescidos e, por volta dos onze minutos e meio, a viscosidade torna-se constante novamente, até o final da análise, quando ocorre a viscosidade de retrogradação como resultante do realinhamento ou reaproximação das moléculas de amilose dispersas no meio.

5 CONCLUSÃO

O comportamento do fruto de pupunha diante da secagem nas diferentes temperaturas estudadas indicou que as temperaturas de 40° e 50 °C foram as melhores em termos de preservação e máxima retenção de carotenoides totais, e as diferenças apresentadas entre a polpa vermelha e as temperaturas de secagem de 40° e 50°C, ainda assim, permitiram um alimento rico em carotenoides.

O β -caroteno foi o maior composto identificado entre ambas as variedades e significativamente superior no fruto de pupunha vermelho. Todos os compostos identificados foram encontrados tanto na matriz alimentar quanto após a secagem, sugerindo que o tratamento térmico não modificou a geometria do β -caroteno. Após a desidratação não houve perda nas frações de carotenoides identificadas, com exceção da β -criptoxantina para a farinha de pupunha vermelha. Ao contrário houve aumentos em torno de 2 a 6 vezes mais nos carotenoides analisados após processamento.

As farinhas de pupunha amarela e vermelha são compostas principalmente por carboidratos (79,97 e 78,59 g/100 g de produto, respectivamente), tendo assim características amiláceas, próprias ao processamento por extrusão, e óleo (13,46 e 15,4 g/100 g de produto, respectivamente), onde 58% deste é composto por ácido graxo monoinsaturado. Quanto a composição das formulações estudadas, a diferença entre a porcentagem adicionada teve maior efeito sobre o teor de nutrientes, do que o tipo de pupunha empregada, tanto nas misturas antes e após a extrusão.

Os tratamentos antes e após a extrusão não apresentaram diferenças significativas quanto ao teor de carotenoides totais, nem quanto as frações dos compostos identificados. No entanto, as frações luteína, zeaxantina e β -criptoxantina obtiveram maiores valores após processo de extrusão. O tratamento adicionada de 25% de pupunha vermelha apresentou maior teor total de carotenoides após extrusão com 2958,45 mg/ 100 g, porém o tratamento com 15% de pupunha vermelha mostrou maior retenção de β -caroteno. Isso indica que o processamento por extrusão não afeta negativamente a quantidade e qualidade dos carotenoides.

No processo de extrusão do milho, a adição da farinha de pupunha ocasionou uma redução das propriedades tecnológicas dos produtos finais, particularmente a expansão radial. Os extrudados de milho adicionados de 15% de farinha de pupunha vermelha foram aqueles com menor redução da expansão radial, dos extrudados de milho.

É possível então elaborar farinhas mistas pré-cozidas por extrusão de milho e pupunha com elevado teor de carotenoide, principalmente β -caroteno, precursor de vitamina A com maior atividade, o que é importante não só por suprir carência nutricionais como ajudar na redução dos riscos de doenças crônico-degenerativas e cardiovasculares, ligadas ao stress oxidativo.

As farinhas extrudadas de milho e pupunha apresentaram características tecnológicas, tais como viscosidade a quente e índice de absorção de água, bem como alto teor de lipídios, sendo indicadas para uso na elaboração de sopas cremosas e mingaus.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. V.; YARA, R.; ALMEIDA, M. Fungos endofíticos isolados de ápices caulinares de pupunheira cultivada *in vivo* e *in vitro*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 467-470, 2005.

ALTAN, A.; McCARTHY, K. L.; MASKAN, M. Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 2, p. 231-242, 2008.

ALVES, R. M. L.; GROSSMANN, M. V. E. Parâmetros de extrudado para produção de *snacks* de farinha de cará (*Dioscorea alata*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 32-38, 2002.

ALVIM, I. D.; SGARBIERI, V. C.; CHANG, Y. K. Desenvolvimento de farinhas mistas extrusadas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 170-176, 2002.

AMAN, R.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Effects of heating and illumination on trans-cis isomerization and degradation of β -carotene and lutein in isolated spinach chloroplasts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 24, p. 9512-9518, 2005.

AMAYA, D.; KIMURA, M. Harvestplus Handbook for Carotenoid Analysis. 2001.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, L. Gelatinization of Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. **Cereal Science Today**, St. Paul, v. 14, n. 1, p. 4-12, 1969.

ANDRADE, J. S.; PANTOJA, L.; MAEDA, R. N. Melhoria do rendimento e do processo de obtenção da bebida alcoólica de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, supl., p. 34-38, 2003.

(AOAC) ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16^a ed. Arlington: Washington, 2005.

(AOAC) ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of the analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 18^a ed. Rev. 3. Gaithersburg: Maryland, 2010.

ASCHERI, D. P. R.; ANDRADE, C. T.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Efeito da extrusão sobre a adsorção de água de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e bagaço de jabuticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 325-335, 2006.

ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jabuticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 897-905, 2006.

ASCHERI, J. L. R. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal**. Embrapa Agroindústria de Alimentos, Agosto, 2008, 88p.

ASCHERI, J. L. R. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal**. Embrapa Agroindústria de Alimentos, Novembro, 2011, 107p.

BARRET, A. M.; PELEG, M. Cell size distributions of puffed extrudates. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 1, p. 146-154, 1992.

BECHOFF, A.; DUFOUR, D.; DHUIQUE-MAYER, C.; MAROUZÉ, C.; REYNES, M.; WESTBY, A. Effect of hot air, solar and sun drying treatments on provitamin A retention in orange-fleshed sweetpotato. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 2, p. 164-171, 2009.

BECKER, A.; HILL, S.E.; MITCHELL, J.R. Milling – a further parameter affecting the rapid visco analyzer (rva) profile. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, n. 78, p. 199-172, 2001.

BHATNAGAR, S.; HANNA, M.A. Amylose lipid complex-formation during single-screw extrusion of various corn starches. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 6, p. 582-587, 1994.

BLAAK, G. Pejibaye: review article. **Abstract of Tropical Agriculture**, n. 2, v. 9, p. 9-17, 1976.

BORBA, A. M. **Efeito de alguns parâmetros operacionais nas características físicas, físico-químicas e funcionais de extrusados da farinha de batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 2005. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2005.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 835-843, 2005.

BOUVIER, J. M., BONNEVILLE, R., GOULLIEUX, A. **Instrumental methods for the measurement of extrudate crispness**. *Agro-Food Industry Hi-Technology*, p.16-19. 1997.

BOX, G.E.P.; DRAPER, N.R. **Empirical model-building with response surface**. A book published, 1967.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Portaria nº 398, de 30 de abril de 1999. Regulamento Técnico que Estabelece as Diretrizes Básicas para Análise e Comprovação de Propriedades Funcionais e ou de Saúde Alegadas em Rotulagem de Alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 maio. 1999. Disponível em:
<http://elegis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=11297&mode=PRINT_%20VERSION>. Acesso em: 13 jun. 2011. 1999.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2005.

BUB, A.; WATZL, B.; ABRAHAMSE, L. DELINCÉE, H.; ADAM, S.; WEVER, J.; MULLER, H.; RECHKEMMER, G. Moderate intervention with carotenóide-rich vegetable products reduces lipid peroxidation in men. **Journal of Nutrition**, v. 130, n. 9, p. 2200-2206, 2000.

BUENO, R. O. G. **Características de qualidade de biscoitos e barras de cereais ricos em fibra alimentar a partir de farinha de semente e polpa de nêspira**. 2005. 103f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2005.

CAIRNS, P.; MORRIS, V. J.; SINGH, N.; SMITH, A. C. X-ray diffraction studies on extruded maize *grits*. **Journal of Cereal Science**, v. 26, n. 2, p. 223-227, 1997.

CALLEGARO, M. G. K.; DUTRA, C. B.; HUBER, L. S.; BECKER, L. V.; ROSA, C. S.; KUBOTA, E. H.; HECKTHEUR, L. H. Determinação da fibra alimentar insolúvel, solúvel e total de produtos derivados do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 271-274, 2005.

CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Produção de biscoitos extrudados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 29, n. 1, p. 35-57, 1990.

CANTRELL, A.; MCGARVEY, D. J.; TRUSCOTT, G.; RANCAN, F.; BOHM, F.. Singlet oxygen quenching by dietary carotenoids in a model membrane environment. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 412, n. 1, p.47-54, 2003.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1196-1205, 2010.

CARREIRO, A.; GODOY, A.; LIMA, A. C.; TAVARES, C.; LOPES, D.; MAGALHÃES, V. A. **Alimentos extrudados**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008. 14p.

CARVALHO, A. V.; VASCONCELOS, M. A. M.; MOREIRA, D. K. T. **Obtenção e aproveitamento da farinha de pupunha**. Belém: Embrapa -Comunicado Técnico, 2005. 5p.

CARVALHO, A. V.; VASCONCELOS, M. A. M.; SILVA, P. A.; ASCHERI, J. L. R. Produção de *snacks* de terceira geração por extrusão de misturas de farinhas de pupunha e mandioca. **Brazilian Journal of Food and Technology**, São Paulo, v. 12, n. 4, p.277-284, 2009.

CARVALHO, A. V.; VASCONCELOS, M. A. M.; SILVA, P. A.; ASSIS, G. T.; ASCHERI, J. L. R. Caracterização tecnológica de extrudados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 995-1003, 2010.

CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ONWULATA, C. I.; PORDESIMO, L.O. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 1, p. 103-109, 2010.

CHEYNE, A.; BARNES, J.; GEDNEY, S.; WILSON, D. I. Extrusion behavior of cohesive potato starch pastes: II. Microstructure-process interactions. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 1, p. 13-24, 2005.

CHANG, Y.K.; EL-DASH, A.A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 20, n. 2, p. 129-137, 2003.

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.

COELHO, L. M.; WOSIACKI, G. Avaliação sensorial de produtos panificados com adição de farinha de bagaço de maçã. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 582-588, 2010.

COLONNA, P.; BULEON, A.; MERCIER, C. Physically modified starch. In: GALLIARD, T. **Starch: properties and potencial**. Chichester: John Wiley & Sons, 1987. cap. 4, p.79-114.

COSTA NETO, P. Q. **Isolamento e identificação de fungos endofíticos da pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) e caracterização por marcadores moleculares**. 2002. 103f. Dissertação (Mestrado em Genética e Evolução) – Universidade Federal de São Carlos. Manaus, 2002.

DA COSTA, P. F. P.; FERRAZ, M. B. M.; ROS-POLSKI, V.; QUAST, E.; QUEIROZ, F. P. C.; STEEL, C. J. *Snacks* extrudados funcionais com licopeno e proteína de soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 143-151, 2010.

DA SILVA, E. M. M. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2007.

DEGHAN-SHOAR, Z.; HARDACRE, A. K.; BRENNAN, C. S. The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. **Food Chemistry**, v. 123, n. 4, p. 1117-1122, 2010.

DEMIRAY, E.; TULEK, Y.; YILMAZ, Y. Degradation kinetics of lycopene, β -carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 172-176, 2013.

DUARTE, G.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. Effect of soybean hull, screw speed and temperature on expanded maize extrudates. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 3, p. 205-212, 2009.

DUTTA, D.; DUTTA, A.; RAYCHAUDHURI, U.; CHAKRABORTY, R. Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 4, p. 538-546, 2006.

DUTTA, D.; CHAUDHURI, U. R.; CHAKRABORTY, R. Structure, health benefits, antioxidant property and processing and storage of carotenoids. **African Journal of Biotechnology**, v. 4, n. 13, p. 1510-1520, 2005.

EMIN, M. A.; MAYER-MIEBACH, E.; SCHUCHMANN, H. P. Retention of β -carotene as a model substance for lipophilic phytochemicals during extrusion cooking. **Food Science and Technology**, v. 48, n. 2, p. 302-307, 2012.

FAN, J.T.; MITCHELL, J.R.; BLANSHARD, J.M.V. The effect of sugars on the extrusion of maize grits: the role of the glass transition in determining product density and shape. **International Journal of Food Science and Technology**, v.31, p.55-65, 1996.

FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C. High-Temperature Short-Time extrusion cooking of wheat starch and flour. Effect of protein and lipid on extrudate properties. **Cereal Chemistry**, v. 59, n. 6, p. 533-537, 1982.

FAUSTINO, J. M. F.; BARROCA, M. J.; GUINÉ, R. P. F. Study of the drying kinetics of Green Bell pepper and chemical characterization. **Food and Bioproducts Processing**, v. 85, n. 3, p. 163-170, 2007.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos**. 2ª edição. Editora: Artmed, 2006. 602p.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.

FERREIRA, S. A. N. 2005. **Pupunha, *Bactris gasipaes* Kunth** in: I. D. K. Ferraz e J. L. C. Camargo (Eds) manual de sementes da Amazônia. Fascículo 5, 12p. INPA, Manaus-AM, Brasil.

FONSECA, M. J. O.; SOARES, A. G.; JUNIOR, M. F.; ALMEIDA, D. L.; ASCHERI, J. L. R. Effect of extrusion-cooking in total carotenoids content in cream and orange flesh sweet potato cultivars. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 112-115, 2008.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). **Guidance for industry: a food labeling guide**. United States: Department of Health and Human Services. Center of Food Safety and Applied Nutrition. 2008.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9ª Ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2007.

FREITAS, T. S.; LEONEL, M. Amido resistente em fécula de mandioca extrusada sob diferentes condições operacionais. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 2, p. 183-190, 2008.

FREITAS, D. G. C.; MORETTI, R. H. Desenvolvimento e estudo da estabilidade de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 56, n. 3, p. 269-274, 2006.

FURLAN, A. C. et al. Valor nutritivo e desempenho de coelhos em crescimento alimentados com rações contendo milho extrusado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1157-1165, 2003.

GÓMEZ, G.; QUESADA, S.; NANNE, C. I. Efecto de factores antinutricionales em El pejibaye (*Bactris gasipaes*) sobre El metabolismo de ratas juvenes. **Agronomía Costarricense**, v. 22, n. 2, p. 191-198, 1998.

GRANER, E. M. **Avaliações morfofisiológicas do desenvolvimento de microplantas de pupunheiras submetidas a tratamentos com biorreguladores**. 2009. 242f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2009.

GRIZOTTO, R. K.; AGUIRRE, J. M.; MENEZES, H. C. Frutas estruturadas de umidade intermediária obtidas de polpas concentradas de abacaxi, manga e mamão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 691-697, 2005.

GUINÉ, R. P. F.; PINHO, S.; BARROCA, M. J. Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita máxima*). **Food and Bioproducts Processing**, v. 89, n. 4, p. 422-428, 2011.

HARABULUT, I.; TOPCU, A.; DURAN, A.; TURAN, S.; OZTURK, B. Effect of hot air drying and sun drying on color values and β -carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.) **Food Science and Technology**, 40, n. 5, p. 753-758, 2007.

HARPER, J. M. Extrusion of foods. Volume I. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Florida, United States, 1981.

HIDALGO, A.; BRANDOLINI, A.; POMPEI, C. Carotenoids evolution during pasta, bread and water biscuit preparation from wheat flours. **Food Chemistry**, v. 121, p. 746-751, 2010.

HIRANVARACHAT, B.; SUVARNAKUTA, P.; DEVAHASTIN, S. Isomerisation kinetics and antioxidant activities of β -carotene in carrots undergoing different drying techniques and conditions. **Food Chemistry**, v. 107, n. 4, p. 1538-1546, 2008.

IGUAL, M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MARTÍN-ESPARZA, M. E.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. **Food Research International**, v. 47, n. 2, p. 284-290, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009. **Aquisição alimentar domiciliar per capita, Brasil e grandes regiões**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009_aquisicao/pof20082009_aquisicao.pdf> Acesso em: 02 de março 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Análise da conjuntura agropecuária, safra 2011/2012, milho**. Rio de Janeiro. 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/milho_2011_12.pdf> Acesso em: 07 de dezembro 2012.

IVANKOVICH-GUILLÉN, C. I.; DEL VALLE, W. F.; ARAYA-QUESADA, Y. Percepción sobre El pejibaye y La aceptación de um *snack* funcional a base de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) por consumidores costarricenses. **Ciências Econômicas**, San José, v. 28, n. 2, p. 139-149, 2010.

JANE, J. L.; SHEN, L.; AGUILAR, F. Characterization of Pejibaye Starch. **Cereal Chemistry**, v. 69, n. 1, p. 96-100, 1992.

JATUNOV, S.; QUESADA, S.; DÍAZ, C.; MURILLO, E. Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarpo f six varieties of *Bactris gasipaes*. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 60, n. 1, p. 99-104, 2010.

KARKLE, E. L.; ALAVI, S.; DOGAN, H. Cellular architecture and its relationship with mechanical properties in expanded extrudates containing apple pomace. **Food Research International**, v. 46, n. 1, p. 10-21, 2012.

KEAN, E. G.; HAMAKER, B. R.; FERRUZZI, M. G. Carotenoid bioaccessibility from whole grain and degermed maize meal products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 21, p. 9918-9926, 2008.

KERR, L.S.; CLEMENT, R. N. S.; CLEMENT, C. R.; KERR, W. E. **Cozinhando com a pupunha**. Manaus: INPA, 1997. 95p.

KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 4, p. 391-403, 2003.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 579-588, 2007.

LEONEL, M.; FREITAS, T. S.; MISCHAN, M. M. Physical characteristics of extruded cassava starch. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 4, p. 486-493, 2009.

LEONEL, M.; MARTINS, J. C.; MISCHAN, M. M. Produção de *snacks* funcionais a base de farinha de soja e polvilho azedo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1418-1423, 2010.

LEONEL, M.; SOUZA, L. B.; MISCHAN, M. M. Produção de *snacks* extrudados à base de polvilho doce e fibra de laranja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1411-1417, 2010.

LESSIN, W. J.; CATIGANI, G. L.; SCHWARTZ, S. J. Quantification of *cis-trans* isomers of provitamin A carotenoids in fresh and processed fruits and vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 10, p. 3728-3732, 1997.

LETERME, P.; GARCÍA, M. F.; LONDOÑO, A. M.; ROJAS, M. G.; BULDGEN, A.; SOUFFRANT, W. B. Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) in rats. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, n. 9, p. 1505-1512, 2005.

LEWICKI, P. P. Design of hot air drying for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 4, p. 153-163, 2006.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M. Desenvolvimento de misturas instantâneas de mandioca e caseína: efeito do teor de proteína e parâmetros de extrusão sobre a viscosidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 693-699, 2010.

MACFIE, H. J.; BRATCHELL, N.; GREENHOFF, K.; VALLIS, L.V. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, Connecticut, v. 4, n. 2, p. 129-148, 1989.

MACRAE, R. **Food Science and technology – A series of monographs: HPLC in food analysis**. Editora Academic Press, 2ª edição. 1998. p. 77.

MAFACIOLI, R.; SANTOS, A. F.; TESSMANN, D. J.; VIDA, J. B. Etiologia e manejo das doenças da pupunheira no Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 58, p. 61-68, 2009.

MAIHARA, V. A.; SILVA, M. G.; BALDINI, V. L. S.; MIGUEL, A. M. R.; FÁVARO, D. I. T. Avaliação nutricional de dietas de trabalhadores em relação a proteínas, lipídeos, carboidratos, fibras alimentares e vitaminas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 672-677, 2006.

MARTEL, J. H. I. **Caracterização de germoplasma de pupunha (*Bacrtis gasipaes* Kunth) por descritores morfológicos**. 2002. 107f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2002.

MARX, M.; STUPARIC, M.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Effects of thermal processing on *trans-cis*-isomerization of β -carotene in carrot juices and carotene-containing preparations. **Food Chemistry**, v. 83, n. 4, p. 609-617, 2003.

McMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Principles, methods and applications of the convective drying of foodstuffs. **Food and Bioproducts Processing**, v. 77, n. 3, p. 175-193, 1999.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandiquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciências Agrotecnológicas**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1780-1792, 2007.

MONGE-ROJAS, R.; CAMPOS, H. Tocopherol and carotenoid content of foods commonly consumed in Costa Rica. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 2, p. 202-216, 2011.

MORAES, F. P.; COLLA, L. M. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v. 3, n. 2, p. 109-122, 2006.

MORARU, C. I.; KOKINI, J. L. Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 2, n. 4, p. 147-165, 2003.

MORO, J. R. A cultura da pupunha para produção de palmito. In: ENCONTRO PARANAENSE SOBRE PALMITOS CULTIVADOS: O AGRONEGÓCIO PUPUNHA E PALMEIRA REAL, 1, 2004, Pontal do Paraná. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, 2004. p. 11-30.

MOTA, C. L.; LUCIANO, C.; DIAS, A.; BARROCA, M. J.; GUINÉ, R. P. F. Convective drying of onion: Kinetics and nutritional evaluation. **Food and Bioproducts Processing**, v. 88, n. 2-3, p. 115-123, 2010.

MOURA, L. S. M. **Caracterização físico-química e reológica de farinhas mistas instantâneas de arroz, milho e feijão por extrusão termoplástica**. 2012. 123f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2012.

MURATORE, G.; RIZZO, V.; LICCIARDELLO, F.; MACCARONE, E. Partial dehydration of cherry tomato at different temperature and nutritional quality of the products. **Food Chemistry**, v. 111, n. 4, p. 887-891, 2008.

MWITHIGA, G.; OLWAL, J. O. The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 71, n. 4, p. 373-378, 2005.

NACHTIGALL, A. M. **Extração, saponificação e atividade antioxidante de luteína obtida de flores de *Tagetes pástula* L. e *Calendula officinalis* L.** 2007. 115f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2007.

NASCIMENTO, E. M. G. C. **Elaboração de produtos de milho enriquecidos com grãos e torta semi-desengordurada de gergelim por extrusão termoplástica**. 2010. 139f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2010.

NASCIMENTO, E. M. G. C.; CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; FREITAS, D. G. C.; ASCHERI, J. L. R. Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expanded extrudates. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 434-443, 2012.

NAYAK, B.; BERRIOS, J. J.; POWERS, J. R.; TANG, J. Effect of extrusion on the antioxidant capacity and color attributes of expanded extrudates prepared from purple potato and yellow pea flour mixes. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 6, p. 874-883, 2011.

NAWIRSKA, A.; FIGIEL, A.; KUCHARSKA, A. Z.; SOKÓL-LETOWSKA, A.; BIESIADA, A. Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 1, p. 14-20, 2009.
O`SULLIVAN, L.; GALVIN, K.; AHERNE, S. A.; O`BRIEN, N. M. Effects of cooking on the profile and micellarization of 9-*cis*-, 13-*cis*- and all-*trans*- β -carotene in green vegetables. **Food Research International**, v. 43, n. 4, p. 1130-1135, 2010.

OLIVEIRA, A. M. M. M.; MARINHO, H. A. Desenvolvimento de panetone à base de farinha de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n.4, p. 595-605, 2010.

OLIVEIRA, G. D. **Obtenção de produtos extrudados expandidos e não-expandidos de casca de soja e milho**. 2007. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2007.

OLIVEIRA, M. K. S.; MARTINEZ-FLORES, H. E.; ANDRADE, J. S.; GARNICA-ROMO, M. G.; CHANG, Y. K. Use of pejibaye flour (*Bactris gasipaes* Kunth) in the production of food pastas. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 41, n. 8, p.933-937, 2006.

PACHECO, S. **Preparo de padrões analíticos, estudo de estabilidade e parâmetros de validação para ensaio de carotenóides por cromatografia líquida**. 2009. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2009.

PAES, M. C. D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Embrapa Milho e Sorgo. 2006. 6 p. Sete Lagoas, MG (Circular Técnica, 75).

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/concproceqsec_07.pdf>. Acesso em: 07 dezembro de 2012. 2007. 127p.

PAULA, N. R. F.; VILAS BOAS, E. V. B.; RODRIGUES, L. J.; CARVALHO, R. A.; PICCOLI, R. H. Qualidade de produtos minimamente processados e comercializados em gôndolas de supermercados nas cidades de Lavra – MG, Brasília – DF e São Paulo – SP. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 219-227, 2009.

PEREIRA, M. V. L.; BOAVENTURA, G. T.; ASCHERI, J. L. R.; CORREIA, B. F.; OLIVEIRA, P. C. Avaliação biológica da farinha de milho QPM obtida por extrusão. **Revista do Centro de Ciências Médicas**, UFF, v. 2, n. 2, 1998.

PEREZ, R.; RAMOS, A. M.; BINOTI, M. L.; SOUZA, P. H. M.; MACHADO, G. M.; CRUZ, I. B. Perfil dos consumidores de hortaliças minimamente processadas de Belo Horizonte. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 4, p. 441-446, 2008.

PIZZINATTO, M. A.; BOVI, M. L. A.; FEICHTENBERG, E.; SPIERING, S. H. Ocorrência da podridão do estipe em pupunheira, causada por *Phytophthora palmivora*, no estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 22, n. 4, p. 371-373, 2002.

PRADO, S. P. T.; RIBEIRO, E. G. A.; CAPUANO, D. M.; AQUINO, A. L.; ROCHA, G. M.; BARGAMINI, A. M. M. Avaliação microbiológica, parasitológica e da rotulagem de hortaliças minimamente processadas comercializadas no município de Ribeirão Preto, SP/Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impr.)**, São Paulo, v. 67, n. 3, p. 221-227, 2008.

QIU, D.; CHEN, Z. R.; LI, H. R. Effect of heating on solid β -carotene. **Food Chemistry**, v. 112, n. 2, p. 344-349, 2009.

QUESADA, S.; AZOFEIFA, G.; JATUNOV, S.; JIMÉNEZ, G.; NAVARRO, L.; GÓMEZ, G. Carotenoids composition, antioxidant activity and glycemic index of two varieties of *Bactris gasipaes*. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 23, n. 6, p. 482-489, 2011.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; GODOY, H. T.; AMAYA-FARFAN, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, n. 6, p. 445-463, 2008.

ROJAS-GARBANZO, C.; PÉREZ, A. M.; BUSTOS-CARMONA, J.; VAILLANT, F. Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* H. B. K.) flour. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2377-2384, 2011.

ROSSO, V. V.; MERCADANTE, A. Z. Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 5062-5072, 2007.

SACCHETTI, G.; PINNAVAIA, G. G.; GUIDOLIN, E.; ROSA, M. D. Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and Rice flour-based snack-like products. **Food Research International**, v. 37, n. 5, p. 527-534, 2004.

SANTOS, A. F.; CORRÊA JÚNIOR, C.; NEVES, E. J. M. **Palmeiras para produção de palmito juçara, pupunheira e palmeira real**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 188p.
SANTOS, A. F.; TESSMANN, D. J.; MAFACIOLI, R.; VIDA, J. B. **Etiologia e controle da antracnose da pupunheira para palmito**. Embrapa Florestas. 2007. 37p. Colombo, PR. (Embrapa Florestas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 32).

SCOTT, C. E.; ELDRIDGE, A. L. Comparison of carotenóide content in fresh, frozen and canned corn. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 6, p. 551-559, 2005.

SHIH, M. C.; KUO, C. C.; CHIANG, W. Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. **Food Chemistry**, v. 117, n. 1, p. 114-121, 2009.

SILVA, E. M. M. **Produção de Macarrão Pré-Cozido à Base de Farinha Mista de Arroz Integral e Milho para Celíacos Utilizando o Processo de Extrusão**. 2007. 118p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica. 2007.

SILVA JÚNIOR, J. P. **Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares associadas à pupunha e ao cupuaçu cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central**. 2004. 113f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

SILVA, M. G. C. P. C. Cultivo da pupunheira. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/CULTIVODAPUPUNHEIRA.pdf>>. Acesso em: 23 de junho 2011.

SOUZA, L. B.; LEONEL, M. Efeito da concentração de fibra e parâmetros operacionais de extrusão sobre as propriedades de pasta de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 686-692, 2010.

SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Otimização do processo de extrusão termoplástica da mistura de castanha do Brasil com farinha de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 659-667, 2008.

STRINGHETA, P. C.; OLIVEIRA, T. T.; GOMES, R. G.; AMARAL, M. P. H.; CARVALHO, A. F.; VILELA, M. A. P. Políticas de saúde e alegações de propriedades funcionais e de saúde para alimentos no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 43, n. 2, p. 181-194, 2007.

STANLEY, D. W. Chemical and structural determinants of texture of fabricated foods. **Food Technology**, v. 40, n. 3, p. 65-68, 1986.

SHUEY, W.C.; TIPPLES, K.H. **The amylograph handbook**. Saint. Paul: AACC, 1980. 37p.

TEBA, C. S. **Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica**. 2009.

177f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2009.

THOMAZINI, M. J. Ocorrência de *Herminodes sp.* (Lepidoptera: Noctuidae) em pupunheira nos estados do Acre e Rondônia, Brasil. **Acta Amazônica**, Amazônia, v. 34, n. 3, p. 505-506, 2004.

TOMITA, C. K. **Manejo em sistemas orgânico e convencional: epidemiologia e controle de doenças em cultura de goiaba, gipsofila e pupunha**. 2009. 182f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

TONET, R. M.; FERREIRA, L. G. S.; OTOBONI, J. L. M. **A cultura da pupunha**. Campinas: CATI, 1999. 44p.

TOPUZ, A.; DINCER, C.; OZDEMIR, K. S.; FENG, H.; KUSHAD, M. Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv., Jalapeno). **Food Chemistry**, v. 129, n. 1, p. 860-865, 2011.

TRACY, M. Utilización de harina de pejibaye (*Bactris gasipaes* H. B. K.) em la elaboración de pan. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 37, n. 1, p. 122-131, 1987.

VASCONCELOS, S. M. L.; GOULART, M. O. F.; MOURA, J. B. F.; BENFATO, V. M. M. S.; KUBOTA, L. T. Espécies reativas de oxigênio e de nitrogênio, antioxidantes e marcadores de dano oxidativo em sangue humano: principais métodos analíticos para sua determinação. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1323-1338, 2007.

VÁSQUEZ-CAICEDO, A. L.; SCHILLING, S.; CARLE, R.; NEIDHART, S. Effects of thermal processing and fruit matrix on β -carotene stability and enzyme inactivation during transformation of mangoes into purée and nectar. **Food Chemistry**, v. 102, n. 4, p. 1172-1186, 2007.

VEGA-GÁLVEZ, A.; AH-HEN, K.; CHACANA, M.; VERGARA, J.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; LEMUS-MONDACA, R.; SCALA, K. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. *Granny Smith*) slices. **Food Chemistry**, v. 132, n. 1, p. 51-59, 2012.

VIDA, J. B.; TESSMANN, D. J.; MAFACIOLI, R.; VERZIGNASSI, J. R.; SANTOS, A. F. *Colletotrichum gloeosporioides* causando antracnose em frutos de pupunheira nos estados de Minas Gerais e Paraná. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 32, n. 4, p. 379-380, 2006.

WANG, J.; JING, Z.; YUAN, X.. Preparation of resistant starch from starch-guar gum extrudates and their properties. **Food Chemistry**, v. 101 , n. 1 , p. 20-25, 2007.

WANG, S. H; NASCIMENTO, T. P.; BATISTA, G. B.; MENESES, S. P.; ASCHERI, J. L. R. *Pellets* de trigo e soja produzidos por extrusão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 629-634, 2008.

WEBB, P. A., ORR, C., 1997. **Analytical Methods in Fine Particle Technology**. Micromeritics Instrument Corporation, USA, 301 p.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 748-753, 2009.

WONDRACEK, D. C.; VIEIRA, R. F.; SILVA, D. B.; AGOSTINI-COSTA, T. S.; SANO, S. M.; FALEIRO, F. G. Influência da saponificação na determinação de carotenoides em maracujás do cerrado. **Química Nova**, v. 35, n. 1, p. 180-184, 2012.

WU, Y.; CHEN, Z.; LI, X.; WANG, Z. Retrogradation properties of high amylose rice flour and rice starch by physical modification. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 3, p. 492-497, 2010.

YUYAMA, L. K. O.; AGUIAR, J. P.; YUYAMA, K.; CLEMENT, C. R.; MACEDO, S. H.; FÁVARO, D. I.; AFONSO, C.; VASCONCELLOS, M. B.; PIMENTEL, S. A.; BADOLATO, E. S.; VANNUCHI, H. Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in Central Amazonia, Brazil. **International Journal of Food Science and Nutrition**, Inglaterra, v. 54, n. 1, p. 49-56, 2003.

YUYAMA, L. K. O.; FAVARO, R. M. D.; YUYAMA, K.; VANNUCCHI, H. Bioavailability of vitamin A from peach palm (*Bactris gasipaes* H. B. K.) and from mango (*Mangifera indica* L.) in rats. **Nutrition Research**, v. 11, n. 10, p. 1167-1175, 1991.

YUYAMA, L. K.O; COZZOLINO, S. M. F. Efeito da suplementação com pupunha como fonte de vitamina A: estudo com ratos. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 30, n. 1, 1996.

ZEB, A. Oxidation and formation of oxidation products of β -carotene at boiling temperature. **Chemistry and Physics of Lipids**, v. 165, n. 3, p. 277-281, 2012.

ZUMBADO, M. E.; MURILLO, M. G. Influence of pejibaye palm (*Bactris gasipaes* H B K) fruit meal processed by different heat treatments on boiler performance. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 44, p. 9-14, 1988.