

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PRODUÇÃO, DIGESTIBILIDADE E AMIDO RESISTENTE EM
BISCOITOS EXTRUSADOS A PARTIR DE FARINHA E FÉCULA DE
BATATA DOCE E MANDIOCA**

MARIANA SCHMIDT RESCHSTEINER

BOTUCATU-SP
Setembro - 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PRODUÇÃO, DIGESTIBILIDADE E AMIDO RESISTENTE EM
BISCOITOS EXTRUSADOS A PARTIR DE FARINHA E FÉCULA DE
BATATA DOCE E MANDIOCA**

MARIANA SCHMIDT RESCHSTEINER

Orientador: **Prof. Dr. Cláudio Cabello**

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

BOTUCATU-SP
Setembro - 2005

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

R297p Rechsteiner, Mariana Schmidt, 1973-
 Produção, digestibilidade e amido resistente em biscoi-
tos extrusados a partir de farinha e fécula de batata doce
e mandioca / Mariana Schmidt Rechsteiner. - Botucatu,
[s.n.], 2005.
 xi, 92 f. : il. color., gráfs., tabs.

 Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulis-
ta, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2005
 Orientador: Cláudio Cabello
 Inclui bibliografia

1. Processo de extrusão. 2. Amido resistente. 3. Digestão.
4. Amido. 5. Farinhas. 6. Fécula. I. Cabello, Cláudio.
III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Fi-
lho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômi-
cas. IV. Título.

Dedico este trabalho à minha mãe,
Com muita saudade.

Dedico também à minha filha Mayra,
Razão principal da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Cláudio Cabello pela orientação;

À Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Campus de Botucatu, e em especial ao curso de Pós-Graduação em Energia na Agricultura pela oportunidade;

À toda equipe do Centro de Raízes e Amidos Tropicais – CERAT pelo auxílio e paciência;

À “Tia” Raquel Volpato Serbino pelo grande incentivo;

Ao meu pai Schmidt e aos meus irmãos Neto e Max pelo apoio;

À Cida por cuidar da Mayra na minha ausência;

E a todas as pessoas que, de alguma forma, colaboraram com esse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
RESUMO	01
SUMMARY	03
1 INTRODUÇÃO	05
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	08
2.1 Matéria-prima	08
2.1.1 Mandioca (Manihot esculenta)	09
2.1.2 Batata doce (Ipomoea batata)	10
2.2 Amido	11
2.3 Digestibilidade do Amido	13
2.3.1 Amido Resistente (AR)	16
2.3.2 Índice Glicêmico (IG)	18
2.4 Fatores que influenciam a formação de Amido Resistente	19
2.5 Processo de Extrusão	23
2.5.1 Biscoitos expandidos (“Snacks”)	25
2.5.2 Extrusão de amidos	28
2.5.3 Efeito das variáveis do processo de extrusão nas propriedades funcionais do amido	33
2.5.3.1 Temperatura no extrusor	34
2.5.3.2 Umidade da matéria-prima	34
2.5.3.3 Rotação da rosca	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 Matérias-prima vegetais	37
3.2 Caracterização das matérias-primas	38
3.3 Planejamento Experimental	38
3.3.1 Preparo das misturas para o ensaio	38
3.3.2 Ensaios Planejados	39

3.4 Processo de extrusão	40
3.6 Análises no material extrudado	41
3.6.1 Caracterização física	41
3.6.2 Caracterização sensorial	41
3.6.3 Concentração de amido total	42
3.6.4 Concentração de amido resistente	42
3.6.5 Digestibilidade	43
3.6.6 Análises estatísticas	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 Caracterização da Matéria-Prima	44
4.1.1 Fécula e farinha de mandioca	44
4.1.2 Fécula e farinha de batata doce	46
4.1.3 Conteúdo de Amido Total e Amido Resistente na Matéria-Prima	48
4.2 Avaliação dos Produtos Extrudados	49
4.2.1 Características físicas dos produtos extrudados	49
4.2.2 Digestibilidade dos produtos extrudados	72
5 CONCLUSÃO	80
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS	91

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Planejamento experimental	39
2 Valores médios observados em três amostras da composição centesimal da farinha e da fécula de mandioca	45
3 Granulometria da farinha e da fécula de mandioca	45
4 Valores médios observados em três amostras da composição centesimal da farinha e da fécula de batata doce.....	46
5 Granulometria da farinha e da fécula de batata doce	47
6 Conteúdo de amido total e amido resistente nas matérias-primas	48
7 Características dos produtos extrudados de mandioca	51
8 Características dos produtos extrudados de batata doce	52
9 ANOVA do Índice de Expansão dos produtos das misturas de farinha de mandioca com diferentes umidades	56
10 ANOVA do Índice de Expansão dos produtos das misturas de farinha de batata doce com diferentes umidades	56
11 ANOVA da densidade dos produtos das misturas de farinha de mandioca com diferentes umidades	60
12 ANOVA da densidade dos produtos das misturas de farinha de batata doce com diferentes umidades.....	60

13 ANOVA da solubilidade dos produtos das misturas de farinha de mandioca com diferentes umidades	63
14 ANOVA da solubilidade dos produtos das misturas de farinha de batata doce com diferentes umidades	64
15 ANOVA da textura dos produtos das misturas de farinha de mandioca com diferentes umidades.....	67
16 ANOVA da Textura dos produtos das misturas de farinha de batata doce com diferentes umidades.....	67
17 Conteúdo de amido total e amido resistente em amostras de biscoitos expandidos obtidos nos ensaios.....	72
18 Cinética da digestibilidade em amostras de biscoitos expandidos obtidos nos ensaios com as misturas de mandioca	75
19 Cinética da digestibilidade em amostras de biscoitos expandidos obtidos nos ensaios com as misturas extrudados de batata doce.....	76

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Amilose	12
2 Amilopectina	13
3 Esquema básico do processo de extrusão.	25
4 Misturador de farinhas de pás horizontais utilizados na homogeneização das misturas para os ensaios.	38
5 Extrusora utilizada nos ensaios para produção de biscoitos expandidos.....	40
6 Imagens dos biscoitos expandidos durante e logo após o processo de extrusão.....	50
7 Gráfico da superfície de resposta do índice de expansão em função da concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.	53
8 Gráfico da superfície de contorno do índice de expansão em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.	53
9 Gráfico da superfície de resposta do índice de expansão em função da concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.	54
10 Gráfico da superfície de contorno do índice de expansão em função da concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.	54
11 Gráfico da superfície de resposta da densidade em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.	57

12 Gráfico da superfície de contorno da densidade em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.	58
13 Gráfico da superfície de resposta da densidade em função da concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.	58
14 Gráfico da superfície de contorno da densidade em função concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.	59
15 Gráfico da superfície de resposta da solubilidade em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura	61
16 Gráfico da superfície de contorno da solubilidade em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.	61
17 Gráfico da superfície de resposta da solubilidade em função concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.	62
18 Gráfico da superfície de contorno da solubilidade em função concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.	62
19 Gráfico da superfície de resposta da textura em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.	64
20 Gráfico da superfície de contorno da textura em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.	65
21 Gráfico da superfície de resposta da textura em função concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.	65
22 Gráfico da superfície de contorno da textura em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.	66
23 Gráfico de barras das texturas dos biscoitos extrudados de mandioca, batata doce e amostra de produto comercial de milho.	68
24 Gráfico de barras da aceitabilidade dos biscoitos extrudados de mandioca e batata doce.....	69
25 Biscoitos expandidos de milho, mandioca e batata doce, extrudados sob as mesmas condições de processo.	70
26 Amostras de biscoitos expandidos das misturas de mandioca referentes aos ensaios 1, 2, 4 e 7.	71

27 Amostras de biscoitos expandidos das misturas de mandioca referentes aos ensaios 19, 20, 22, 23 e 25.	71
28 Gráfico da curva cinética da digestibilidade dos produtos de mandioca.....	77
29 Gráfico da curva cinética da digestibilidade dos produtos de batata doce.....	78

RESUMO

Os amidos podem ser classificados de acordo com sua digestibilidade em amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e amido resistente. Amidos resistentes são definidos como a soma de amidos e produtos da degradação de amidos não absorvida pelo intestino de indivíduos saudáveis. A relação amilose/amilopectina, resistência térmica, forma física, grau de gelatinização, resfriamento e tempo de estocagem afetam o conteúdo de amido resistente de um alimento. Uma vez que o conteúdo de amido resistente é afetado pelo processamento do alimento, dentre outros fatores, buscou-se verificar estes efeitos causados pelo processo de extrusão.

Este trabalho teve como objetivo definir os parâmetros operacionais para produzir biscoitos expandidos utilizando as matérias-primas mandioca e batata doce, verificar a concentração de amidos resistentes nos produtos extrudados e observar a cinética da digestibilidade desses produtos.

Foi realizado um planejamento experimental para ambas as fontes amiláceas, onde variáveis independentes foram as misturas de farinha a 0, 20, 40, 60, 80 e 100% em relação à fécula; e teor de umidade de 14, 15,5 e 17%. As misturas alimentaram a extrusora de rosca única em condições constantes de velocidade da rosca (120 rpm), temperaturas das zonas de aquecimento (20, 80, 120°C), alimentação, velocidade de corte (30 rpm) e diâmetro de orifício da matriz de trefilação de 3mm. Foram retiradas amostras de cada

ensaio e estocadas para as análises de expansão, textura, densidade, solubilidade, análise sensorial, teor de amido total, teor de amido resistente e para a cinética da digestibilidade.

Neste trabalho observou-se que os extrusados obtidos a partir de misturas com menor umidade e maior quantidade de farinha foram os mais aceitos nas análises sensoriais realizadas. Dentro das condições de processo utilizadas, quanto menor a umidade da mistura de farinha e fécula submetida à extrusão, maior é a expansão e menor a densidade e textura do produto extrusado. O conteúdo de amido resistente nos produtos extrusados foi inferior a 1% em todos os ensaios e o processo de extrusão reduziu a concentração de amidos resistentes em todos os tratamentos.

PRODUCTION, DIGESTIBILITY AND RESISTANT STARCH IN EXTRUDED SNACKS
FROM SWEET POTATO AND CASSAVA.

Botucatu, 2005. 92 p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências
Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARIANA SCHMIDT

Adviser: CLÁUDIO CABELLO

SUMMARY

The starches may be classified according to its digestion into rapidly digestible starch, slowly digestible starch and resistant starch. Resistant starch is defined as the sum of the starch and products of starch degradation not absorbed in the intestine of healthy individuals. We know that the amylose/amylopectin ratio, thermal resistance, physical form, degree of gelatinization, cooling and time of storage all affect the resistant starch content of foods. At a time that the resistant starch content, amongst other factors, one searched to verify these effects caused for extrusion process.

This work had as objective to define the operational parameters to produce expanded snacks using raw materials cassava and sweet potato, to verify the resistant starch concentration in the extruded products and observing the kinetics of starches digestion.

An experimental planning for both was accomplished through the amylaceous sources, where independent variables they had been flour mixtures in 0, 20, 40, 60, 80 and 100% in relation to the starch; and content of moisture of 14, 15,5 and 17%. The mixtures had fed the single-screw extruder in constant conditions of screw speed (120 rpm), heating zones temperatures (20, 80, 120°C), feeding, cut speed (30 rpm), screw diameter of 35mm and diameter of the orifice of the exit matrix of 3 mm.

Samples were then withdrawals and stored for the analyses of expansion, texture, density, solubility, sensory evaluation, total starch content, resistant starch content and for the kinetics of starches digestion. For the resistant starch content analysis was used the methodology proposal for Goni et al. (1996), where the stomach and intestine physiological conditions are approximately simulated. The total starch content and the kinetic digestion curves were determined in according to Goni et al. (1997).

In this work it was observed that the extruded obtained from mixtures with lesser moisture and greater amount of flour they were the most accepted in sensory evaluations. Inside of the used conditions of process, how much lesser the moisture of the mixture of flour and starch submitted to the extrusion, greater is the expansion and smaller is the density and texture of the extruded product. The resistant starch content in the extrudados products it was lesser 1% in all the tests and the extrusion process reduced resistant starches content in all the treatments.

1- INTRODUÇÃO

As culturas tuberosas são muito disseminadas nas regiões tropicais do globo, e utilizadas “in natura” principalmente para a alimentação humana. O processamento destas tuberosas no Brasil pode ser considerado de pequena magnitude quando comparado com outros produtos agrícolas, com exceção da mandioca que é utilizada para produção de farinhas e féculas.

No Brasil, a batata doce é uma cultura de grande interesse social, pois se adapta a amplas condições de clima, solo e topografia; podendo ser cultivada em quase todas as regiões. É consumida na forma assada ou cozida e ainda industrializada na forma de doces e sua comercialização como hortaliça exige um padrão de tamanho e não aceita manchas ou cicatrizes na casca (LEONEL, 2002). Deste modo, as raízes que não estão em conformidade com as exigências do mercado consumidor, podem ser utilizadas como matérias-primas na produção de produtos alimentícios diferenciados.

A busca da valorização destas culturas tropicais de baixa exigência em termos de tratos culturais, baixo custo de produção, aliada ao desenvolvimento de novos produtos, viabiliza o desenvolvimento de tecnologias simples para a elaboração de produtos de maior valor agregado.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de mandioca com uma produção em torno de 25 milhões de toneladas, sendo produzida e consumida em toda a sua extensão geográfica. É cultivada em todas as regiões e tem papel importante na alimentação

humana e animal, bem como matéria-prima para vários produtos industriais e na geração de emprego e de renda. As indústrias processadoras de mandioca, bem como os produtores de raízes e tubérculos tropicais têm mostrado grande interesse em trabalhos que visem a valorização dessas culturas. O processamento pós-colheita pode vir a contribuir para estabilizar estes cultivos, por permitir aumentar o tempo de vida útil, melhorar o aproveitamento da produção no campo e possibilitar maior penetração nos ambientes de consumo (supermercados) na forma de novos produtos com outros apelos de propaganda (CEREDA, 2003).

Uma opção de processamento é a extrusão, um processo contínuo no qual a matéria-prima é forçada através de um sistema de compressão, em condições de aquecimento, pressão e fricção que levam a gelatinização do amido (THAKUR & SAXENA, 2000). Durante o processo de extrusão ocorre a gelatinização, cozimento, fricção molecular, mistura, esterilização e secagem, reestruturando a matéria-prima a fim de criar novas texturas e formatos. Esse processo apresenta versatilidade, alta eficiência termodinâmica, baixo custo de operação e baixo espaço por unidade métrica de produção.

O grits de milho aparece como matéria prima de extensa utilização no processo de extrusão. Porém, o mercado de amido vem crescendo e se aperfeiçoando nos últimos anos, levando à busca de produtos com características específicas que atendam as exigências dos consumidores. A possibilidade de introduzir novas matérias-primas amiláceas como fonte de amidos com características de interesse industrial vem suscitando o interesse dos industriais da área, pois proporcionaria um crescimento diferenciado em nível mundial, visto que no Brasil existe uma grande variedade de raízes amiláceas ainda pouco exploradas. A utilização de outras fontes de amiláceos, que possuem composição molecular, propriedades e características físico-químicas diferentes do milho, poderá vir a ser uma nova opção ao conferir propriedades funcionais diferenciadas tais como cores, sabores, texturas, solubilidades, densidades, odores, etc.

Novas matérias-primas podem ser utilizadas no processo de extrusão, mas exigem o estabelecimento de protocolos diferentes de fabricação (BHATTACHARYA et al. 1999).

O interesse do consumidor em alimentos que contenham um papel na manutenção da saúde tem crescido nos últimos anos. O termo "alimentos funcionais" refere-se

a estes gêneros alimentícios, os quais podem proporcionar benefícios nutricionais, dietéticos e metabólicos específicos, e contribuir para o controle e redução do risco de doenças.

A definição do amido como um carboidrato nutricionalmente disponível é baseada na suposição de que suas macromoléculas formadoras, amilose e amilopectina, sejam facilmente hidrolisadas no trato intestinal, produzindo carboidratos de baixo peso molecular. A origem e as características dos amidos, bem como as condições de processamento a que são submetidos, são de grande importância na forma como são disponibilizados e conseqüentemente em que taxa poderão ser assimilados no organismo.

O interesse de nutricionistas e da indústria de alimentos nos amidos resistentes tem provocado pesquisas que buscam compreender suas implicações fisiológicas. Necessitam, portanto, de efetuar sua quantificação com precisão e de um método direto para sua avaliação em alimentos que seja realizado após a remoção dos amidos digeríveis. Uma vez que o conteúdo de amido resistente é afetado pelo processamento do alimento, dentre outros fatores, buscou-se verificar estes efeitos durante o processo de extrusão de biscoitos expandidos elaborados com amido de mandioca e batata doce.

O objetivo da pesquisa foi determinar os parâmetros operacionais do processo de produção de biscoitos expandidos com características adequadas ao consumo humano, utilizando farinhas e féculas de batata doce e mandioca; verificar os efeitos produzidos pelo processo nas características funcionais do amido, a concentração de amido resistente nos produtos extrusados e observar a cinética da digestibilidade desses produtos.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Matéria-prima

As culturas de tuberosas incluem um grande número de plantas com bulbos, raízes e tubérculos, que são extensamente utilizadas na culinária e, portanto, de expressão econômica e cultural em nosso país (CEREDA, 2002).

Ainda segundo Cereda (2002), as raízes e tubérculos pertencem à classe de alimentos que proporcionam, basicamente, energia na dieta humana, em forma de carboidratos. Tanto a mandioca quanto a batata doce são raízes eminentemente calóricas, sendo o amido o principal carboidrato. Raízes tuberosas imaturas contêm menor conteúdo de amido do que raízes tuberosas de plantas maduras, ao passo que raízes tuberosas de plantas que passaram do estágio de maturidade, tornam-se fibrosas e, eventualmente, esponjosas.

Destaca-se o elevado teor de umidade que caracterizam esses materiais, o que facilita o processamento, mas também a deterioração pós-colheita, o que faz a maioria dessas matérias-primas muito perecíveis.

Quando se analisa a literatura disponível sobre as tuberosas, observa-se que pouco foi feito para aumentar o leque de aplicações destas culturas. A maioria das tuberosas é consumida apenas cozida ou frita, e assim mesmo, mais como uso regional.

2.1.1- Mandioca (*Manihot esculenta*)

Originária do continente americano, provavelmente do Brasil Central, a mandioca já era amplamente cultivada pelos aborígenes, por ocasião da descoberta do Brasil. Eles foram os responsáveis pela sua disseminação por quase toda a América, e os portugueses e espanhóis, pela sua difusão por outros continentes (LORENZI, 2003)

Conceição (1987) cita que a mandioca é cultivada em todas as regiões tropicais, entre as latitudes de 30°N e 30°S, situando-se em várias delas como principal planta de subsistência e economia.

Conforme Silva et al. (1996), o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de mandioca, tendo produzido em 1995, 25,4 milhões de toneladas, numa área cultivada de 1,96 milhões de hectares.

Cereda (2002) cita que a mandioca é uma espécie de grande importância econômica, embora seu consumo de certo modo concentre-se no Nordeste, no Norte e no Centro-Oeste, ela está presente em todo o território nacional. Mandioca, aipim ou macaxeira são alguns nomes vulgares dessa euforbiácea, vegetal com uma grande variedade de exemplares.

A mandioca é um alimento básico de milhões de habitantes dos trópicos de todo o mundo. No Brasil, é cultivada em quase todas as regiões, sendo utilizada principalmente sob a forma de farinha e outros produtos industrializados. Apesar de não existirem dados estatísticos, o consumo de mandioca de mesa no Brasil é muito grande. A maior parte dessa mandioca é produzida em culturas de “fundo de quintal”, cuja produção não passa por processo organizado de comercialização (CARVALHO et al., 1995).

A cultura da mandioca tem um papel importante tanto como fonte de energia para alimentação humana e animal, quanto como geradora de emprego e de renda, notadamente, nas áreas pobres da região Nordeste no Brasil. Estima-se que a atividade mandioqueira proporcione uma receita brutal anual equivalente a 2,3 bilhões de reais (IBGE, 2000).

De acordo com Cardoso & Leal (1999), as mudanças nos hábitos alimentares, associada ao aumento de renda per capita brasileira vem resultando em redução de consumo de farinha. A fécula da mandioca e seus produtos derivados têm sido utilizados em

produtos amiláceos para alimentação humana ou como insumos em diversos ramos industriais. São nesses mercados que ocorrem a maior agregação de valor e se encontram as maiores perspectivas para o desenvolvimento da atividade mandiocueira. A expressiva produção e oferta de fécula originário da mandioca levam-na a constituir em outra fonte de matéria-prima para produção de produtos de maior valor agregado.

2.1.2- Batata doce (*Ipomoea batata*)

A batata doce é a raiz de uma planta rasteira, nativa do continente americano, que cresce sem exigir cuidados especiais para o cultivo. É uma planta de clima tropical ou subtropical, também cultivada em regiões temperadas. O Brasil, em 1992, segundo dados do IBGE (2000), produziu 603 mil toneladas de raízes em uma área cultivada de 58 mil ha com um rendimento médio de 10 t/ha, sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor.

Miranda et al. (1984) afirmam que a batata doce é uma planta de fácil cultivo, rústica e de reduzido custo de produção. Seus tubérculos aparecem como um importante componente da dieta de populações rurais em diferentes regiões do mundo. Apresenta-se como uma boa fonte de carboidratos, minerais e vitaminas, podendo ainda ser utilizada no preparo de doces, na extração de amido ou na produção de álcool.

A batata doce é uma das tuberosas mais populares do Brasil, sendo consumida na forma assada ou cozida e industrializada na forma de doces. A área cultivada de batata doce no mundo é de 8.867 (1000ha) sendo a terceira tuberosa mais cultivada. No Brasil a área cultivada foi de 18.000 hectares em 1998, com produção de 270.000 toneladas, sendo que o Estado de São Paulo foi responsável por 12% da produção (CAMARGO FILHO et al., 2001).

A batata doce é cultivada em regiões, localizadas desde a latitude de 42°N até 35°S, desde o nível do mar até 3000m de altitude. É cultivada em locais de clima diverso como o das Cordilheiras dos Andes; em regiões de clima tropical, como o da Amazônia; temperado, como no Rio Grande do Sul e até desértico, como o da Costa do Pacífico. Segundo Calegari (1992) a batata doce é cultivada principalmente por pequenos produtores rurais, em sistemas agrícolas com reduzida entrada de insumos. Conforme IBGE (2000), seu cultivo é realizado em praticamente todos os estados brasileiros, com uma

produtividade média de cerca de 10,5 t/ha. Dentre as hortaliças, a batata doce ocupa o terceiro lugar em área plantada, logo após a batata inglesa e a cebola.

No Brasil, o investimento na cultura de batata doce é muito baixo, e o principal argumento contrário ao investimento em tecnologia é que a lucratividade da cultura é baixa. Isso decorre do pequeno volume individual de produção, ou seja, os produtores ainda tendem a cultivar batata doce como cultura marginal. Vários fatores, entre eles a ocorrência de doenças e pragas, tecnologia de produção inadequada e a falta de cultivares selecionadas são responsáveis pela baixa produtividade média brasileira, que está em torno de 8,7 t/ha. Entretanto, produtividade superior a 25 t/ha pode ser facilmente alcançada, desde que a cultura seja conduzida com tecnologia adequada (EMBRAPA).

Silva, Lopes & Magalhães (2002), relatam que a cultura da batata doce sofre um declínio constante desde os anos 70, apresentando uma produção anual em torno de 500.000 toneladas/ano em 2001. Estes pesquisadores afirmam que sua valorização passa necessariamente pela apresentação em outras formas ao mercado consumidor. A produção agrícola mostra perdas da ordem de 25% na seleção das raízes no campo para ser comercializada na forma in natura. Essa restrição na comercialização da batata doce é devido a alguns entraves: aparência ruim, formação de manchas, difícil preparo na culinária e conseqüentemente pouca valorização da cultura. Com o desenvolvimento de novos produtos e tecnologias de processamento pode-se agregar valor à cultura.

2.2- Amido

Fécula e amido são sinônimos. A Legislação brasileira define amido como o produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais, e fécula, como o produto amiláceo das partes subterrâneas comestíveis: tubérculos, raízes e rizomas. A diferença de nomenclatura indica a origem do produto amiláceo, uma diferenciação tecnológica, e não de composição química. (ABAM)

O amido é a principal substância de reserva nas plantas superiores e fornece de 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem. A matéria-prima é disponível em quantidades suficiente e os processos industriais permitem que o amido seja extraído com elevada pureza. Trata-se de uma matéria-prima renovável e não tóxica (VAN DER BURGT et

al., 2000). A produção total mundial esta estimada entre 25 e 45 milhões de toneladas por ano (LILLFORD et al, 1997). Entre a matéria-prima para sua extração destacam-se as raízes e tubérculos, e os cereais.

De acordo com Whistler & Daniel (1984), o amido é constituinte da maioria das plantas superiores, sendo acumulado transitoriamente nos cloroplastos durante o dia, quando a fotossíntese excede a demanda de assimilação pela planta, e trasladado durante a noite para outras partes da planta, na forma de açúcares. Órgãos de reserva da planta, tais como semente, raízes e frutos, mantém o amido armazenado para ser consumido na germinação e desenvolvimento de uma nova planta.

Quimicamente, pode-se afirmar que o amido é um polímero formado pela reação de condensação de moléculas de α -glicose com eliminação de água. Amidos são polissacarídeos, ou seja: carboidratos que, por hidrólise, originam grandes quantidade de monossacarídeos. São polímeros naturais. Portanto, os polissacarídeos são macromoléculas formadas pela união de muitos monossacarídeos. O amido é composto de amilose e amilopectina. A amilose é um polímero linear constituído de unidades de D-glicose, unidas entre si por ligações tipo α - 1,4 com uma extremidade redutora e uma não redutora. (Figura 1) A amilopectina é formada por cadeias curtas de amilose, ligadas entre si de modo a formar uma estrutura ramificada. (Figura 2) Estas ramificações são formadas por ligações α - 1,6, com média de uma a cada 18 a 28 unidades de glicose da cadeia de amilose, de forma que uma molécula de amilopectina contem entre 4-5% deste tipo de ligação (MANNERS & MATHESON, 1981).

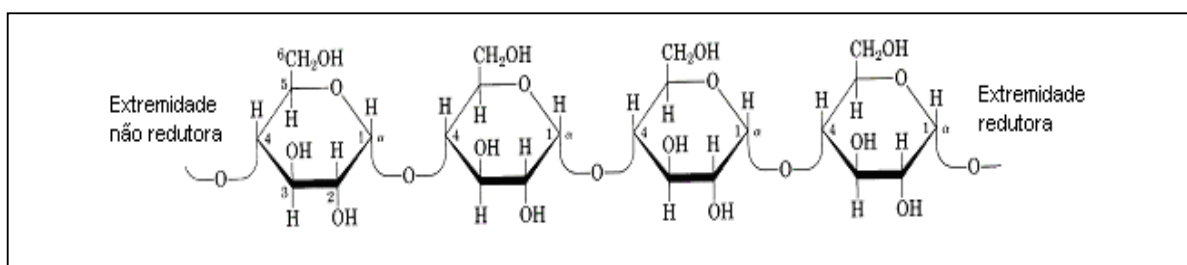


Figura 1– Amilose.

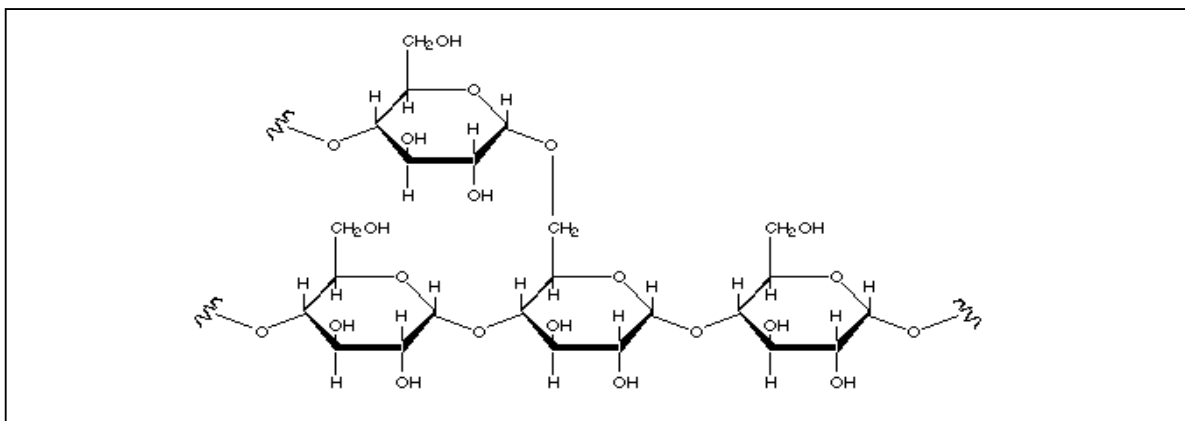


Figura 2– Amilopectina.

Segundo Cabello (1995), o amido apresenta diferentes propriedades conforme a origem botânica, notadamente na forma e tamanho dos grânulos, na proporção entre amilose e amilopectina, capacidade de absorção de água e temperatura de gelatinização.

2.3- Digestibilidade do Amido

A digestão é a transformação dos alimentos ingeridos em elementos mais simples, chamados nutrientes. Esses nutrientes, após serem absorvidos pelo organismo, passam através da parede do nosso intestino e são transportados pelo sangue até as células. A digestão ocorre de duas formas: Digestão mecânica que é feita através da trituração dos alimentos (mastigação); e a digestão química, na qual os alimentos são degradados, sobretudo, por substâncias produzidas pelo nosso corpo, como a saliva e secreção do intestino (SMITH & MORTON, 2003).

Para os carboidratos, a digestão se dá pela transformação progressiva dos hidratos de carbono complexos, como o amido, em moléculas menores, a glicose. A glicose é a etapa final da digestão de todos os carboidratos, ela será depois transportada pelo sangue em direção às células onde são metabolizados fornecendo energia (SMITH & MORTON, 2003).

Segundo Smith & Morton (2003), a digestão do amido tem início na boca, graças à ação da saliva elaborada pelas glândulas salivares. A primeira enzima a agir sobre os carboidratos é a amilase salivar, que atua sobre o amido e a dextrina, transformando-os em maltose. No estômago, o bolo alimentar ainda impregnado de saliva, sofre a ação da ptialina, com o desdobramento de alguma parte de amido. Entretanto, com a acidificação do meio pelo ácido clorídrico do suco gástrico, a amilase salivar é rapidamente inativada inibindo a hidrólise do amido. Quando o bolo alimentar chega ao duodeno, sofre a ação do suco intestinal, que é uma mistura do suco pancreático e do suco entérico, elaborado pelas células do intestino delgado. Uma amilase de origem pancreática continua o desdobramento do amido que escapou da digestão bucal e gástrica. No intestino delgado, enzimas elaboradas pelo suco entérico continuam a digestão até a obtenção de monossacarídeos. Sob a forma desses monossacarídeos é que os carboidratos são absorvidos.

Na hidrólise enzimática do amido, a enzima α -amilase rompe as ligações glicosídicas α -1,4 da amilose originando uma mistura de maltose, amilopectina e glicose. Rompe também as ligações α -1,4 da amilopectina originando uma mistura de polissacarídeos denominadas dextrinas. A enzima β -amilase rompe as ligações α -1,4 dos polissacarídeos resultantes da hidrólise da amilopectina, originando maltose pura (GAVA, 1988).

Após a absorção dos monossacarídeos pelo intestino, ocorre o aumento da glicemia, ou seja, da concentração de glicose no sangue. A maior parte da glicose vai diretamente do fígado para o sangue, e a frutose e a galactose são convertidas em glicogênio e depois, se necessário, o glicogênio se converterá em glicose que será distribuída pelo sangue aos tecidos, ajustando a glicemia à taxa normal ao organismo. A glicose é a forma sob a qual os carboidratos se encontram normalmente no sangue e glicogênio é a forma sob a qual eles são armazenados. Sempre que é necessário, o fígado transforma o glicogênio em glicose para manter o nível do sangue (SMITH & MORTON, 2003).

Por possuir uma estrutura muito complexa, o amido proporciona um aumento gradual de açúcar no sangue. A liberação da glicose na corrente sanguínea é mais lenta a partir do amido do que a partir do hidrato de carbono mais simples (GRANFELDT et al., 1993).

Segundo Skrabanja & Kreft (1998), alguns aspectos físico-químicos do amido podem afetar a sua digestibilidade em um alimento. De um modo geral, os principais fatores que podem interferir no aproveitamento deste polissacarídeo incluem: a sua origem botânica, a relação amilose/amilopectina, o grau de cristalinidade, a forma física e o tipo de processamento do amido, assim como interações ocorridas entre esta substância e outros constituintes do alimento.

Os trabalhos de Englyst & Cummings (1987) deflagraram as pesquisas a respeito das frações do amido, assim como suas classificações e propriedades. Atualmente, vem crescendo o interesse dos pesquisadores em quantificar estas frações do amido nos alimentos, visando avaliar o seu real consumo e correlacionar estes achados com a nutrição e a saúde dos indivíduos.

Uma lenta taxa de digestão e absorção de amidos é favorável em dietas para organismos vivos que apresentem quadro de diabetes e hiperlipidemia e a digestibilidade está diretamente relacionada com o grau de gelatinização e também à composição molecular das amiloses e amilopectinas dos amidos presentes (GONI et al. 1997).

Segundo Englyst & Hudson (1996), vários fatores interferem na digestão e absorção de amidos no intestino humano produzindo variadas respostas glicêmicas que puderam ser avaliadas e permitiram desenvolver metodologias para diferenciá-los. Os amidos podem ser classificados de acordo com sua digestibilidade avaliada *in vitro* em três tipos, quais sejam: amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR) e a sua classificação nutricional pode ser baseada nas medidas *in vitro* para prever como seria sua resposta glicêmica a um alimento.

Conforme Englyst et al. (1992), de acordo com a velocidade com a qual o alimento é digerido *in vitro*, o amido divide-se em: rapidamente digerível, quando, ao ser submetido à incubação com amilase pancreática e amiloglucosidase em uma temperatura de 37°C, converte-se em glicose em 20 minutos; lentamente digerível, se, nas condições anteriores, é convertido em glicose em 120 minutos; e amido resistente (AR), que resiste à ação das enzimas digestivas.

2.3.1- Amido Resistente (AR)

A partir da década de 80, começou a ser observado que uma fração do amido escapava da digestão no intestino delgado e chegava ao cólon, onde servia de substrato para a flora bacteriana. Essa fração foi denominada amido resistente e, a partir de então, constatou-se que determinados efeitos fisiológicos, inicialmente atribuídos às fibras alimentares, poderiam também ser atribuídos ao amido resistente (ENGLYST & CUMMINGS, 1987).

Segundo Sievert & Pomeranz (1989), amidos resistentes (AR) são definidos como a soma de amidos e produtos da degradação de amidos não absorvida pelo intestino de indivíduos saudáveis. A relação amilose/amilopectina, resistência térmica, forma física, grau de gelatinização, resfriamento e tempo de estocagem afetam o conteúdo de amido resistente de um alimento. Segundo Englyst (1992), o amido resistente, amido ou o produto da degradação do amido que escapou da digestão no intestino, pode ser completamente ou parcialmente fermentado no cólon. Amidos resistentes podem ser encontrados tanto em alimentos crus como em processados.

Thompson (2000) considera que existem quatro tipos de amidos resistentes: O primeiro tipo é causado pela inacessibilidade aos grânulos de amido que estão fixados em suas matrizes vegetais; o segundo tipo é devido à própria estrutura do grânulo que o torna não digerível; o terceiro tipo é devido a retrogradação, reassociação que ocorre nos grânulos após uma etapa de cozimento que favorece um arranjo estrutural mais forte e organizado; e por fim o quarto tipo é devido à submissão dos amidos a tratamentos químicos que modificam sua estrutura. Eerlingen & Delcour (1995), de forma semelhante, também classificaram os amidos resistentes em quatro categorias.

Champ et al. (2001) relata que o quarto tipo de amido resistente (RS4) tem sido evidenciado quando o amido sofre modificações em sua estrutura química. Com o advento de sistemas de processamento mais sofisticados, tem sido possível obter produtos derivados do amido que podem atender necessidades específicas da indústria de alimentos. Esses produtos incluem os amidos substituídos quimicamente com grupamentos ésteres, fosfatos e éteres, bem como amidos com ligações cruzadas, sendo estes também resistentes à digestão no intestino delgado.

Raben et al. (1994) e Muir et al.(1995) relatam que o amido resistente tem benefícios fisiológicos para a saúde nos seres humanos. Ranhotra et al.(1996) afirmam que o amido resistente devido à retrogradação do amido (RS3) provocou significativa redução no colesterol e no triglicérides do sangue em ratos, mas Heijnen, van Amelsvoort, Deurenberg, & Beynen (1996) não observaram o mesmo em seres humanos.

Segundo Huth et al (2000), o amido resistente pode ser fermentado no cólon. A fermentação do RS3 (amido resistente devido a retrogradação do amido) resulta na produção de concentração elevada de ácidos graxos de cadeias curtas (SCFA). Wollowski, Rechkemmer, & Pool-Zobel, (2001) citam também a formação de butirato que foi associado com a diminuição do risco do câncer desativando compostos tóxicos.

O interesse de nutricionistas e da indústria de alimentos nos amidos resistentes tem provocado pesquisas que buscam compreender suas implicações fisiológicas e, para tanto, necessitam efetuar sua quantificação com precisão. Um método direto de sua avaliação em alimentos é realizado após a remoção dos amidos digeríveis (BERRY, 1986).

Diversos procedimentos *in vitro* para a quantificação de amidos resistentes foram propostos ou usados. As diferenças existem no pH de incubação, nas enzimas usadas e na combinação da temperatura e no tempo das reações.

Conforme Tovar (2001), a necessidade de se obter um banco de dados confiável com relação ao teor de amido resistente nos alimentos tem levado ao desenvolvimento de um número significativo de métodos *in vitro* e *in vivo* para a sua quantificação. Por outro lado, a complexidade das razões que podem condicionar a digestibilidade do amido *in vivo*, fazem da determinação *in vitro* um problema considerável. Na literatura existem vários métodos *in vitro* para a determinação de amido resistente em alimentos, dos quais vários foram desenvolvidos durante o Programa European Resistant Starch Research Group (EURESTA). De um modo geral, eles são baseados na diferença entre o amido total e a fração digerível, ou, ainda, na remoção do amido digerível através da utilização de diferentes enzimas e na quantificação direta do amido resistente na fração residual.

McCleary (2001) sugere que as temperaturas de incubação para α -amilase estejam na escala da temperatura de gelatinização para a maioria dos amidos normais a fim realizar mais valores de Amido Resistente condizentes com os dados *in vivo*.

Goni et al. (1996) propõem um método de avaliação direta que tem as seguintes etapas analíticas: remoção de proteínas; remoção de amidos digeríveis; solubilização e hidrólise enzimática dos amidos resistentes e a quantificação dos amidos resistentes como glicose multiplicada por um fator 0,9. As condições fisiológicas do estômago e do intestino (pH, temperatura e tempo de trânsito) são aproximadamente simuladas.

2.3.2- Índice Glicêmico (IG)

A taxa de digestibilidade do amido esta relacionada com o conceito do índice glicêmico. Jenkins et al (1981) propuseram um novo sistema de se classificar os carboidratos através da resposta glicêmica ou do índice glicêmico. O índice glicêmico é um indicador da velocidade de transformação do carboidrato em glicose. Ele mostra o quão rápido um alimento ingerido consegue aumentar a glicemia (a glicose no sangue), é um indicador baseado na habilidade da ingestão do carboidrato (50g) de um dado alimento elevar os níveis de glicose sanguínea pós-prandial, comparado com um alimento referência, a glicose ou o pão branco (BAXTER, 2002).

Os alimentos considerados de baixo índice glicêmico ($IG < 75$), ou seja, de lento aumento da glicemia; são os carboidratos lentamente digeríveis (ALD). Estes fornecem energia gradualmente por um longo tempo. Os alimentos considerados de alto índice glicêmico ($IG > 95$) são considerados fontes de energia imediata e por pouco tempo, provocando um rápido aumento da glicemia. De maneira geral, os fatores que influenciam na resposta glicêmica são: a natureza do amido (amilose e amilopectina), a quantidade de monossacarídeos (frutose, galactose), a presença de fibras, a cocção ou o processamento, o tamanho das partículas, a presença de fatores antinutricionais (fitatos) e a proporção de macronutrientes (proteína e gordura) (CUPPARI, 2002).

Estudos mostram que com a redução do índice glicêmico dos carboidratos, ocorre uma demanda menor de insulina, ocorrendo uma melhor manutenção da

glicemia e redução da lipidemia, sendo importantes medidas preventivas e/ou tratamento para as doenças crônicas não transmissíveis como diabetes, obesidade, doenças cardiovasculares e até alguns tipos de cânceres. A ingestão de carboidratos com alto índice glicêmico faz o pâncreas trabalhar mais para produzir insulina e provoca picos de glicemia (hiperglicemia), seguidos de quedas bruscas da concentração de glicose no sangue (hipoglicemia). O quadro de hiperinsulinemia leva, também, à redução na mobilização de ácidos graxos do tecido adiposo para a circulação e respectiva oxidação (MORRIS & ZEMEL, 1999).

É comprovado que fatores genéticos influenciam na resposta pós-prandial e que esta resposta é geralmente individual. Mas os estudos demonstram que a hiperglicemia pós-prandial seguida de uma refeição de alto índice glicêmico pode ser considerada uma regra. Esta resposta parece ser ainda mais pronunciada e evidente em obesos. Este dado nos leva a considerar a prescrição de dietas de baixo índice glicêmico, ainda mais se considerarmos o efeito rebote de fome, conseqüente da baixa circulação de combustíveis no final do período pós-prandial. A busca por alimento acaba sendo um reflexo para restabelecer a homeostase energética e vários estudos demonstram esse comportamento em ratos e humanos (ABESO).

Até hoje não existem estudos clínicos de longa duração para que se possa comprovar o efeito de dietas de baixo índice glicêmico para regulação do peso corpóreo. Em contrapartida, existem muitas evidências de que esta pode ser uma boa estratégia na dietoterapia. Além disso, sabe-se que em ratos esta resposta, glicêmica/insulinêmica à refeições com alto índice glicêmico, leva a uma maior deposição de gordura, a um aumento no tamanho dos adipócitos, a um aumento da incorporação de glicose nos tecidos lipídicos e a uma maior síntese de ácidos graxos.

2.4- Fatores que influenciam a formação de amido resistente

Os grânulos de amido são de difícil digestão devido à sua conformação cristalina e ao fato de estarem incluídos muitas vezes em uma matriz que dificulta a acessibilidade. Com o aquecimento em água, os cristais se rompem e se dissolvem na água, e é possível que sejam prontamente digeridos pelas amilases. Ao passarem por resfriamento, as moléculas de amido podem novamente se cristalizar, formando estruturas não

digeríveis. A cristalinidade analisada tem revelado em geral que grânulos de amido de tubérculos são mais cristalinos que de cereais. O grânulo de amido absorve água rapidamente e é mais susceptível às modificações químicas e enzimáticas. É necessário lembrar que as modificações que ocorrem durante o processamento de produtos amiláceos afetam a sensibilidade à ação enzimática tanto *in vivo*, como *in vitro*, fato este que está na origem do conceito de amido resistente (IMEN).

Segundo Colonna et al (1992), a extensão do efeito do processamento nos alimentos pode ser explicada em termos de modificações estruturais. Estas modificações devem ser levadas em consideração para um melhor entendimento da taxa de hidrólise do amido.

Estudos *in vitro* e *in vivo* têm mostrado que a forma física do alimento é o principal fator determinante da velocidade de digestão do amido. Com o processamento, os alimentos sofrem modificações em sua estrutura física, fazendo o amido ficar mais acessível à ação das enzimas digestivas e, além disso, a extensão da mastigação dos alimentos também pode interferir na disponibilidade do amido (ENGLYST et al., 1992).

Segundo Menezes & Lajolo (1995), a integridade da parede celular exerce uma importante função na utilização do amido, atuando como uma barreira física que dificulta o entumescimento, a completa gelatinização dos grânulos e a ação das enzimas digestivas sobre o amido.

Outros fatores a serem levados em consideração na formação do amido resistente, são as interações que podem existir entre o amido e outros nutrientes constituintes do alimento. Conforme Annison et al. (1994) observaram, em estudos sobre a biodisponibilidade do amido, uma pré-incubação com pepsina aumenta a acessibilidade do amido à α -amilase em farinhas de trigo, tanto cruas quanto cozidas, evidenciando que uma considerável fração do amido encontra-se encapsulada por proteínas. Com relação aos lipídeos, foi constatada uma importante influência sobre a gelatinização e a retrogradação do amido. Segundo Skrabanja et al. (1998), o mecanismo de interação entre a amilose e os lipídeos atribui-se à formação de associações por inclusão do lipídeo no interior da cadeia de amilose, que adota uma conformação em dupla hélice com estrutura parcialmente cristalina.

Este complexo compete com a cristalização da amilose, deixando menor quantidade deste polissacarídeo livre para a formação de pontes de hidrogênio com outras cadeias de amilose.

Escarpa et al. (1996), estudando a ação de alguns componentes dos alimentos (fibras insolúveis, cálcio, potássio, catequina e ácido fítico) na formação do amido resistente, evidenciaram que, com exceção das fibras insolúveis, todos os componentes testados reduziram a formação do amido resistente.

Conforme relataram Eerlingen et al. (1994), açúcares (glicose, maltose, sacarose e ribose) tiveram uma significativa influência nos rendimentos de amido resistente, quando presentes em uma alta concentração (relação amido-água-açúcar 1 : 10 : 5, p/p). Segundo os autores, o efeito dos açúcares pode aumentar ou diminuir o conteúdo de amido resistente, dependendo do tipo de amido.

Segundo Colonna (1992), durante o processamento e armazenamento, as mudanças ocorridas na estrutura do amido influenciam profundamente as suas propriedades funcionais e fisiológicas. A quantidade de água, o tempo e a temperatura de armazenamento são variáveis que influenciam no processo de cristalização e afetam diretamente os rendimentos do Amido Resistente (ESCARPA et al., 1996).

Conforme Germani (1999), durante o aquecimento em meio aquoso, os grânulos de amido sofrem mudanças em sua estrutura, envolvendo a ruptura das pontes de hidrogênio estabilizadoras da estrutura cristalina interna do grânulo, quando uma temperatura característica para cada tipo de amido é atingida. Se o aquecimento prossegue com uma quantidade suficiente de água, rompe-se a região cristalina e a água entra, fazendo o grânulo romper-se. Com a gelatinização, o amido torna-se mais facilmente acessível à ação das enzimas digestivas.

Segundo Germani (1999), a gelatinização refere-se à formação de uma pasta visco-elástica turva ou, em concentrações suficientemente altas, de um gel elástico opaco. Conforme passa o tempo e a temperatura diminui (na refrigeração ou congelamento, principalmente), as cadeias de amido tendem a interagir mais fortemente entre si, obrigando a água a sair e determinando, assim, a chamada sinérese. A recristalização ou retrogradação ocorre quando, após uma solubilização durante o processo de gelatinização, as cadeias de amilose, mais rapidamente que as de amilopectina, agregam-se formando duplas hélices

cristalinas estabilizadas por pontes de hidrogênio. Durante o esfriamento e/ou envelhecimento, estas hélices formam estruturas cristalinas tridimensionais altamente estáveis.

Alguns pesquisadores (Silvert & Pomeranz, 1989; Eerlingen et al, 1994; Vasanthan & Bhatt, 1998) demonstraram que a retrogradação do amido gelatinizado induz a formação do Amido Resistente.

Colonna (1992) cita que os polímeros de amilopectina retrogradada, limitados pela sua estrutura ramificada, são menos firmemente ligados que os da amilose retrogradada, conferindo a esta última uma maior resistência à hidrólise enzimática. Segundo verificaram Eerlingen et al. (1993), ao estudarem a influência do comprimento da cadeia de amilose na formação do Amido Resistente, sob condições experimentais, o seu rendimento aumenta com o grau de polimerização da amilose.

Trabalhos mostraram que quanto maior o conteúdo de amilose, maior o rendimento do Amido Resistente. Escarpa et al. (1996), Eerlingen et al. (1994), Fredriksson et al. (2000) afirmam que este efeito foi comprovado em diferentes tipos de amido, tais como os de milho, trigo, batata e milho com alto teor em amilose, fazendo pensar que a amilose era o único componente do amido a interferir na retrogradação. Entretanto, conforme estudos posteriores revelaram, sob determinadas condições de tempo e temperatura de armazenamento, a retrogradação da amilopectina não pode excluir-se da fração total do amido retrogradado.

García-Alonso et al. (1999), avaliando os processos de gelatinização e retrogradação do amido em amostras de trigo, milho, arroz e batata, encontraram rendimentos semelhantes de amido resistente quando as amostras foram submetidas a tratamentos térmicos diferentes (autoclave e água fervente). Neste mesmo trabalho, foi avaliada a relação entre o pH e a formação do amido resistente. Dentre as amostras estudadas, somente o milho apresentou diferenças significativas na formação do amido resistente. Segundo os autores, o pH não afeta a gelatinização do amido e a subsequente formação do amido resistente.

Eerlingen et al. (1994) observaram um aumento de 10%, 6% e 4% nos teores de amido resistente, quando amostras de amido de trigo gelatinizado foram armazenadas por vários dias em temperaturas de 100°C, 68°C e 0°C, respectivamente. Menezes et al. (1998) evidenciaram um aumento no teor de amido resistente em alimentos armazenados em temperaturas reduzidas (-20°C e 5°C) por um período de 24 horas.

Posteriormente, Rosin (2000) estudou o efeito do armazenamento de vários alimentos (arroz polido e integral, batata, ervilha, lentilha, macarrão, grão de bico, milho, polenta, feijão e pão francês) em condições de temperatura reduzida (-20°C), encontrando aumentos significativos na formação do amido resistente em períodos de 7 e 30 dias.

Goni et al. (1997) reportaram um aumento no teor de amido resistente (32%) em batatas fritas secas submetidas a um processo de congelamento prévio. Skrabanja & Kreft (1998) verificaram, em cereais, que um maior número de ciclos de autoclavagem e resfriamento resultaram em um aumento de 7% nos teores de amido retrogradado. Os autores sugerem que esse amido seria produzido pela degradação térmica na ausência de água.

2.5- Processo de Extrusão

Extrusão é basicamente a conversão de um material sólido ao estado de massa fluida, pela combinação de umidade, calor, compressão e tensão de cisalhamento. Conforme (Sebio, 1996), o princípio básico do processo de extrusão é converter um material sólido em um fluido pela aplicação de calor e trabalho mecânico e força-lo através de uma matriz provocando assim a gelatinização do amido, a desnaturação das proteínas, a inativação enzimática, a destruição de substâncias tóxicas tais como os inibidores das proteases e a diminuição da contagem microbiana para formar um produto de características físicas e geométricas pré-determinadas. O mesmo afirma também que durante o processo de extrusão ocorre, além da gelatinização; cozimento, fricção molecular, mistura, esterilização e secagem; reestruturando a matéria-prima a fim de criar novas texturas e formatos.

Thakur e Saxena (2000), definem a extrusão como um processo contínuo, no qual a matéria prima é forçada através de uma matriz ou molde, em condições de mistura e aquecimento, pressão e fricção que levam a gelatinização do amido, a desnaturação de proteínas e a ruptura de pontes de hidrogênio. O processo de extrusão permite ampliar a variedade de alimentos partindo-se de ingredientes básicos e chegando-se a alimentos de textura, sabor, aroma e formas variadas, e que possuem baixa atividade de água.

Segundo Ascheri (1995), os principais fatores que influenciam a natureza do produto extrusado são as condições durante a extrusão e as propriedades reológicas do produto em questão. Os parâmetros mais importantes durante o processo de

extrusão são a temperatura, a pressão, o diâmetro do orifício de saída e a tensão de cisalhamento. As características da matéria-prima tais como a umidade, o estado físico e composição química também exercem influência sobre o produto final.

O processo utiliza um equipamento denominado extrusora, dotada de uma ou duas roscas que conduzem os materiais por uma camisa que pode ter ou não pressões e/ou temperaturas controladas para realizar a sua cocção. O material assim processado apresentará texturas, sabores e características dependentes do tempo de residência, temperaturas, pressões, umidades, etc que lhes for imposto (HARPER, 1989).

Esse equipamento é utilizado para cozinhar e inflar farinhas amiláceas para a produção de biscoitos expandidos. A matéria-prima, farinha ou mistura de farinhas, é condicionada a um determinado teor de umidade, após o qual é introduzida na câmara de extrusão. Aplica-se então energia suficiente na forma de compressão e cisalhamento em adição ao aquecimento direto, para que ocorra a gelatinização do amido e o cozimento de outros ingredientes. A temperatura da massa na câmara de extrusão imediatamente após a passagem pelos orifícios deve ser superior a 100°C a fim de que a água existente no material seja subitamente convertida em vapor, à medida que o material extrudado emerge dos orifícios de saída, desta forma expandindo a massa em um produto poroso e de aspecto expandido (HARPER, 1978).

Conforme Cereda (2003), no extrusor, o processo ocorre de forma que uma rosca sem fim força o material em direção à matriz. Durante o trajeto a temperatura se eleva e a pressão dentro do extrusor aumenta. Ao deixar o extrusor, a pressão decresce violentamente e a água vaporiza instantaneamente, provocando a expansão do material. A forma do produto final pode ser controlada pela forma da matriz de saída, e da velocidade do sistema de corte.

Esse processo apresenta as seguintes características: É um processo contínuo de alta temperatura, possui eficiência energética, possibilita o processamento de materiais secos relativamente viscosos e a utilização de ingredientes não convencionais. Também proporciona o controle das alterações térmicas dos constituintes do alimento e a melhora das características de textura e sabor dos alimentos (HARPER, 1978).

O processo de extrusão, com relação a outros métodos de cozimento, apresenta uma série de vantagens. Ding (2005) cita a versatilidade do processo que permite a

produção de ampla variedade de produtos com um mesmo sistema básico, bastando para tal modificar as condições do processo; cita também o baixo custo e tecnologia eficiente e processamento de alimentos. (Figura 3)

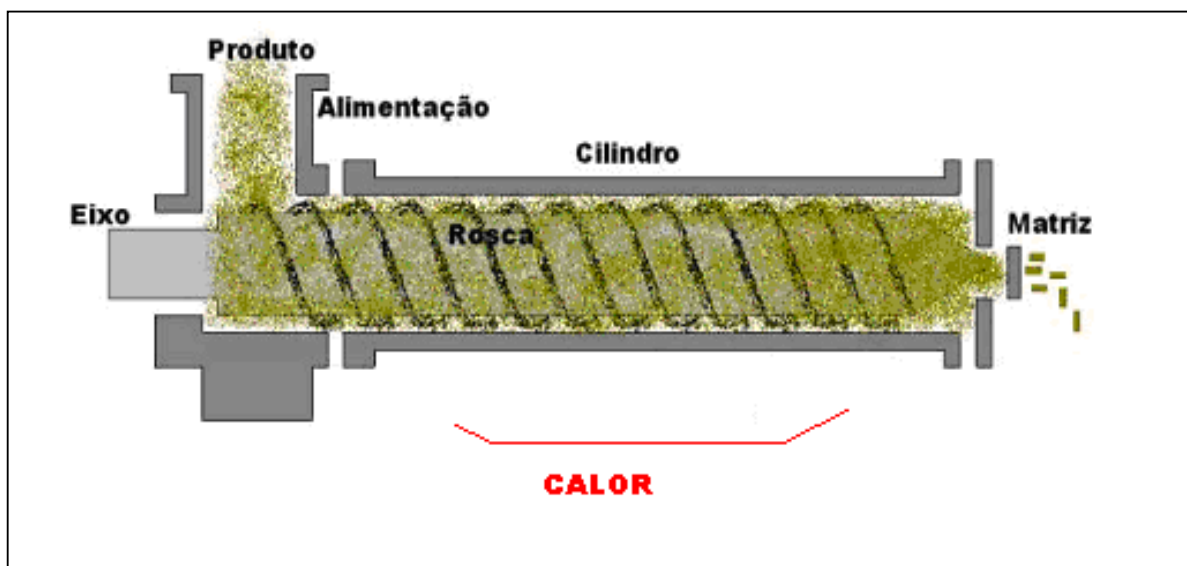


Figura 3- Esquema básico do processo de extrusão.

2.5.1- Biscoitos expandidos (“Snacks”)

Segundo Zelaya (2000), os chamados alimentos de conveniência estão em franco crescimento no mundo inteiro. Os alimentos mais conhecidos são os salgadinhos (“snacks”) e os cereais matinais. Embora não o sejam, são identificados como refeição, pois suprem as necessidades daqueles que não tem tempo disponível para uma alimentação convencional.

A nova geração de “snacks” promove uma imagem de saúde e o amido tem desempenhado um importante papel para estabelecer essa imagem (HUANG, 1995). A expansão conduz à maior família de produtos alimentícios, chamada “snacks”. A produção de “snacks” é baseada na expansão direta na matriz de extrusor. A estrutura dos produtos expandidos por extrusão depende, principalmente, da gelatinização do amido e da

subseqüente expansão do vapor de água que origina a queda de pressão na saída do material pela matriz do extrusor.

Segundo Colonna et al. (1989), a expansão do biscoito ocorre porque a pressão dentro do corpo do extrusor é alta, devido à restrição na zona de descarga do mesmo. Quando o amido fundido sai pela matriz, há passagem repentina da umidade interna para o estado gasoso, devido à queda de pressão, causando assim a expansão do produto. A perda de 3-5% da água na saída da matriz provoca um resfriamento substancial do produto. As principais propriedades funcionais dos amidos extrusados, quando dispersos em excesso de água, são absorção de água e a solubilidade em água. A estabilidade desse tipo de produto está relacionada a fatores sensoriais como: textura, aparência e sabor, sendo a textura considerada o fator mais importante. Associados, textura, aparência e sabor são os fatores sensoriais que determinam a aceitabilidade do alimento pelo consumidos. A textura é um fator de grande peso na comercialização de "snacks" e, dentre os parâmetros que a compõem, a crocância é a características mais importantes, sendo influenciada pelas condições de extrusão de cada indústria e teor de umidade do produto quando já embalado.

Antila et al. (1984) verificaram que a presença de proteínas proporciona estabilidade na estrutura e na textura do produto. A expansão então é dependente da natureza da proteína presente e deste modo, se o produto desejado for um produto denso e totalmente cozido, a matéria-prima deve conter determinada concentração de proteínas. No caso inverso, se o produto expandido desejável for crocante e leve, deve ser usado amidos com baixa força de glúten (proteínas) que favoreça a expansão.

A transformação de cereais e de produtos amiláceos pelo processo de extrusão foi verificada por um grande número de trabalhos científicos. Em alguns casos foi observada a liquefação parcial do amido e formação de produtos de quebra de alto peso molecular. A extensão dessa degradação macromolecular é função dos parâmetros de extrusão: temperatura, umidade e velocidade do parafuso. Foi verificado por Davidson (1984) que, usando um extrusor Bradender de rosca única, o número de ligações quebradas, na fração de maior peso molecular, cresceu com o aumento da temperatura de extrusão e com a diminuição do nível de umidade de processamento. Diosady (1985) concluiu que a degradação é quase que exclusivamente função da taxa de cisalhamento e do tempo gasto na zona ativa do

extrusor, tendo conseqüentemente como variáveis a umidade na alimentação, temperatura de extrusão e rotação do parafuso do extrusor.

Durante o cozimento por extrusão, o amido que apresenta inicialmente uma forma granular é progressivamente comprimido e transformado em um material denso, sólido e compacto, desaparecendo sua estrutura cristalina e granular. Essa destruição pode ser parcial ou completa, dependendo das variáveis de extrusão, e das características intrínsecas da matéria-prima, tais como a relação de amilose/amilopectina, teores de fibra, lipídio, proteína, etc. (COLONNA et al., 1989).

Dependendo do tipo de tratamento térmico, os produtos extrusados e secos podem ser caracterizados pela sua estrutura expandida, pela coesividade, forma e/ou sensação na boca. Após a moagem os produtos apresentam alguma solubilidade, que conduz à alta susceptibilidade a ação de enzimas amilolíticas. Essas propriedades são altamente influenciadas pela origem do amido e pelas condições do processo de extrusão (COLONNA et al., 1989).

No processo de produção de biscoitos expandidos, um dos principais fatores de qualidade do produto final está relacionado com a matéria-prima. A expansão do produto depende, principalmente, da composição do material e das condições de processamento, e resulta de expansão longitudinal, ou da expansão diametral, ou de ambas. A expansão do produto depende da intensidade de vaporização da água e das propriedades de fluxo do amido fundido. Segundo Launay & Lisch (1983), a água não é o fator limitante, sendo as propriedades reológicas do material fundido as variáveis principais, uma vez que as expansões, longitudinal e diametral, são dependentes da viscosidade e da elasticidade do material fundido, respectivamente. Usualmente a expansão é expressa pela relação entre a área da seção transversal do extrudado e a área da matriz, ou pela relação entre os diâmetros do produto extrusado e da matriz.

Como é conhecido, o amido nativo não absorve água à temperatura ambiente e sua viscosidade é praticamente zero. Entretanto, o amido extrusado absorve água rapidamente, sem qualquer aquecimento. Esta pasta é formada pelas macromoléculas solubilizadas e também inclui partículas intumescidas por água (gel). Essa duas propriedades são fortemente influenciadas pelo tamanho de partícula, pois quanto menor, maior será a velocidade e o nível de solubilização. O índice de absorção de água

(IAA) é o peso do gel obtido por grama de amostra seca. O valor de IAA correlaciona bem com a viscosidade da pasta a frio porque apenas os grânulos de amido danificado absorvem água à temperatura ambiente, resultando no aumento da viscosidade. Após atingir um máximo, com relação ao grau de amido danificado, o IAA diminui com o início da dextrinização (COLONNA et al., 1989).

O índice de solubilidade em água (ISA) expressa a porcentagem de matéria seca recuperada após evaporação do sobrenadante da determinação de absorção de água. O índice de solubilidade em água (ISA) está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis na amostra seca e mede a dextrinização. Parece ser bem aceito que o índice de solubilidade em água (ISA) aumenta com a severidade do tratamento térmico (COLONNA et al., 1989).

2.5.2- Extrusão de amidos

O amido se comporta como um polímero termoplástico. O conhecimento sobre a extrusão sintética do polímero foi transferido à indústria de alimento em 1960, para começar inicialmente a produção de cereais para café da manhã. Iniciou-se, entretanto, um esforço para esclarecer os efeitos do processo de extrusão nas propriedades funcionais dos produtos e nas conseqüências nutritivas, mesmo com poucos estudos completos realizados sobre o processo (COLONNA et al., 1989).

Launay & Lisch (1983), afirmam que grânulos de amido que apresentam fraturas devido ao estresse do processamento, ação fisiológica de amilases ou ainda degradação por ação de microorganismos, ocasionam efeitos de significância nos produtos extrudados tais como poros pequenos, textura flácida, grande solubilidade e características de pastosidade quando mastigados.

Segundo Colonna et al. (1989), um importante efeito da extrusão sobre a estrutura molecular dos grânulos de amido é a sua gelatinização e fragmentação parcial das amiloses e amilopectinas. Este fenômeno altera as propriedades funcionais da utilização do amido em alimentos e por

O conteúdo de amido de produtos extrusados não muda durante o processo de extrusão, demonstrando que nenhum novo enlace é criado apesar das circunstâncias de alta temperatura. Em produtos extrusados de amido de mandioca, Colonna e Mercier (1983) observaram que a relação de α -1-6 às ligações α -1-4 esteve preservada durante a extrusão.

Johnson e colegas de trabalho (Lorens & Johnson, 1972; Moore, 1973; Chiang & Johnson, 1977) acreditam que o amido de trigo é quebrado em moléculas pequenas de açúcares durante a extrusão da farinha de trigo com um extrusor Brabender de parafuso único. Chiang e Johnson (1977) encontraram alguma quebra de 2→1 ligações glicosídicas de sucrose e de rafinose e de 1→4 ligações glicosídicas dos maltooligossacarídeos e do amido. O interesse nestes açúcares curtos é justificado por sua participação em reações de Maillard, que confere a coloração e desenvolve o flavor desejados.

Em contradição, Noguchi et al. (1992), diz que embora a degradação térmica ocorra devido ao calor a longo prazo (20 hrs a 80° C e em umidade de 8%), gerando moléculas de pequeno peso molecular, a ocorrência deste tipo de reação é improvável nos extrusados por causa do tempo de processo muito curto. Além disso, um aumento nos açúcares pode também ser atribuído a hidrólise enzimática de oligossacarídeos maiores sob as condições da extrusão que não inativam completamente enzimas amilolíticas.

A degradação macromolecular foi demonstrada para amidos puros (COLONNA & MERCIER, 1983; DAVIDSON et al., 1984; DIOSADY et al., 1985) e farinhas (SCHWEIZER & REIMANN, 1986). Dois métodos são utilizados para demonstrar que os polímeros do amido são degradados em componentes de mais baixos pesos moleculares, a cromatografia de permeação em gel e viscosidade intrínseca. As determinações comparativas da viscosidade do total do amido extrusado, assim como a determinação da quantidade de amilose facilmente solúvel dos extrusados podem também ser usadas.

Sagar & Merril (1995) observam uma forte correlação entre a viscosidade intrínseca do material extrusado com a mudança no perfil de tamanho dos polímeros amilose e amilopectina, e concluem que a modesta redução na viscosidade é de fato devido ao tipo de processo de extrusão aplicado ao amido.

Della Valle et al. (1995), avalia a degradação de estrutura molecular através do tratamento termomecânico aplicado ao processo, utilizando medidas de energia mecânica específica (SME) que em seus ensaios variou entre 100 a 320 kWh/t. Utilizam também um índice de solubilidade do material extrusado em água fria como indicador da extensão da gelatinização dos amidos.

Segundo Colonna & Mercier (1983) e Colonna et al., (1984), as dextrinas de extremidades β , obtidas pela hidrólise dos amidos com β -amilase, revelam que as distribuições de tamanho são completamente diferentes, indicando uma variação grande na estrutura interna da amilopectina depois da extrusão. Entretanto, nenhuma diferença foi observada entre o amido nativo e os amidos extrusados em suas capacidades de ligações de iodo com extremidades β -amilose. Aqueles resultados podem ser explicados pela constância da porcentagem de ligações α -1-6 do material extrusado e do amido nativo; isto quer dizer que a amilopectina e a amilose têm a mesma susceptibilidade à degradação. Em contraste, Davidson et al. (1984) diz que os pontos de ramificação da amilopectina são os mais suscetíveis à ruptura na extrusão do amido de trigo na escala de temperatura 121-177°C em índices de umidade de 20 e de 25%; entretanto, todas suas observações podem também ser interpretadas como resultado de uma degradação aleatória.

Se as estruturas químicas preliminares não são modificadas pela extrusão, toda a diminuição na viscosidade intrínseca corresponde a uma diminuição do peso molecular. Diosady et al. (1985) expressaram o nível da degradação pela relação entre as viscosidades intrínsecas do produto final e do amido cru. Comparado ao peso molecular médio da amilopectina nativa ($M_w = 58 \times 10^6$), o da amostra de amilopectina submetida a secagem em “drum-dried” diminuiu ligeiramente ($M_w = 22 \times 10^6$), enquanto na amostra extrusada diminuiu extremamente ($M_w = 2.7-3.7 \times 10^6$). Para as amostras secas as medidas diminuíram apenas 3-10% enquanto para as amostras extrusadas, diminuíram 33-48%. Os resultados observados através de análises cromatográficas por Klingler et al. (1986) são condizentes com estas determinações.

O amido nativo é insolúvel em temperatura ambiente, enquanto os amidos extrusados são em parte solúveis, resultando em soluções aquosas turvas. Isso deve ocorrer devido aos agregados de componentes do amido ligados por ligações do hidrogênio,

porque a turbidez desaparece com a adição de produtos químicos ou de calor. Esta liquefação do amido sem hidrólise enzimática é resultado também da pressão. De qualquer modo, Mercier and Feillet (1975) não encontraram nenhuma formação de maltodextrinas nos amidos extrusados solúveis em água fria.

A mesma relação do amilose/amilopectina é observada em frações solúveis dos amidos nativos e extrusados (Colonna e Mercier, 1983; Colonna et al. 1984), o que contrasta com o que é observado na maioria dos processos de gelatinização, onde as frações solúveis são compostas principalmente de amilose (Colonna e Mercier, 1985). Além disso, as frações solúveis em água são compostas preferencialmente por materiais de pesos molecular mais baixos. A retrogradação é devido à concentração mais elevada de amilopectina degradada.

Sabe-se que a extensão da degradação macromolecular é uma função de parâmetros da extrusão: temperatura, umidade, e velocidade do parafuso, como estudada em um extrusor de Brabender de único-parafuso por Davidson et al. (1984).

Consta na literatura que pesquisas adicionais são necessárias para que se confirmem as informações anteriores. O grau a que o material amiláceo cru é transformado durante a extrusão, com o intuito de alcançar a aceitabilidade do produto, é uma característica que ainda continua incerta para os pesquisadores.

Ascheri et al. (1995) observaram que nos produtos extrusados expandidos, o ar ocupa de 85 a 92% do volume total, exceto para amostras extrusadas à baixa temperatura. Desta forma, são obtidos extrusados com valores de densidade no intervalo de 0,04 a 0,38 g/cm³. O grau máximo de expansão pode ser previsto, com base no conteúdo de amido. Em amidos puros a expansão pode chegar a 500%, seguido pelos grãos integrais (400%), várias misturas ("pet food") para alimentação de animais (200-300%) e sementes oleaginosas (150-200%). O conteúdo de amido nesses materiais é de 100, 65-78, 40-50 e 0-10%, respectivamente. De acordo com algumas referências, o limite mínimo de amido num produto, para que ocorra a expansão é de 60 a 70%. O aumento no nível de amido danificado nos ingredientes crus conduz a produtos com poros, textura macia, maior solubilidade e caráter pegajosos quando comido. Ainda segundo Ascheri et al. (1995), a relação amilose/amilopectina é relevante na determinação das propriedades dos produtos extrusados à base de amido. Misturas experimentais de amidos de milho ceroso e com alto teor de amilose

mostraram que, a 130°C, o índice de expansão diminuiu quando o conteúdo de amilose aumentou; a 225°C foi observada uma tendência oposta. A amilopectina produziu leveza, elasticidade, textura e superfície regulares, porém com características de pegajosidade. Por outro lado, a amilose conduziu a produtos mais duros e menos expandidos. Por essa razão, não são recomendados amidos com nível de amilose de 5-20%, para obtenção de extrusados adequadamente crocantes e de textura aceitável. Foi observado que a força de cisalhamento de amidos aumenta com o aumento dos níveis de amilose.

Os processamentos de alimentos que envolvem calor e umidade, geralmente destroem os amidos resistentes que são fisicamente inacessíveis a α -amilase pancreática (RS1) e os amidos resistentes que possuem amilopectinas cristalizadas de grânulos de amidos naturais crus (RS2). Mas, segundo alguns pesquisadores, esses processos podem ser responsáveis pela formação de amidos resistentes devido a retrogradação (RS3).

Faraj et al. (2004) sugerem que a fragmentação do amido ocorre a 100°C, isso conduziria à formação de correntes de amilose com grau reduzido de polimerização que poderia ser incorporada na estrutura cristalina do amido resistente RS3. Vasanathan et al. (2002) observaram um aumento de RS3 na farinha de cevada extrusada com elevado teor de amilose e não na farinha de cevada extrusada com baixo teor de amilose e a formação de amido resistente é influenciada pela amilose mais do que pela amilopectina.

Entretanto, no estudo realizado por Faraj et al. (2004), os índices de amido resistente (RS3) do amido e das farinhas extrusadas eram baixos apesar de suas diferenças no índice de amilose. A extrusão, nas condições utilizadas de parafuso, pode ter causado a degradação da amilose em moléculas de DP menor (<26). Isso não poderia ser incorporado em uma estrutura de cristal, e conseqüentemente, deve ter resultado na baixa formação de amidos resistentes (RS3). A diminuição mais elevada no índice de amido resistente (RS3) foi observada nas amostras submetidas a temperaturas superiores a 120°C, o que pode sugerir o derretimento dos cristais que dão forma à estrutura do amido resistente (RS3). Vasanathan et al. (2002) cita que a diminuição do índice de amido resistente (RS3), após o processamento de extrusão, em todas as temperaturas utilizadas (90-160°C) e umidades da matéria-prima pode ser atribuído aos baixos índices de amilose.

Unlu e Faller (1998) relataram uma correlação negativa entre a formação do amido resistente (RS3) e a velocidade do parafuso. Além disso, a farinha é um sistema complexo, e outros componentes podem interferir na formação do amido resistente (RS3).

A literatura sobre formação de amido resistente (RS3) em farinhas extrusadas mostra informações contrastando. Alguns pesquisadores relataram a formação de amido resistente (RS3) durante a extrusão da farinha do cereal. Outros afirmam que, somente combinando a extrusão com refrigeração ou armazenamento é que poderá ocorrer a formação do amido resistente (RS3). Existem também estudos que relataram que, mesmo sob condições extremas de extrusão, com índice de umidade elevado (20-40%) e velocidade do parafuso muito baixa (60 RPM), não se observa formação de amido resistente (RS3).

2.5.3- Efeito das variáveis do processo de extrusão nas propriedades funcionais do amido

As características funcionais dos amidos podem ser alteradas pelas condições de extrusão, dependendo dos parâmetros operacionais do processo (conteúdo de umidade inicial, temperatura do extrusor, rotação da rosca, diâmetro da matriz, fluxo de massa e configuração da rosca), dos parâmetros do sistema (grau de cisalhamento, temperatura do produto, tempo de residência e pressão do sistema) e dos parâmetros estruturais (ligados à matéria prima). Essas variáveis são responsáveis pela extensão da quebra estrutural do amido, da qual depende, entre outros fatores, o comportamento de solubilidade e viscosidade do produto extrudado. Os parâmetros operacionais e estruturais do sistema, envolvidos no processo de extrusão, determinam reações muito complexas, que resultam numa diferenciação limitada da influência individual das variáveis, nas mudanças das características finais do amido extrudado (HARPER, 1989).

A literatura científica sobre extrusão tem descrito até agora principalmente as propriedades físicas e químicas dos produtos extrudados, as quais resultam do uso de condições específicas de extrusão em diversos tipos de extrusores. Segundo Ascheri et al. (1995), entre as condições operacionais de extrusão, são de fundamental importância no

controle do processo especialmente a temperatura do extrusor, o conteúdo de umidade da matéria-prima e a rotação da rosca.

2.5.3.1- Temperatura no extrusor

Foi confirmado, em vários trabalhos, que o aumento da temperatura da camisa do extrusor provoca um aumento na temperatura do produto na mesma ordem, principalmente por condução, o que acarreta o decréscimo na viscosidade sem mudanças importantes no tempo de residência. Conseqüentemente, o aumento na temperatura da camisa tende a produzir um produto mais transformado, mas em uma extensão limitada, pelo fato da diminuição da viscosidade causar o decréscimo na geração de calor. Esse comportamento foi confirmado em extrusor de rosca única, observando-se a diminuição da viscosidade intrínseca do amido de trigo com o aumento da temperatura da camisa. Ascheri et al. (1995) cita trabalho realizado por Chiang & Johnson (1977), usando o extrusor Brabender de rosca única, onde relata que a gelatinização do amido aumentou bruscamente com o aumento de temperatura, para umidade de 24 ou 27%; porém, o aumento foi mais intenso para umidades de 18 e 21%.

2.5.3.2- Umidade da matéria-prima

O aumento do conteúdo inicial de água acarreta normalmente o decréscimo na viscosidade do produto, que tem como primeiro eleito o abaixamento da geração de calor e, como segundo efeito, o decréscimo da pressão do produto na saída pela matriz. Isto explica porque temperatura e pressão decrescem quando o conteúdo de água aumenta. Devido ao decréscimo na temperatura, a transformação do produto é geralmente também diminuída. Ascheri et al. (1995) cita novamente o trabalho realizado por Chiang & Johnson (1977), usando extrusor Brabender de rosca única, no qual relata que a gelatinização do amido decresceu ligeiramente com o aumento do conteúdo de umidade a baixas temperaturas de extrusão (65 e 80°C); porém, a temperaturas mais altas (95-110°C), o aumento do conteúdo de umidade aumentou significativamente a gelatinização do amido.

2.5.3.3- Rotação da rosca

O aumento da rotação da rosca tem como efeitos primeiramente o aumento do grau de cisalhamento e em segundo lugar o decréscimo do tempo de residência. Como esses dois efeitos são competitivos, os resultados experimentais não são muitas vezes óbvios. Aumentando a velocidade da rosca e mantendo a vazão de alimentação, diminui o volume do material no extrusor causando o decréscimo do tempo de residência. Alguns estudos mostraram que, quando a rotação da rosca foi aumentada, observou-se pequena queda na pressão e temperatura, enquanto outros afirmam que elas permaneceram bem estáveis (ASCHERI et al., 1995).

Usando extrusor Brabender de rosca única, à temperatura constante de 250°C, e a um baixo conteúdo de umidade, as mudanças na rotação da rosca não resultaram em mudanças no grau de gelatinização do amido de milho; entretanto à medida em que o conteúdo de umidade da matéria-prima aumentou, o efeito da rotação da rosca tornou-se mais crítico, e aumentos relativamente pequenos na rotação resultaram no aumento no grau de gelatinização, evidenciado pelo abaixamento da viscosidade da pasta a quente. A baixas rotações foram obtidos graus de gelatinização mínimos, na faixa de temperaturas de 145-205°C. O trabalho feito por Chiang & Johnson (1977), usando o extrusor Brabender de rosca única, mostrou que a medida em que a rotação da rosca aumentou, o grau de gelatinização do amido decresceu. O aumento da rotação da rosca diminuiu o tempo de retenção da amostra no extrusor, causando um decréscimo na gelatinização do amido.

Ascheri et al. (1995) cita que em estudos recentes, também usando extrusor de rosca única, a transformação do amido de trigo aumentou com o aumento da rotação da rosca. Conseqüentemente, a modificação na rotação da rosca tem dois efeitos opostos: no grau de cisalhamento e no tempo de residência. Como consequência podem ser obtidos vários resultados com relação à transformação do produto e das características funcionais do amido.

Conforme Ascheri et al (1995), devemos considerar também a matriz, que além de responsável pelo formato final do extrudado, tem a importante função de restringir (limitar) o fluxo do material em extrusão, causando o desenvolvimento de pressão e cisalhamento necessários antes da saída do produto. Esses efeitos produzidos pela matriz

podem ser maiores ou menores, dependendo do tipo de produto que se deseja produzir. No trabalho feito por Chiang & Johnson (1977), usando extrusor de rosca única, foi estudado o efeito do tamanho da matriz o extrusor na gelatinização do amido. Foi utilizada farinha de trigo, condicionada a 20% de umidade, rosca com taxa de compressão de 3:1, 100 rpm e temperatura de 100°C. Nestas condições foi observado que, à medida que o tamanho da matriz aumentou, a gelatinização do amido diminuiu. Provavelmente os decréscimos na pressão e no grau de cisalhamento causaram diminuição da gelatinização do amido devido ao menor tempo de residência da farinha no extrusor.

3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1- Matérias-primas vegetais

A farinha de mandioca utilizada foi do tipo “crua”, produzida na Indústria Plaza em Santa Maria da Serra-SP. A fécula de mandioca foi produzida pela Indústria Lótus de Assis/SP. Ambos são produtos comerciais de linha de produção normal. Conforme informações obtidas junto aos fabricantes, a fécula foi originária da variedade Fécula branca e a farinha IAC13.

A farinha e a fécula de batata doce foram obtidas no Laboratório de Processamento de Matérias Primas do CERAT/UNESP em Botucatu-SP, a partir de raízes adquiridas junto a produtor rural na região. Para a obtenção de farinha de batata doce, as raízes foram descascadas, lavadas e raladas, utilizando um desintegrador de raízes e, em seguida, foi realizada a prensagem para retirada do excesso de água e secagem em forno de chapa aquecida com agitação mecânica. Para a obtenção da fécula, as raízes também foram descascadas, lavadas e raladas através de um desintegrador de raízes. A separação da fécula da polpa foi realizada por filtração em peneiras de malha 100 e 200 mesh. A fécula foi lavada em água corrente e submetida a pré-secagem a 45° C e, em seguida, seca a 105°C em estufa com circulação de ar aquecido. Posteriormente, foi triturada em moinho e estocada a temperatura ambiente em caixas plásticas lacradas para realização dos ensaios.

3.2- Caracterização das matérias-primas

Foram caracterizadas quanto a umidade (AOAC, 1994), cinzas, proteínas, matérias-graxas, fibras, pH e acidez titulável (AOAC, 1980), açúcares totais (SOMOGY, 1945), conteúdo de amido total e conteúdo de amido resistente (Gonni, 1996).

3.3- Planejamento experimental

3.3.1- Preparo das misturas para os ensaios

Para ambas as matérias-primas (mandioca e batata doce), a quantidade de 2 quilos de cada mistura de fécula e farinha foi preparada utilizando um misturador de farinhas de pás horizontais da marca Lieme, modelo MB-07 (Figura 4) e estocada a temperatura ambiente em recipiente plástico e fechado herméticamente. Após prévia determinação do teor de umidade, foi feito um ajuste com adição de água até o valor do planejamento experimental (14, 15,5 ou 17% de umidade) e realizada a homogeneização no misturador.



Figura 4- Misturador de farinhas de pás horizontais utilizados na homogeneização das misturas para os ensaios.

3.3.2- Ensaios planejados

Foi realizado um planejamento experimental fatorial para ambas as matérias-primas vegetais, onde variáveis independentes foram misturas previamente preparadas com 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de farinha em relação à fécula, com três teores de umidade de 14%, 15,5% e 17%, conforme exposto na tabela 1. A cada ensaio foram retiradas amostras do material extrudado, secas ao ambiente por 1 hora, e estocadas em recipientes fechados para as análises descritas no item 3.6 deste Material e Métodos.

Tabela 1- Planejamento experimental.

ENSAIOS		MISTURAS		
Mandioca	Batata doce	Farinha	Fécula	Umidade
1	19	100 %	0 %	14 %
2	20	100 %	0 %	15,5 %
3	21	100 %	0 %	17 %
4	22	80 %	20 %	14 %
5	23	80 %	20 %	15,5 %
6	24	80 %	20 %	17 %
7	25	60 %	40 %	14 %
8	26	60 %	40 %	15,5 %
9	27	60 %	40 %	17 %
10	28	40 %	60 %	14 %
11	29	40 %	60 %	15,5 %
12	30	40 %	60 %	17 %
13	31	20 %	80 %	14 %
14	32	20 %	80 %	15,5 %
15	33	20 %	80 %	17 %
16	34	0 %	100 %	14 %
17	35	0 %	100 %	15,5 %
18	36	0 %	100 %	17 %

3.4- Processo de extrusão

Para o processo de extrusão foi utilizada uma extrusora da marca Inbramaq modelo Labor PQ-30 (Figura 5), tendo seu cilindro de extrusão 550 mm de comprimento e 35 mm de diâmetro, composto de cinco módulos de aquecimento elétrico e resfriamento com controles independentes. O painel de controle monitorava os diversos parâmetros operacionais ajustados para o processo.

Previamente, foram realizados ensaios prospectivos, a fim de selecionar os parâmetros operacionais e acessórios mais adequados para extrusão do material fécula e farinha.

Para todos os ensaios descritos no planejamento experimental, as misturas foram colocadas no silo alimentador do equipamento e mantiveram-se as seguintes condições constantes de: i) velocidade da rosca 120 rpm; ii) temperaturas das zonas de aquecimento 20°C, 80°C e 120°C, utilizando apenas 3 módulos de aquecimento elétrico; iii) taxa de compressão da rosca de 5:1; iv) diâmetro da rosca de 35 mm; v) alimentação constante da mistura; vi) diâmetro do orifício da matriz de trefilação de 3 mm; e, vii) velocidade de corte de 30 rpm.



Figura 5 - Extrusora utilizada nos ensaios para produção de biscoitos expandidos.

3.6- Análises no material extrusado

3.6.1- Caracterização física

- Índice de expansão: O índice de expansão de cada ensaio foi calculado através da razão entre a medida média da seção transversal em 10 amostras de biscoitos expandidos coletados aleatoriamente após secagem ao tempo, pela medida da seção transversal do orifício de saída da matriz de trefilação da extrusora, conforme Bhatnagar & Hanna (1995).

- Densidade: A densidade foi calculada através da razão entre o valor médio das massas de 10 amostras, pelo valor médio dos seus volumes medidos através do volume deslocado de material granulado (semente de painço) segundo método descrito por Bhatnagar & Hanna (1995).

- Firmeza: A firmeza foi verificada através do texturômetro modelo STEVENS-LFRA texture analyser, com a distância de penetração de 20 mm e velocidade de 2,0 mm.seg.⁻¹, utilizando o ponteiro TA 9/1000.

- Solubilidade: Estes índices foram calculados segundo metodologia descrita por Anderson et al. (1969). Amostras do material dos ensaios foram trituradas em moinhos de facas e peneiradas a 0,42 mm (ABNT). Alíquotas de 2,5 g foram suspensas em 30 ml de água destilada, agitadas por 30 minutos e então centrifugadas a 1000g por 10 minutos. O sobrenadante foi secado em estufa e a quantidade de sólidos solúveis verificada e expressa em porcentagem do material original seco, sendo este o Índice de solubilidade em água. A relação entre o peso seco dos sólidos e o peso da amostra original indica o índice de absorção de água.

3.6.2- Caracterização Sensorial

Para a verificação da aceitabilidade do produto foi realizada uma análise sensorial utilizando uma escala hedônica de 9 pontos (Anexo 1), metodologia descrita por Chaves & Sproesser (1999); cujos extremos correspondem a desgostei muitíssimo (1) e gostei muitíssimo (9). Foram realizadas duas etapas, uma para analisar os extrusados de

mandioca e outra os extrusados de batata doce, com vinte provadores adultos de ambos os sexos cada.

3.6.3- Concentração de Amido Total

Na preparação das amostras para essa análise, os biscoitos expandidos foram triturados em moinho de facas. As amostras dos biscoitos expandidos, as féculas e farinhas de mandioca e batata doce passaram por uma peneira de 0,42 mm (ABNT).

A concentração de amido total foi determinada utilizando-se a metodologia proposta por Goni et al. (1997). Amostras de 50mg receberam 6ml de solução de KOH 2M e agitação por 30 minutos. Em seguida, adicionou-se 3ml de solução tampão de acetato de sódio 0,4M com pH 4,75 e 1 ml de amiloglucosidase (produto Sigma A-3176) e submeteu-se as amostras a agitação por 45 minutos em banho de água a 60°C. A quantificação dos amidos foi obtida através da concentração de glicose (glicose oxidase) e multiplicada por um fator 0,9.

3.6.4- Concentração de Amido Resistente

Na preparação das amostras para essa análise, os biscoitos expandidos foram triturados em moinho de facas. As amostras dos biscoitos expandidos, as féculas e farinhas de mandioca e batata doce passaram por uma peneira de 0,42 mm (ABNT).

Para análise do conteúdo de amidos resistentes foi utilizada a metodologia proposta por Goni et al. (1996), onde as condições fisiológicas (temperatura, tempo de trânsito e pH) do estômago e do intestino são simuladas: As amostras de 100mg foram submetidas a 10ml de solução tampão KCl-HCl com pH 1,5. Adicionou-se 0,1ml de solução de pepsina (produto Sigma P-7012) e levou-se a banho de água a 40°C por 60 minutos com agitação constante. 9ml de solução tampão de trismaleate (produto Acros 26497-0250) 0,1M com pH 6,9 foi adicionada e, em seguida, 1 ml de solução de α -amilase (produto Sigma A-3176). As amostras foram incubadas por 16 horas a 37°C com agitação constante. Após o período de incubação, as amostras foram filtradas e o líquido descartado. O resíduo recebeu

3ml de água destilada, 3ml de solução de KOH 2M, e foi agitado durante 30 minutos. Em seguida, adicionou-se 5,5ml de HCl 1M, 3ml de solução tampão de acetato de sódio com pH 4,75 e 80 µl de amiloglucosidase (produto Sigma A-7255). Banho de água por 45 minutos a 60°C com agitação constante e novamente filtrou-se a solução das amostras, descartando o resíduo. A quantificação dos amidos resistentes foi obtida através da determinação da concentração de glicose (glicose oxidase) e multiplicada por um fator 0,9.

3.6.5- Digestibilidade

A cinética da digestão dos amidos foi obtida baseada em um processo de hidrólise do amido *in vitro* proposto por Goni et al. (1997). A adaptação da metodologia fez-se necessária, pois seguindo com exatidão o método de Goni et al. (1997), não foi possível estabelecer uma curva, sendo que os resultados se mostravam iguais para todas as amostras. Após muitos testes, a metodologia foi definida: Amostras de 50mg, de biscoitos expandidos originários de vários ensaios e das matérias-primas, foram submetidas a 10ml de solução tampão KCl-HCl com pH 1,5. Adicionou-se 0,2ml de solução de pepsina e levou-se a banho de água a 40°C por 60 minutos com agitação constante. 15ml de solução tampão de Trismaleate 0,1M com pH 6,9 foi adicionado e, em seguida, 5ml de solução de α -amilase. As amostras foram incubadas a 37°C com agitação constante. Durante a hidrólise, foram retiradas de tempo em tempo alíquotas de 1ml que foram filtradas em papel filtro comum e congeladas. Posteriormente, a essas alíquotas de 1ml já descongeladas, adicionou-se 3ml de solução tampão de Sódio Acetato com pH 4,75 e 60 µl de amiloglucosidase. Banho de água por 45 minutos a 60°C com agitação constante. A partir da quantificação de glicose (glicose oxidase) em cada alíquota pode-se desenhar uma curva da Cinética da Digestão dos Amidos.

3.6- Análises estatísticas

As análises de variância (ANOVA) foram realizadas pelo programa computacional denominado Statística 6.0, comparando valores experimentais do planejamento

ao modelo quadrático obtido nas simulações. O teste F foi utilizado para verificar o ajuste do modelo aos dados experimentais.

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1- Caracterização da Matéria-Prima

4.1.1- Fécula e farinha de mandioca

Na Tabela 2 podem ser observados os resultados da análise centesimal efetuada na farinha e na fécula de mandioca. Os valores são característicos destes produtos e variações que podem ser observadas são devido ao método de processamento e/ou modificações nas matérias-primas vegetais (Cereda, 2002). Na Tabela 3, observa-se a granulometria da farinha e da fécula de mandioca.

Tabela 2 – Valores médios observados em três amostras da composição centesimal da farinha e da fécula de mandioca.

Análises	Farinha	Fécula
Umidade (%)	12,1± 0,1	11,0± 0,1
Cinzas (%)	0,58± 0,2	0,10± 0,1
Fibras (%)	4,75± 0,3	0,53± 0,1
Proteínas (%)	1,29± 0,2	0,47± 0,1
Matéria Graxa (%)	0,36± 0,1	0,51± 0,2
Açúcares Solúveis Totais (%)	1,91± 0,3	0,21± 0,2
pH (sol. 10%)	6,2 ± 0,2	5,98± 0,1
Acidez (ml NaOH N/100g)	1,45± 0,1	0,60± 0,3

Tabela 3- Granulometria da farinha e da fécula de mandioca.

Abertura (mm)	Farinha	Fécula
0,85	58,79%	0 %
0,6	11,80%	0 %
0,42	12,18%	0 %
0,3	6,50%	0 %
0,25	2,30%	0 %
0,21	2,51%	0,11 %
0,18	1,31%	0,19 %
0,15	1,25%	0,41 %
0,125	1,44%	0,46 %
0,088	0,72%	0,79 %
0,075	0,44%	10,27 %
0,045	0,49%	42,36 %
Fundo	0,16%	45,29 %

4.1.2 - Fécula e farinha de batata doce

A variedade utilizada foi a Princesa, adquirida de produtor rural da cidade de Conchas-SP, sendo utilizada tanto para a produção da farinha como extração da fécula.

Na Tabela 4 podem ser observados os resultados da análise centesimal efetuada na farinha e na fécula de batata doce. Os valores são característicos destes produtos e variações que podem ser observadas são devido ao método de processamento e/ou modificações nas matérias-primas vegetais, semelhantes á outras tuberosas. Na Tabela 5, observamos a granulometria da farinha e da fécula de mandioca.

Tabela 4 – Valores médios observados em três amostras da composição centesimal da farinha e da fécula de batata doce.

Análises	Farinha	Fécula
Umidade (%)	13,5± 0,2	11,2± 0,2
Cinzas (%)	1,72± 0,1	0,60± 0,1
Fibras (%)	5,68± 0,4	0,90± 0,1
Proteínas (%)	3,00± 0,3	0,54± 0,1
Matéria Graxa (%)	0,75± 0,2	0,64± 0,1
Açúcares Solúveis Totais (%)	6,00± 0,5	1,70± 0,1
pH (sol. 10%)	5,12± 0,2	5,5± 0,2
Acidez (ml NaOH N/100g)	6,00± 0,3	1,5± 0,1

Tabela 5- Granulometria da farinha e da fécula de batata doce.

Abertura (mm)	Farinha	Fécula
0,85	4,27 %	0 %
0,6	21,42 %	0 %
0,42	22,08 %	0 %
0,3	18,95 %	0 %
0,25	7,68 %	0 %
0,21	4,36 %	13,5 %
0,18	1,92 %	3,83 %
0,15	2,39 %	2,78 %
0,125	2,88 %	3,17 %
0,088	2,87 %	5,42 %
0,075	3,45 %	7,92 %
0,045	3,44 %	33,68 %
Fundo	4,27 %	29,55 %

Observando os resultados das análises nas matérias-primas, verifica-se que estão presentes baixas concentrações de proteínas e matérias graxas, o que torna o biscoito expandido um produto com limitações do ponto de vista de um alimento completo.

As texturas destes materiais na forma de pós não se aproximam da granulometria do grits de milho que é um material estabelecido como adequado à operação de extrusão por gerar calor pelo atrito e o “deslocamento” na camisa da extrusora, conforme Bhattacharya et al. (2001).

Os teores de fibras tanto na farinha de mandioca quanto na farinha de batata doce constituem-se de material lignocelulósico que são considerados benéficos do ponto de vista da digestão de alimentos, não sendo nem excessivo nem escasso. Outros componentes sensíveis ao calor provavelmente se degradam devido a severidade do processo, tais como as vitaminas, ácidos orgânicos, ésteres, etc, e como consequência os biscoitos expandidos no processo de extrusão não apresentaram cores e/ou aromas característicos das matérias-primas vegetais.

4.1.3- Conteúdo de Amido Total e Amido Resistente na Matéria-Prima

O conteúdo de amido total e o conteúdo de amido resistente das matérias-primas vegetais utilizadas podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6- Conteúdo de amido total e amido resistente nas matérias-primas.

Matéria-prima	Amido total (%)	Amido resistente (%)
Farinha de mandioca	65,8	10,8
Fécula de mandioca	79,0	13,4
Farinha de batata doce	64,1	17
Fécula de batata doce	70,9	14,4

Os valores mostram uma redução no teor de amidos resistentes quando o material é processado com temperaturas elevadas, e isto é esperado devido à gelatinização parcial que ocorre na produção de farinhas. Em análises anteriores, realizadas com farinhas de mandioca torradas também provenientes da Indústria Plaza (Santa Maria da Serra-SP), foi observado que as variações no processo de produção em um mesmo lote de massa ralada não produziram diferenças nos teores de amido resistente no produto. Outras análises em outras amostras de farinha de mandioca indicaram variabilidades entre 1 a 7%, tendo como média 5,9% até 10,8%, enquanto na massa ralada de mandioca o conteúdo de amido resistente observado foi de até 35,2%. O lote de matéria-prima utilizada nestes ensaios apresentou, portanto, valores altos de conteúdo de amido resistente (Schmidt, Agostine & Cabello, 2003).

As pesquisas em relação ao conteúdo de amido resistente são recentes, apenas a partir da década de 80, os trabalhos de Englyst & Cummings (1987) deflagaram as

pesquisas a respeito das frações do amido, assim como suas classificações e propriedades. Inicialmente a quantificação do amido resistente era realizada somente *in vivo*, através da ingestão de amido por cobaias e posterior análise de suas fezes. Segundo Tovar (2001), a complexidade das razões que podem condicionar a digestibilidade do amido *in vivo* fazem da determinação *in vitro* um problema considerável. Não há na literatura dados suficientes de conteúdo de amido resistente em tuberosas para comparação.

Os processos de fabricação de farinha e fécula utilizam temperaturas elevadas que provocam não só gelatinização parcial dos amidos fixados às matrizes vegetais como a sua retrogradação que incrementa a concentração de amidos resistentes, conforme observado por Haralampu, 2000.

4.2- Avaliação dos Produtos Extrusados

Não foi possível processar as misturas com 100% de fécula de mandioca (tratamentos 16, 17 e 18 conforme Tabela 1 do item 3.3.2 do Material e Métodos); pois as misturas, devido ao fato de possuírem baixa granulometria, aderiram à rosca e não foram conduzidas até a matriz de trefilação. As temperaturas observadas nas camisas e roscas de extrusão gelatinizaram as féculas excessivamente provocando a queima do material. Segundo Ascheri (1995), o processo de extrusão permite a utilização de uma gama de ingredientes e tamanhos de partícula dos mesmos; porém, partículas pequenas são mais rapidamente fundidas e a massa resultante, de viscosidade baixa, pode não ser transportada adequadamente.

4.2.1- Características físicas dos produtos extrusados

Pode-se observar na Figura 6 imagens dos biscoitos expandidos saindo do bocal de corte durante e logo após o processo de extrusão, quando seca ao ambiente antes de ser fechado na embalagem para posteriores análises.



Figura 6 – Imagens dos biscoitos expandidos durante e logo após o processo de extrusão.

Na Tabela 7 podem ser observados os resultados da análise nos produtos extrusados utilizando misturas de fécula e farinha de mandioca, conforme planejamento experimental descrito na Tabela 1 do item 3.3.2 do Materiais e Métodos.

Na Tabela 8 podem ser observados os resultados da análise nos produtos extrusados utilizando misturas de fécula e farinha de mandioca, conforme planejamento experimental descrito na Tabela 1 do item 3.3.2 do Materiais e Métodos.

Tabela 7- Características dos produtos extrusados de mandioca.

Ensaio	Índice de Expansão	Densidade (g/ml)	Textura (g/f)	Solubilidade (%)	Umidade (%)
1	4,68	0,150	597,1	53,05	6,3
2	4,67	0,154	773,4	62,77	6,9
3	4,07	0,150	822,3	56,39	7,5
4	5,1	0,109	694,5	63,02	6,3
5	4,77	0,150	818,2	49,28	7,6
6	4,37	0,280	1012	58,92	8,3
7	4,76	0,133	893,2	71,03	8,2
8	4,44	0,176	991,5	68,45	7,1
9	4,18	0,203	1002,7	56,74	8,2
10	4,46	0,124	1013,4	57,83	7,7
11	4,22	0,197	1015,3	55,08	7,1
12	4,04	0,196	1017,4	53,46	8,4
13	4,35	0,141	1015,2	37,33	7,3
14	4,09	0,167	1019,6	30,33	9,4
15	4,05	0,170	1020,9	29,97	9,7
16*	-	-	-	-	-
17*	-	-	-	-	-
18*	-	-	-	-	-

* Não foi possível processar essas misturas conforme explicado no item 4.2 do Materiais e Métodos.

Tabela 8- Características dos produtos extrusados de batata doce.

Ensaio	Índice de Expansão	Densidade (g/ml)	Textura (g/f)	Solubilidade (%)	Umidade (%)
19	4,02	0,144	733,1	59,72	6,3
20	3,60	0,121	763,9	35,15	6,9
21	3,45	0,129	992,3	35,16	7,5
22	3,88	0,117	904,9	37,61	6,3
23	3,76	0,126	1006,2	47,07	7,6
24	3,53	0,134	1009,6	42,96	8,3
25	3,78	0,118	852,2	47,28	8,2
26	3,67	0,167	1006,4	39,2	7,1
27	3,61	0,151	1008,8	46,27	8,2
28	3,66	0,136	954,6	38,96	7,7
29	3,61	0,148	1002,5	36,9	7,1
30	3,42	0,156	1004,3	30,65	8,4
31	3,48	0,129	970,3	28,13	7,3
32	3,43	0,162	1005,2	39,9	9,4
33	3,32	0,167	1011,6	40,27	8,0
34	3,11	0,137	982,1	34,39	8,1
35	3,05	0,159	1006,8	34,4	8,3
36	3,02	0,172	1020,4	36,62	9,8

A expansibilidade é uma característica física desejável nestes produtos. Nos gráficos das Figuras 7 e 8, pode-se observar essa variável em relação à

porcentagem de farinha de mandioca e o teor de umidade nas misturas. Nos gráficos das Figuras 9 e 10, as mesmas observações em relação à matéria-prima batata doce.

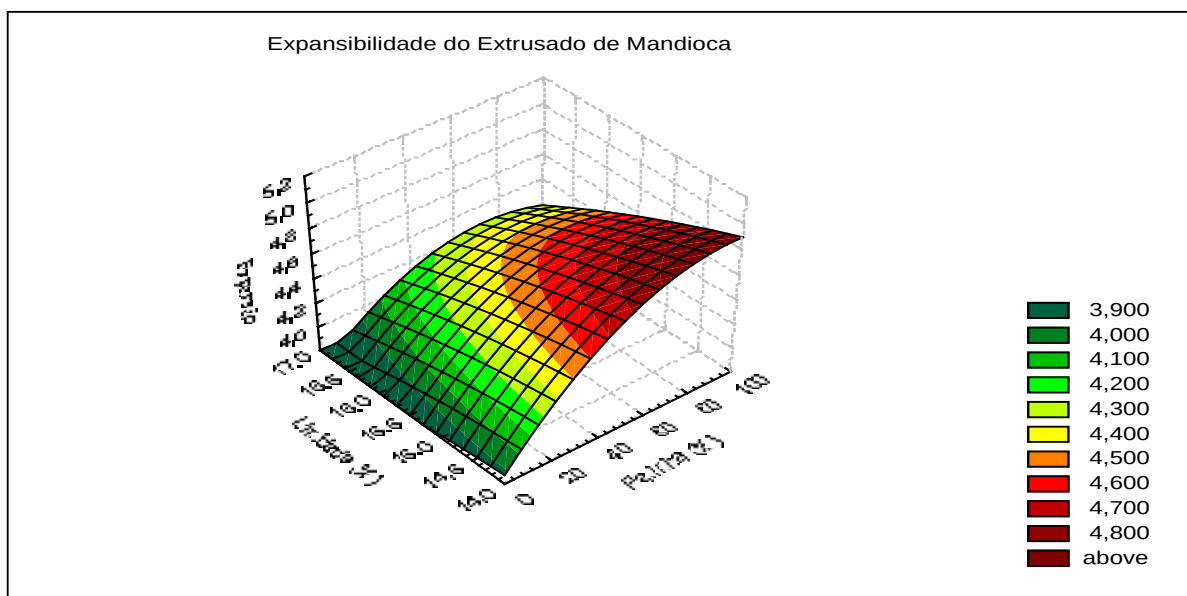


Figura 7- Gráfico da superfície de resposta do índice de expansão em função da concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.

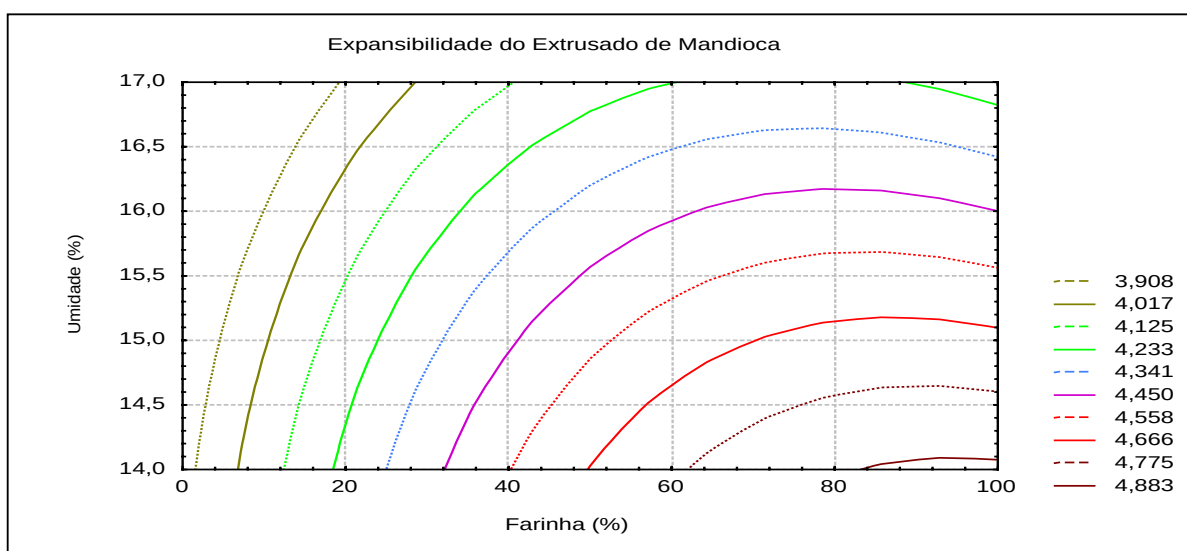


Figura 8- Gráfico da superfície de contorno do índice de expansão em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.

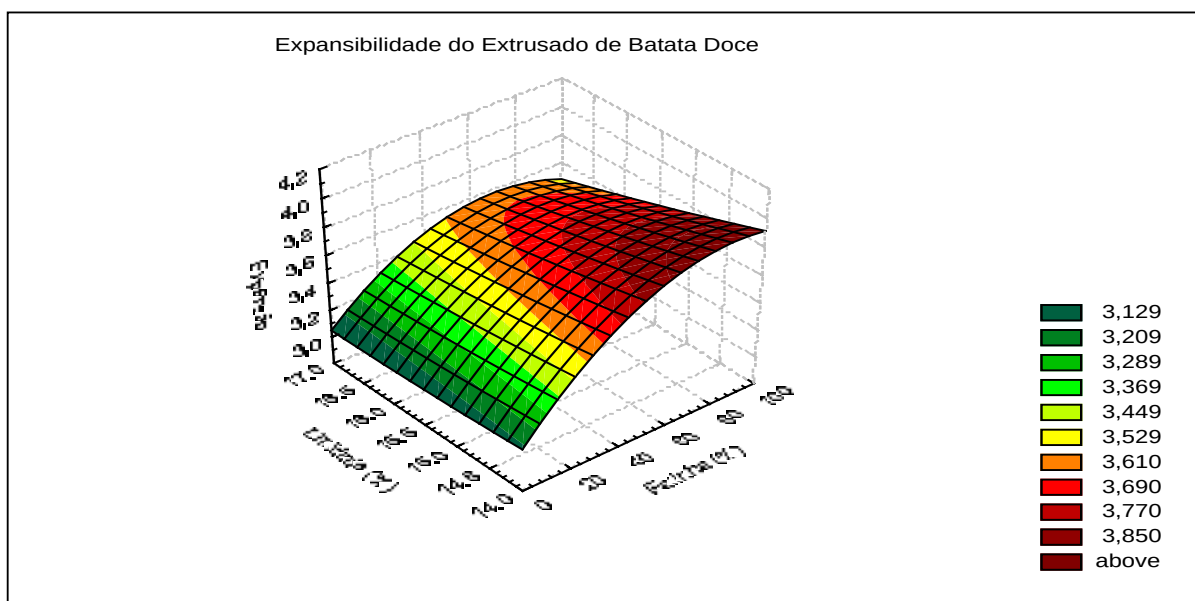


Figura 9- Gráfico da superfície de resposta do índice de expansão em função da concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.

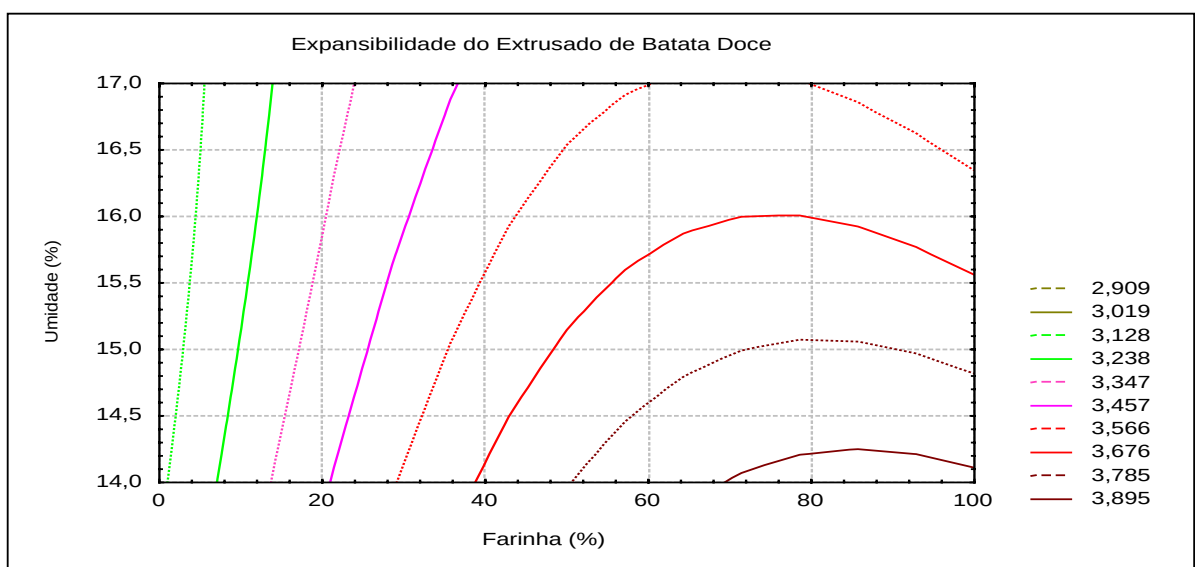


Figura 10- Gráfico da superfície de contorno do índice de expansão em função da concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.

Analisando os gráficos observa-se que a expansibilidade aumenta à medida que o conteúdo de umidade decresce até em torno de 14%, fenômeno também observado por Chinnaswamy & Hanna (1988). Também no trabalho realizado por Alves & Grossmann (2002) com farinha de cará, a expansão aumentou quando se trabalhou com valores baixos de umidade e de temperatura.

Conforme aumenta a concentração de farinha de mandioca na mistura, o índice de expansão também aumenta e isto é devido à presença de maior concentração de materiais lignocelulósicos presentes na farinha mandioca que expandem-se muito mais que o amido quando sofrem a rápida descompressão na saída do orifício de trefilação da extrusora. Esta dedução decorre da similaridade de comportamento aplicado no tratamento de material lignocelulosico denominado “steam exploded”, onde uma rápida descompressão expande o material fragmentando e solubilizando hemiceluloses, ligninas e outros, reduzindo a cristalinidade celulósica e aumentando a porosidade do material (Sun & Cheng, 2002).

O aumento do índice de expansão com o aumento da concentração de farinha na mistura extrusada também é justificada pelo fato da farinha apresentar maior granulometria em relação a fécula. Ascheri (1995), cita que o tamanho das partículas extrusadas é um fator importante na expansão do produto. As partículas pequenas são mais rapidamente fundidas e a massa resultante, de viscosidade baixa, não é transportada apropriadamente através da rosca de extrusão.

A umidade inicial da matéria-prima extrusada esta relacionada ao índice de expansão porque, conforme Ascheri (1995), o aumento dessa umidade provoca um decréscimo na viscosidade do produto, que tem como primeiro efeito o abaixamento da geração de calor e, como segundo efeito, o decréscimo da pressão do produto na saída pela matriz. Gujska & Khan (1991), citados Alves e Grossmann (2002), sugeriram que o grau de expansão afeta a densidade, a fragilidade e a textura dos produtos extrusados e portanto, o grau de expansão é um fator importante a ser monitorado na produção de extrusados.

A Tabela 9 fornece os valores da análise de variância (ANOVA) para o índice de expansão em função da concentração de farinha de mandioca nas misturas e em diferentes umidades, onde pelo teste $F_{\text{estatístico}} = 4,46 \cdot F_{\text{tabelado}}$, mostrando a validade do ajuste do modelo. Da mesma forma, a Tabela 10 fornece os valores da análise de variância (ANOVA) para o Índice de Expansão em função da concentração de farinha de batata doce nas misturas e em diferentes umidades, onde pelo teste $F_{\text{estatístico}} = 6,56 \cdot F_{\text{tabelado}}$, mostrando a validade do ajuste do modelo.

Tabela 9: ANOVA do Índice de expansão dos produtos das misturas de farinha de mandioca com diferentes umidades.

FONTE	Grau Liberdade	Soma Quadrados	Média Quadrados	F estatístico	Variância R^2
Regressão	2	1,07777	0,53889	17,36663	0,74322
Resíduo	12	0,37236	0,03103		
Soma	14	1,45013			
Valor F_{tabelado} para nível significância de 95% $F(2,12) = 3,89$					

Tabela 10: ANOVA do Índice de expansão dos produtos das misturas de farinha de batata doce com diferentes umidades.

FONTE	Grau Liberdade	Soma Quadrados	Média Quadrados	F estatístico	Variância R^2
Regressão	2	0,97988	0,48994	24,1567	0,76308
Resíduo	15	0,30423	0,02028		
Soma	17	1,28411			
Valor F_{tabelado} para nível significância de 95% $F(2,15) = 3,68$					

Segundo Neto et al. (1995), quanto maior o valor de $F_{\text{estatístico}}$ quando comparado com o F_{tabelado} , melhor será o ajuste do modelo aos dados experimentais. Quanto à porcentagem de variância explicada (R^2), observam que quanto maior o valor, aproximando-se de 1, melhor os valores medidos nos ensaios são explicados pelo modelo.

Observando os gráficos das Figuras 11 e 12 que relacionam a densidade do material extrudado com a porcentagem de farinha de mandioca e o teor de umidade nas misturas, e também os gráficos das Figuras 13 e 14 que relacionam a densidade do material extrudado com a porcentagem de farinha de batata doce e o teor de umidade nas misturas, verifica-se que os produtos mais densos ocorrem com elevados teores de umidade e concentrações intermediárias de farinhas. Uma explicação para este fenômeno seria devido ao fato da gelatinização parcial do amido ser controlada pela água disponível. Quanto maior a gelatinização, mais espaços são preenchidos pelos amidos geleificados, tornando a estrutura mais compacta e menos porosa, pois os biscoitos apresentam estrutura plástica quando sai da extrusora e vai perdendo a água “acomodando” sua estrutura que passa a ser rígida.

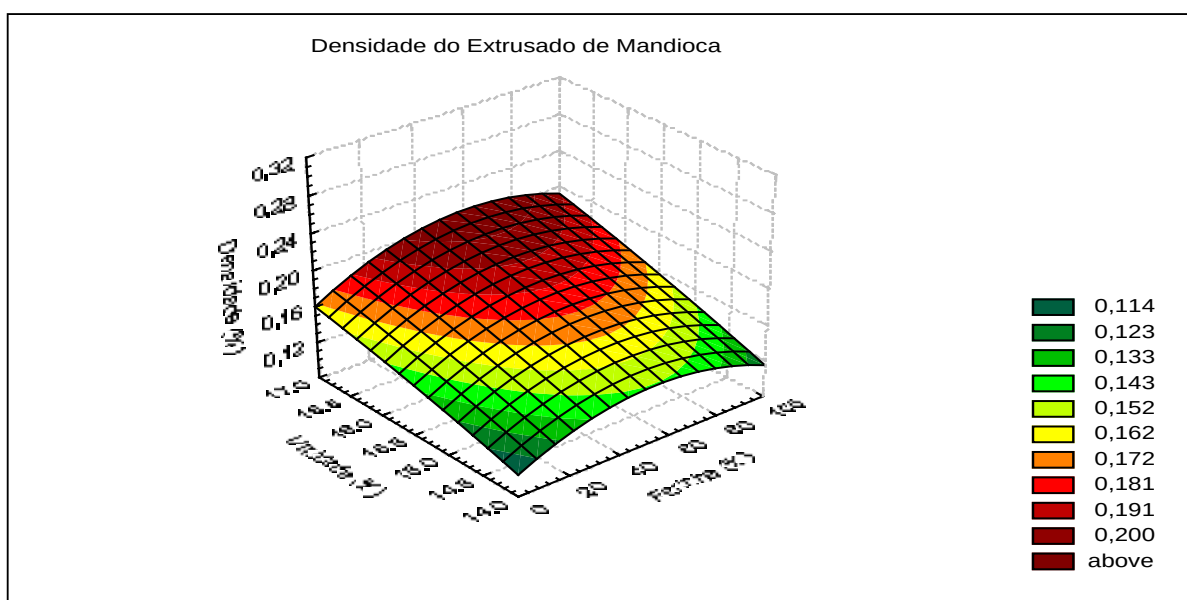


Figura 11 - Gráfico da superfície de resposta da densidade em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.

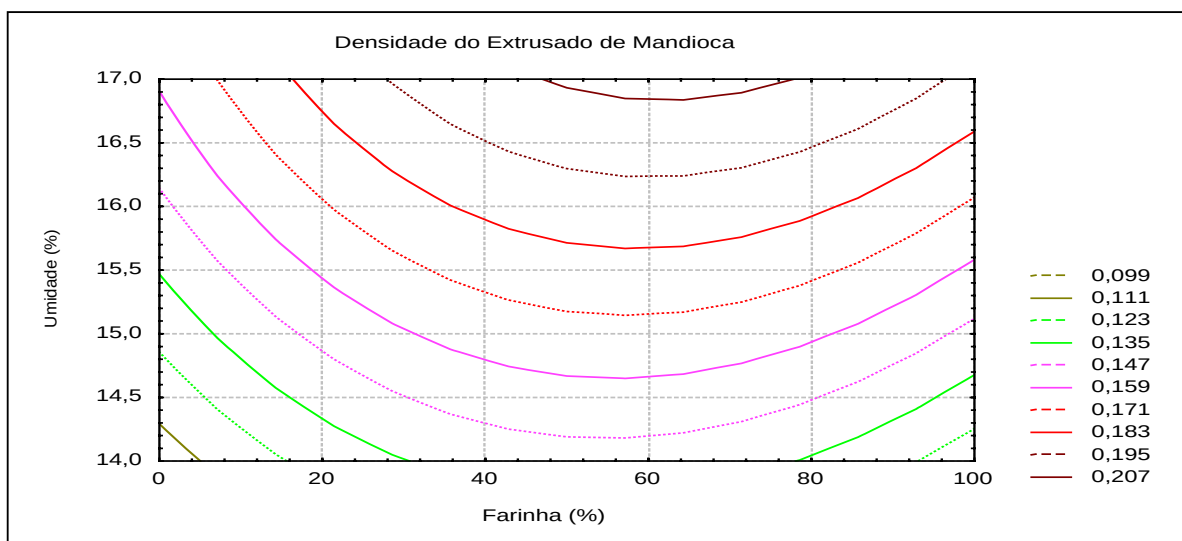


Figura 12 - Gráfico da superfície de contorno da densidade em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.

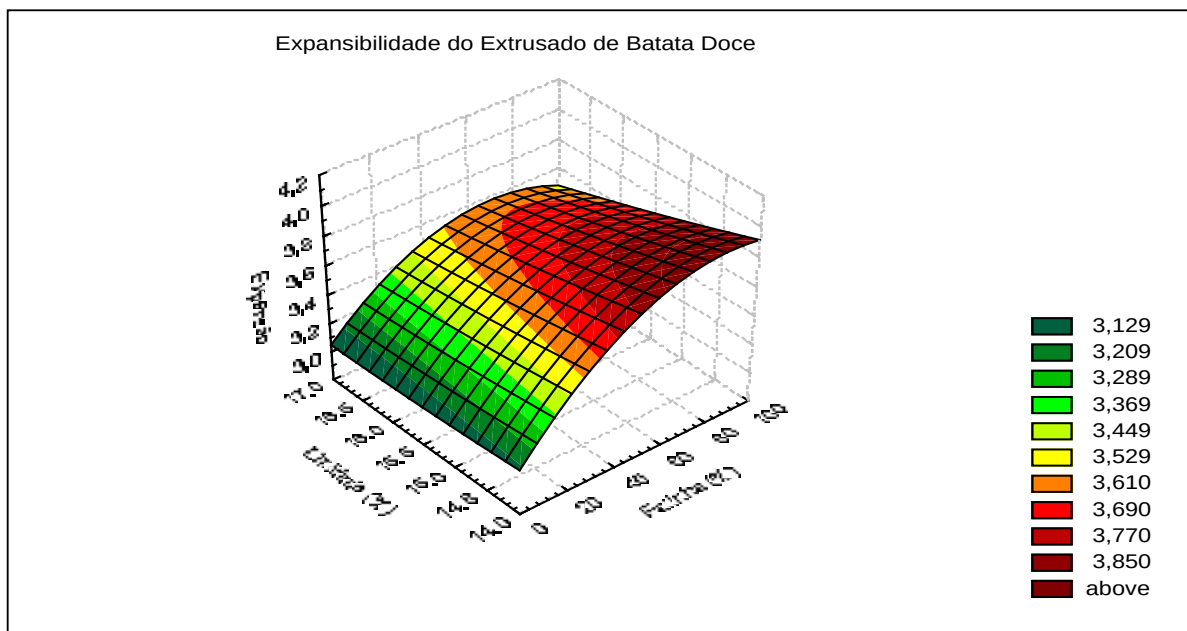


Figura 13 - Gráfico da superfície de resposta da densidade em função da concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.

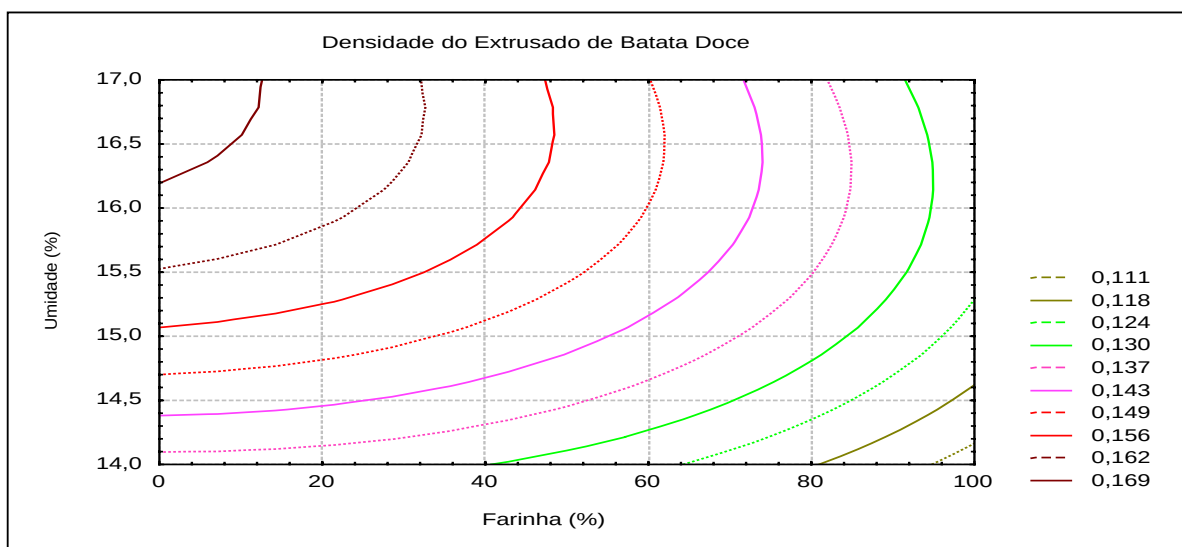


Figura 14 - Gráfico da superfície de contorno da densidade em função concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.

Conforme Gujska & Khan (1991) citado por Alves e Grossmann (2002), observamos que o grau de expansão afeta a densidade dos produtos de maneira inversa. Produtos com menor densidade foram obtidos em amostras processadas em níveis menores de umidade. Bradie & Mellowes (1991) também observaram que a umidade foi fator de significância na densidade dos extrusados de farinha de mandioca.

Bhattacharya & Choudhury (1994) afirmam que expansão e volume são relacionados com a gelatinização do amido, pois um aumento na gelatinização aumenta a expansão e diminui a densidade, conforme verificado também nos ensaios realizados.

Na Tabela 11, são demonstrados os valores de análise de variância (ANOVA) para a densidade em função da concentração de farinha de mandioca nas misturas e em diferentes umidades, onde pelo teste $F_{\text{estatístico}} = 1,48 \cdot F_{\text{tabelado}}$.

Tabela 11: ANOVA da densidade dos produtos das misturas de farinha de mandioca com diferentes umidades.

FONTE	Grau Liberdade	Soma Quadrados	Média Quadrados	F estatístico	Variância R ²
Regressão	2	0,01172	0,00586	5,73689	0,48879
Resíduo	12	0,01226	0,00102		
Soma	14	0,02398			
Valor F _{tabelado} para nível significância de 95% F(2,12) = 3,89					

Na Tabela 12, são demonstrados os valores de análise de variância (ANOVA) para a densidade em função da concentração de farinha de batata doce nas misturas e em diferentes umidades, onde pelo teste $F_{\text{estatístico}} = 7,24 \cdot F_{\text{tabelado}}$.

Tabela 12: ANOVA da densidade dos produtos das misturas de farinha de batata doce com diferentes umidades.

FONTE	Grau Liberdade	Soma Quadrados	Média Quadrados	F estatístico	Variância R ²
Regressão	2	0,00498	0,00249	27,07944	0,7946
Resíduo	14	0,00129	0,000091965		
Soma	16	0,00627			
Valor F _{tabelado} para nível significância de 95% F(2,14) = 3,74					

Nos gráficos das Figuras 15 e 16 pode-se observar o efeito da umidade e concentração relativa de farinha de mandioca na solubilidade dos produtos extrusados.

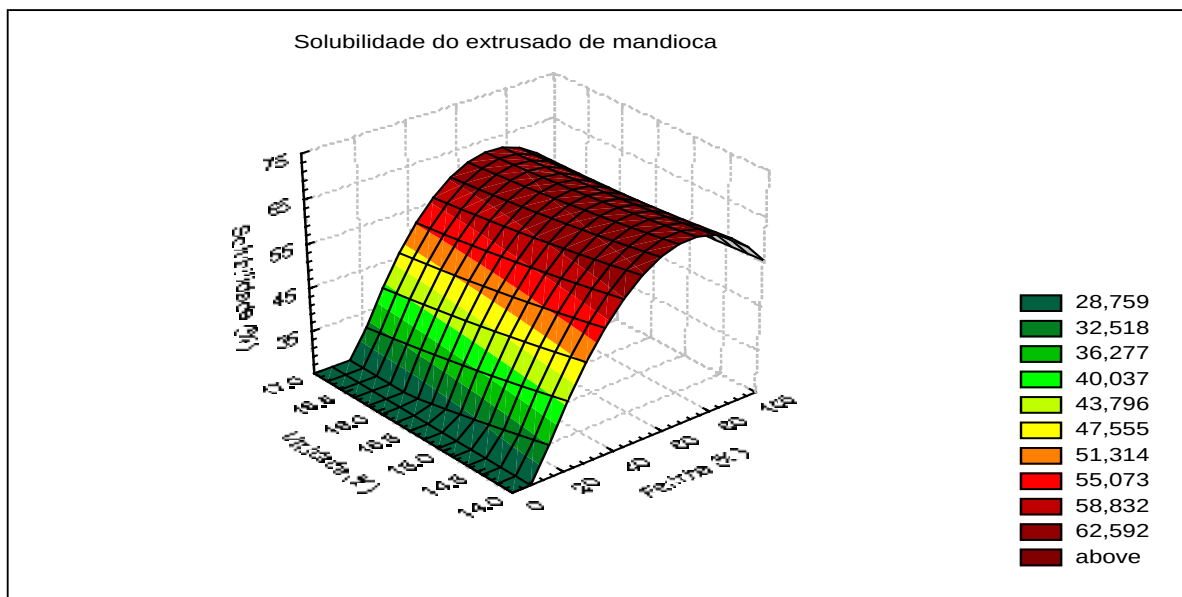


Figura 15 - Gráfico da superfície de resposta da solubilidade em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura

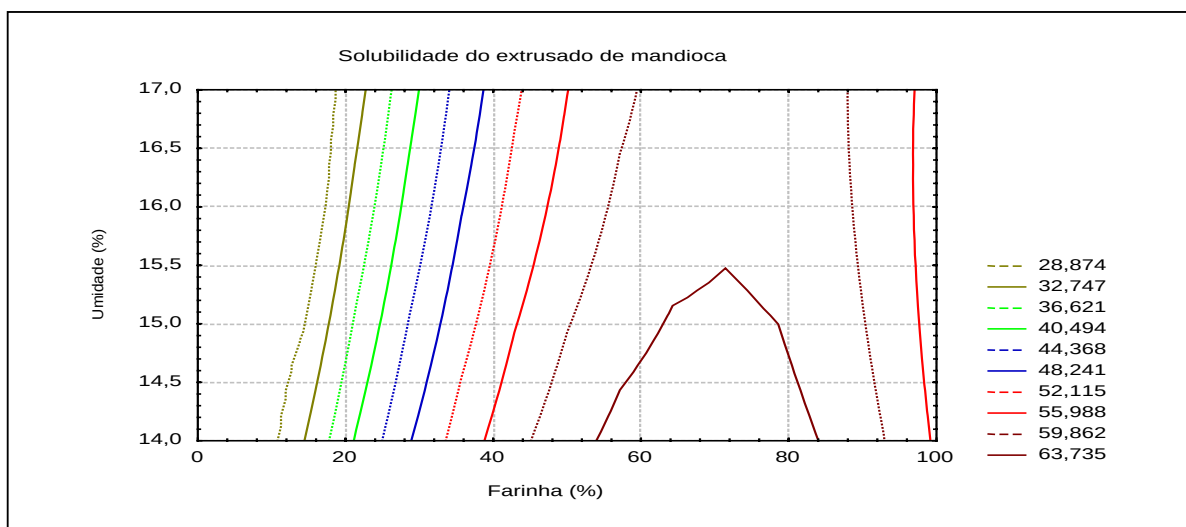


Figura 16 - Gráfico da superfície de contorno da solubilidade em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.

Nos gráficos das Figuras 17 e 18 pode-se observar o efeito da umidade e concentração relativa de farinha de batata doce na solubilidade dos produtos extrusados.

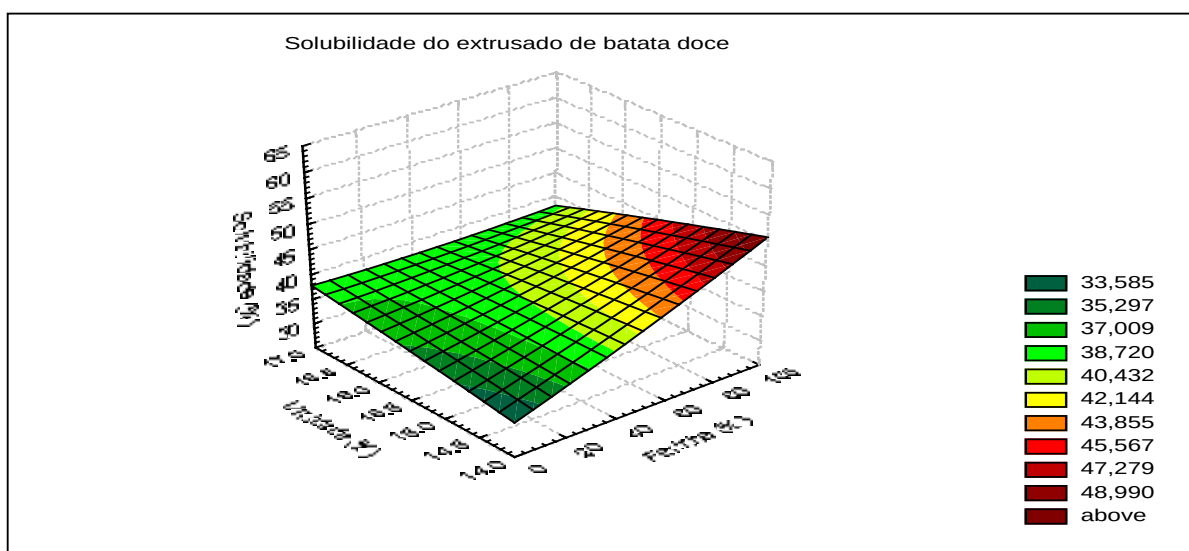


Figura 17 - Gráfico da superfície de resposta da solubilidade em função concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.

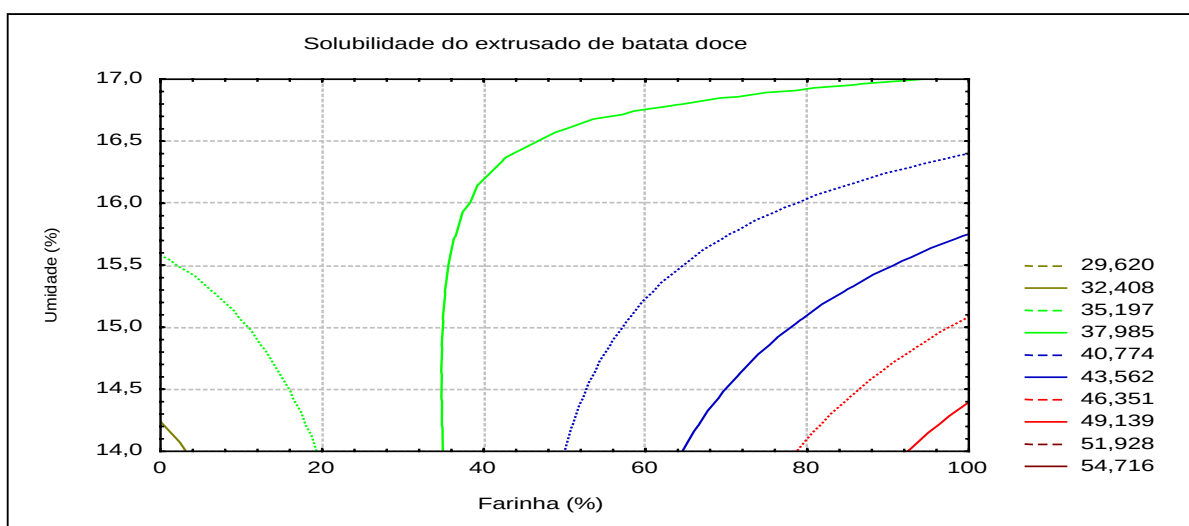


Figura 18 - Gráfico da superfície de contorno da solubilidade em função concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.

A solubilidade dos biscoitos expandidos a partir misturas de farinha e fécula de mandioca foi maior nas misturas com teores intermediários de farinha e umidades mais baixas. A solubilidade dos biscoitos expandidos a partir misturas de farinha e fécula de batata doce foi maior nas misturas com teores elevados de farinha e umidades mais baixas. O efeito da umidade não foi de grande significância, como no trabalho de Ding (2005), onde a umidade crescente resultou em uma acentuada diminuição na solubilidade.

Na Tabela 13, são demonstrados os valores de análise de variância (ANOVA) para a densidade em função da concentração de farinha de mandioca nas misturas e em diferentes umidades, onde pelo teste $F_{\text{estatístico}} = 1,05 \cdot F_{\text{tabelado}}$. Na Tabela 14, são demonstrados os valores de análise de variância (ANOVA) para a densidade em função da concentração de farinha de batata doce nas misturas e em diferentes umidades, onde pelo teste $F_{\text{estatístico}} = 0,68 \cdot F_{\text{tabelado}}$.

Tabela 13: ANOVA da solubilidade dos produtos das misturas de farinha de mandioca com diferentes umidades.

FONTE	Grau Liberdade	Soma Quadrados	Média Quadrados	F estatístico	Variância R^2
Regressão	2	862,35284	431,17642	4,02847	0,4017
Resíduo	12	1284,38829	107,03236		
Soma	14	2146,74113			
Valor F_{tabelado} para nível significância de 95% $F(2,12) = 3,89$					

Tabela 14: ANOVA da solubilidade dos produtos das misturas de farinha de batata doce com diferentes umidades.

FONTE	Grau Liberdade	Soma Quadrados	Média Quadrados	F estatístico	Variância R ²
Regressão	2	225,86118	112,93059	2,50784	0,25059
Resíduo	15	675,46465	45,03098		
Soma	17	901,32583			
Valor F _{tabelado} para nível significância de 95% F(2,15) = 3,68					

A falta de ajuste ($r=0,25$) está relacionada à dificuldade da metodologia em reproduzir resultados.

Nos gráficos das Figuras 19 e 20 pode-se observar o efeito da umidade e concentração relativa de farinha de mandioca na firmeza dos produtos extrusados.

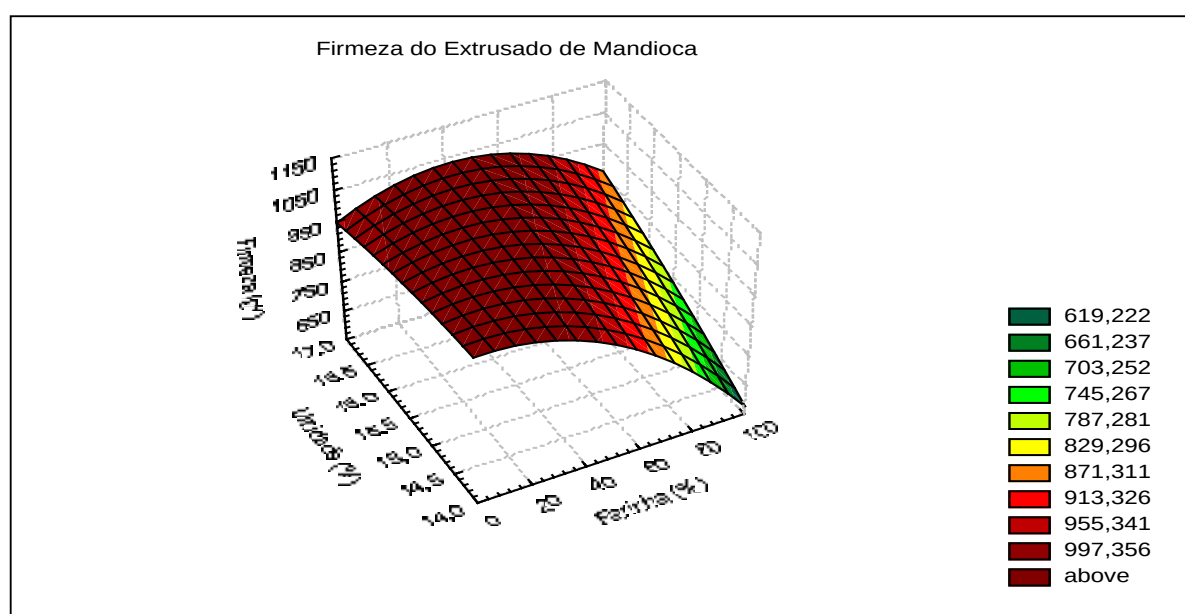


Figura 19 - Gráfico da superfície de resposta da firmeza em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.

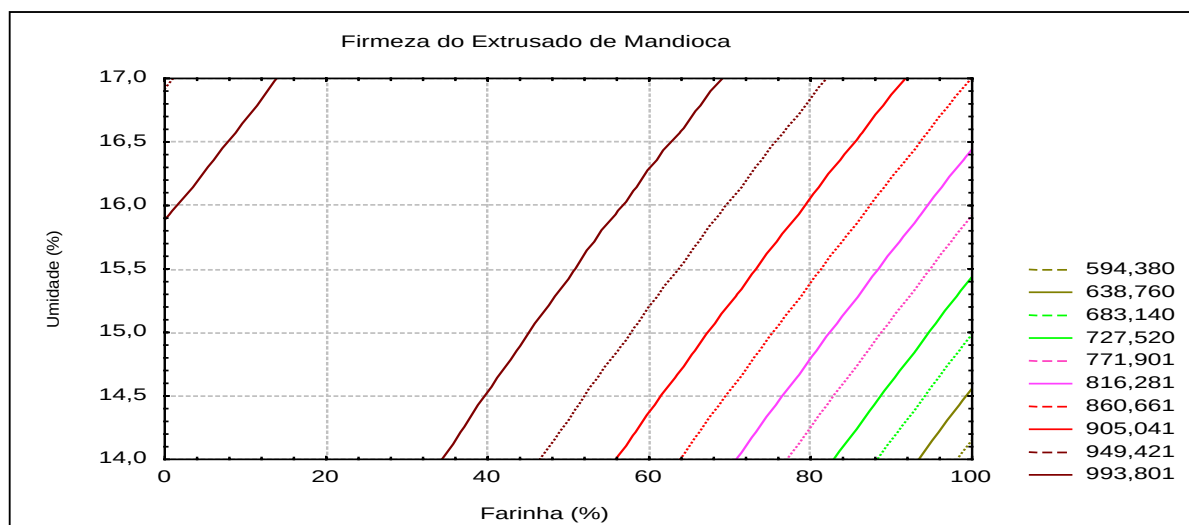


Figura 20 - Gráfico da superfície de contorno da firmeza em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.

Nos gráficos das Figuras 21 e 22 pode-se observar o efeito da umidade e concentração relativa de farinha de batata doce na firmeza dos produtos extrusados.

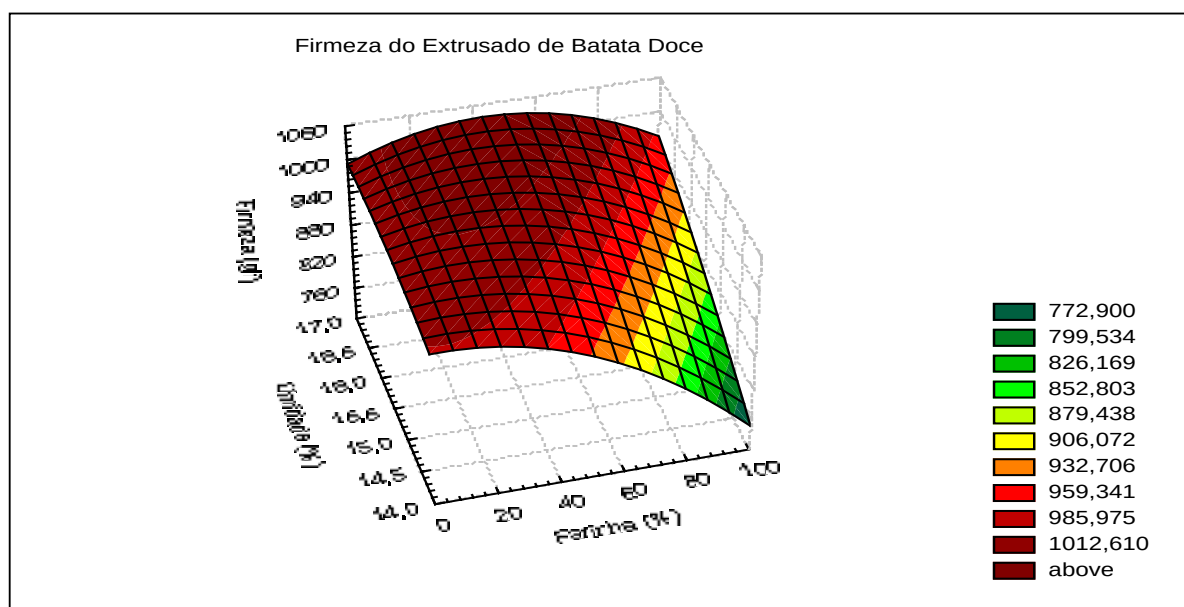


Figura 21 - Gráfico da superfície de resposta da firmeza em função concentração de farinha e fécula de batata doce e umidade dessa mistura.

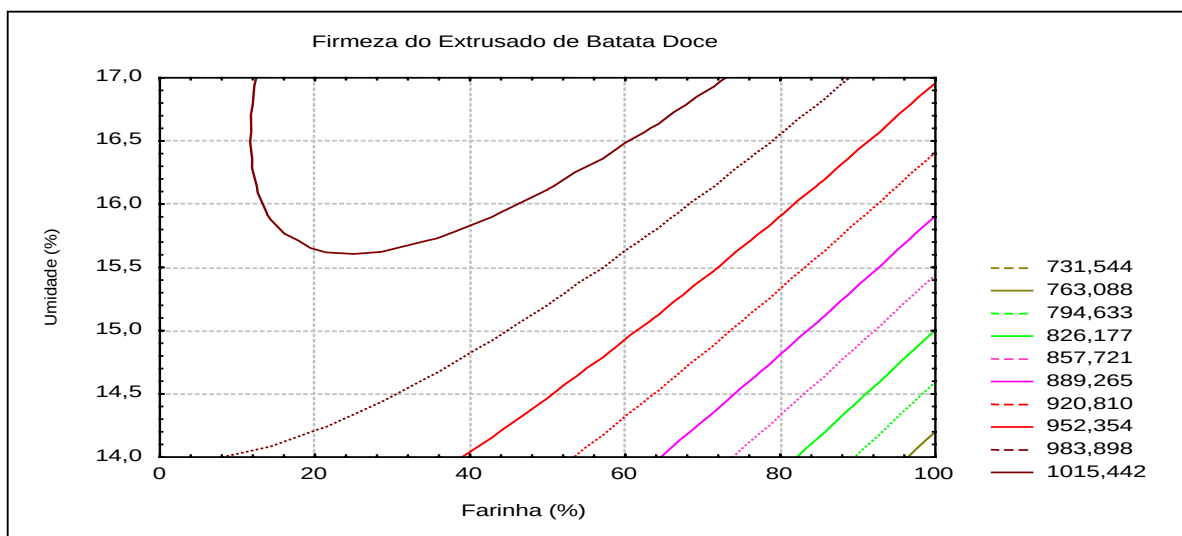


Figura 22 - Gráfico da superfície de contorno da firmeza em função concentração de farinha e fécula de mandioca e umidade dessa mistura.

Observa-se que as menores firmezas foram obtidas a partir de misturas com maiores porcentagens de farinhas e menores umidades, tanto para as misturas utilizando mandioca como as misturas utilizando batata doce. Verificou-se, como esperado, uma relação direta entre o índice de expansão e a firmeza. O conteúdo de umidade exerce fundamental influência no grau de expansão e nas propriedades físicas e de textura dos produtos extrusados (Chiang & Johnson, 1977; Mercier & Feillet, 1975; Case et al., 1993). Baixos níveis de umidade resultaram em altas taxas de expansão e, conseqüentemente, melhores texturas.

Toft (1979) também observou em seus estudos que, para conseguir uma alta expansão e textura agradável, a produção de extrusados é feita com umidade baixa e condições de alta temperatura de extrusão, nas quais as alterações significativas do amido ocorrem.

A Tabela 15 fornece os valores da análise de variância (ANOVA) para a firmeza em função da concentração de farinha de mandioca nas misturas e em diferentes umidades, onde pelo teste $F_{\text{estatístico}} = 5,3 \cdot F_{\text{tabelado}}$, mostrando a validade do ajuste do modelo. Da mesma forma, a Tabela 16 fornece os valores da análise de variância (ANOVA) para a textura em função da concentração de farinha de batata doce nas misturas e

em diferentes umidades, onde pelo teste $F_{\text{estatístico}} = 2,8 \cdot F_{\text{tabelado}}$, mostrando a validade do ajuste do modelo.

Tabela 15: ANOVA da textura dos produtos das misturas de farinha de mandioca com diferentes umidades.

FONTE	Grau Liberdade	Soma Quadrados	Média Quadrados	F estatístico	Variância R^2
Regressão	2	212141,42	106070,71	20,73611	0,77558
Resíduo	12	61383,20	5115,27		
Soma	14	273524,62			
Valor F_{tabelado} para nível significância de 95% $F(2,12) = 3,89$					

Tabela 16: ANOVA da Textura dos produtos das misturas de farinha de batata doce com diferentes umidades.

FONTE	Grau Liberdade	Soma Quadrados	Média Quadrados	F estatístico	Variância R^2
Regressão	2	75046,70	37523,35	10,31879	0,5791
Resíduo	15	54546,16	3636,41		
Soma	17	129592,86			
Valor F_{tabelado} para nível significância de 95% $F(2,15) = 3,68$					

Observa-se nestes resultados que o comportamento das misturas de mandioca estão melhor correlacionados, ou seja, explicados pelo modelo do que as misturas de batata doce. A primeira tem valor do teste F superior aos valores estatísticos em 5,3 vezes e variância explicada de 0,77 enquanto a outra apresenta valores de 2,8 e 0,57 respectivamente.

Conforme afirmam Colonna, Tayeb e Mercier (1989), a textura é um fator de grande peso na comercialização de produtos extrusados, sendo esta influenciada pelas condições de extrusão de cada indústria e pelas características da matéria-prima utilizada.

Segundo Mendonça et al. (1998), o que se deseja em produtos extrusados com boas características de textura é que os valores de dureza sejam baixos, pois a sensação tátil na mastigação é mais agradável.

No gráfico da figura 23, foram plotados os valores das texturas dos biscoitos expandidos de todos os tratamentos de mandioca e de batata doce e a textura medida de um biscoito extrusado de milho da marca líder de mercado. O ensaio número 1 apresentou o menor valor de firmeza de todos os ensaios, e no entanto, é quase o triplo da firmeza da amostra do biscoito expandido de milho, porém o extrusado de milho apresenta umidade inferior ($U=3,2\%$), o que favorece sua crocância.

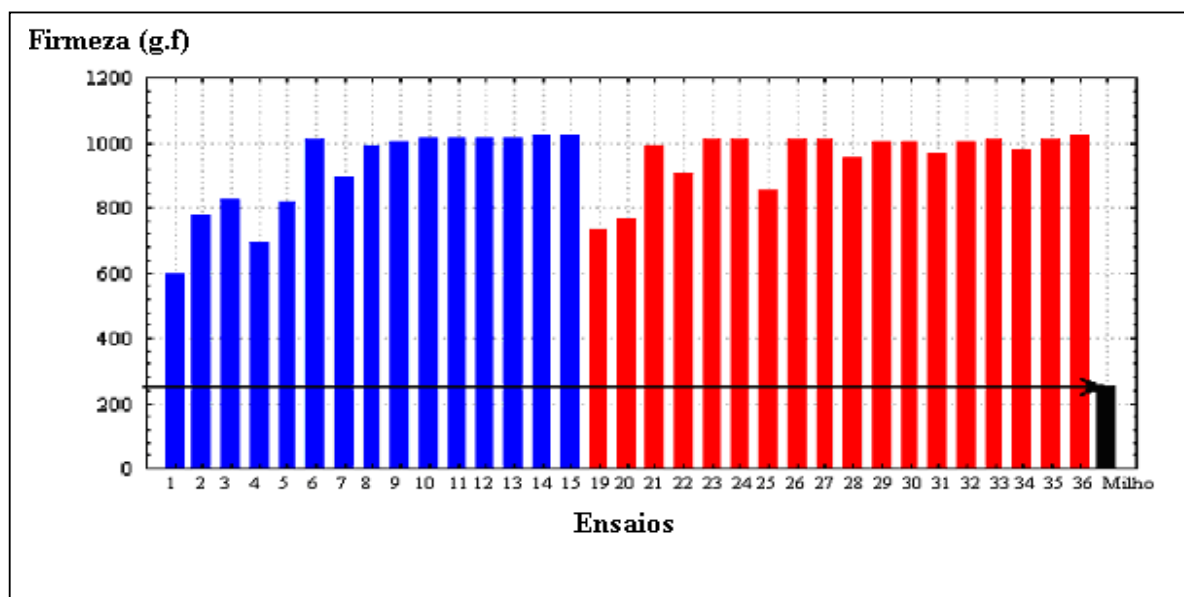


Figura 23 - Gráfico de barras das firmezas dos biscoitos extrusados de mandioca, batata doce e amostra de produto comercial de milho.

A avaliação dos atributos dá a grandeza, intensidade da sensação e a direção das diferenças entre as amostras. Através dos termos hedônicos atribuídos em valores de 1 a 9, foi possível identificar as amostras que diferem entre si e qual amostra apresenta maior intensidade do atributo sensorial que esta sendo avaliado (Monteiro, 1984; Dutcoski, 1996).

Foram selecionados cinco tratamentos de cada matéria-prima que apresentaram maiores índices de expansão e foram utilizadas amostras para a realização da análise sensorial, conforme descrita no item 3.6.2 do Material e Métodos. No gráfico da figura 24, observa-se a aceitabilidade dos produtos extrusados conforme a análise.

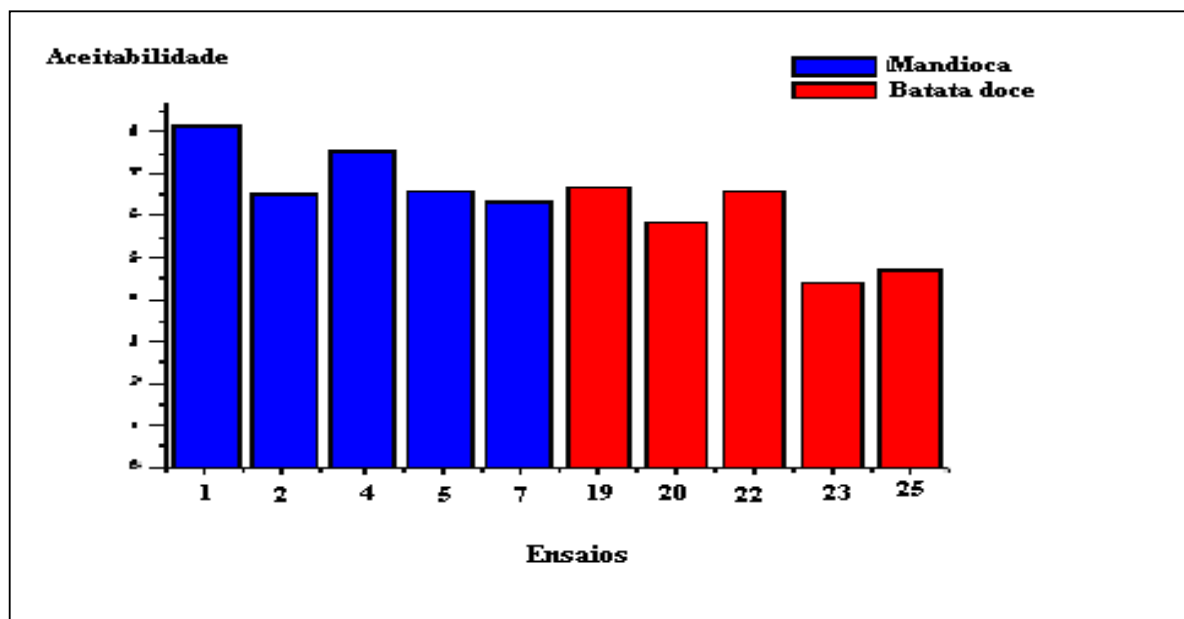


Figura 24 - Gráfico de barras da aceitabilidade dos biscoitos extrusados de mandioca e batata doce.

Observamos no gráfico que os biscoitos expandidos de maior aceitabilidade foram os extrusados a partir da mistura com 100% de farinha de mandioca com 14% de umidade. A aceitabilidade decresce quando aumenta a porcentagem de fécula e a umidade da mistura extrusada. Comparando os gráficos das figuras 23 e 24, observamos também a relação da aceitabilidade do produto com a firmeza, confirmando com as afirmações de Mendonça et al. (1998).

O extrusado de milho de marca líder de mercado apresenta firmeza bastante inferior aos produtos extrudados de mandioca e batata doce. O grits de milho apresenta granulometria maior e características que lhe proporcionam uma maior expansão. O extrudado de milho não foi submetido à análise sensorial para comparação da sua

aceitabilidade porque sendo um produto de grande popularidade, poderia induzir a preferência. Apesar do extrudado de milho ter menor textura, apresenta uma característica de pegajosidade, conferindo uma sensação ao consumidor que o descreve como semelhante a uma porção de “isopor”.

É importante ressaltar que a comparação é com relação à textura, pois trata-se de produtos distintos e portanto, com características próprias como aroma, solubilidade na boca, mastigação, etc, não sendo possível afirmar superioridades ou defeitos entre eles.

Na Figura 25 pode-se observar a aparência dos biscoitos expandidos de milho, mandioca e batata doce. É possível observa-se a variação de cor e expansibilidade dos produtos extrusados. É importante ressaltar que o formato pode variar tornando-o mais curto e diminuindo a rugosidade superficial.



Figura 25- Biscoitos expandidos de milho, mandioca e batata doce, extrusados sob as mesmas condições de processo.

Nas Figuras 26 e 27, pode-se observar os extrusados de mandioca e de batata doce. Foram fotografados os biscoitos expandidos provenientes dos cinco ensaios indicados, tanto para mandioca como para a batata doce.



Figura 26- Amostras de biscoitos expandidos das misturas de mandioca referentes aos ensaios 1, 2, 4, 5 e 7.



Figura 27- Amostras de biscoitos expandidos das misturas de mandioca referentes aos ensaios 19, 20, 22, 23 e 25.

4.2.2- Digestibilidade dos produtos extrusados

Na Tabela 17 pode-se observar o conteúdo de amido total e conteúdo de amido resistente encontrados nos produtos extrusados a partir das misturas de féculas com farinhas de mandioca e batata doce.

Tabela 17- Conteúdo de amido total e amido resistente em amostras de biscoitos expandidos obtidos nos ensaios.

MANDIOCA			BATATA DOCE		
Tratamentos	AT (%)	AR (%)	Tratamentos	AT (%)	AR (%)
1	55,2	0,43	19	55	0,65
2	52,4	0,57	20	55,2	0,68
3	55,9	0,51	21	52,8	0,88
4	62,1	0,42	22	52,6	0,59
5	69,2	0,4	23	55,5	0,68
6	64,3	0,4	24	52,2	0,77
7	63,8	0,52	25	51,2	0,59
8	64,3	0,45	26	51,8	0,55
9	61	0,66	27	56,5	0,52
10	60,2	0,43	28	52,2	0,48
11	58,1	0,45	29	52,2	0,4
12	61,9	0,25	30	53,6	0,41
13	61,3	0,69	31	54,9	0,52
14	60,5	0,58	32	56,6	0,48
15	59,1	0,61	33	56,6	0,48
16*	-	-	34	62,7	0,51
17*	-	-	35	62,1	0,36
18*	-	-	36	65,5	0,25

* Não foi possível processar essas misturas conforme explicado no item 4.2 do Materiais e Métodos.

Colonna et al. (1992) afirmam que com o processamento do alimento amiláceo ocorrem alterações na estrutura do amido que influenciam profundamente as suas propriedades funcionais e fisiológicas. Portanto, com o processo de extrusão, ocorreram

alterações no conteúdo de amidos resistentes do material processado, conforme pode ser observado nos dados expostos na Tabela 15.

O processo de extrusão ocorre em altas temperaturas, provocando a gelatinização do amido e com a gelatinização, o amido torna-se mais facilmente acessível à ação das enzimas digestivas. Porém, alguns pesquisadores (SILVERT & POMERANZ, 1989; EERLINGEN, CROMBEZ & DELCOUR, 1993; EERLINGEN, JACOBS & DELCOUR, 1994) demonstraram que a retrogradação do amido gelatinizado induz a formação do amido resistente.

A literatura sobre amido resistente em produtos amiláceos extrusados é contrastante. Alguns pesquisadores relatam a formação de amido resistente durante a extrusão da farinha de cereal (UNIU & FALLER, 1998; HUTH ET AL., 2000) enquanto outros não mostram nenhuma formação de amido resistente durante a extrusão da farinha de cereal (OSTERGARD, BJORCK, & VAINIONPAA, 1989; PARCHURE & KULKARNI, 1997).

Analizando os resultados da Tabela 15, verifica-se uma forte diminuição do conteúdo de amidos resistentes nos biscoitos extrusados, tanto com relação às misturas de farinhas da mandioca como da batata doce. Da mesma forma que verificamos uma forte diminuição na concentração dos amidos resistentes com o processo de extrusão de mandioca e batata doce, Parchure & Kulkarni (1997) relataram uma diminuição no índice de amido resistente após o processo de extrusão de arroz e Siljestrom et al. (1986) observaram uma diminuição do índice de amido resistente (RS3) da farinha de trigo extrusada. Vasanthan et al.(2002) também cita uma diminuição do índice de amido resistente devido ao processo de extrusão. Uma provável explicação para o fato da diminuição dos amidos resistentes seria a eliminação de parte da água dos biscoitos expandidos ocorrer rapidamente na saída da matriz de trefilação; e deste modo, não dando condições para que o amido gelatinizado reorganizasse as cadeias dos polissacarídeos seguindo acomodações físico-químicas na sua recristalização.

As Tabelas 18 e 19 apresentam os resultados obtidos nos ensaios da cinética da digestibilidade dos amidos dos produtos extrusados e das matérias-primas processadas, conforme metodologia exposta no item 3.6.5 do Material e Métodos.

Tabela 18- Cinética da digestibilidade em amostras de biscoitos expandidos obtidos nos ensaios com as misturas de mandioca.

TEMPO (min.)	% AMIDO DIGERIDO										
	0	0,1	3	8	15	25	40	60	90	120	150
Ensaio											
1	45,6	47	51	54	53,7	58,6	60,4	62,2	64	66,2	65,3
2	43,9	48,8	47,9	52,8	52,8	52,3	58,6	62,2	64,9	64	65,3
3	45,2	43,8	51,5	51,1	50,1	54	56,8	61,3	60	63,5	65,8
4	46,5	46,1	47,9	51	52,4	55,5	56,4	59,5	61,7	63,5	64,9
5	42	41,6	44,3	51	51,5	54,1	54,6	59,1	61,3	60	62,6
6	46,1	47,4	46,5	49,7	50,6	54,6	55	57,3	60,4	62,6	65,3
7	39,8	45,1	48,8	49,7	51	54,1	56	59,5	59,1	62,2	63,1
8	40,7	40,3	43,4	48,8	50,6	53,2	55,5	59,5	63,1	62,2	64
9	45,2	46,1	46,5	48,8	51,5	54,1	56,8	57,7	61,3	65,3	64
10	43,9	46,1	49,7	50,6	52,4	56	57,7	60,9	60	63,5	63,5
11	44,3	42,5	45,2	47,9	51,5	52,8	55,9	61,3	65,3	66,7	68
12	45,6	44,9	47,9	50,6	53,2	55,5	57,7	58,6	63,5	68	68,5
13	46,5	47,9	51,5	52,4	53,2	57,3	59,5	62,2	64,9	65,8	67,6
14	45,2	47	50,6	51,9	54,1	56,8	59,1	63,1	65,8	68,9	68,8
15	45,2	46,1	50,6	52,8	55	58,2	61,3	62,2	64,9	71,1	70,3
Farinha	9,4	8,1	12,1	23,3	26,9	34,9	36,2	41,6	44,3	47,9	51,9
Fécula	4,5	4,9	6,3	8,5	8,1	10,7	13,4	16,1	21	23,7	30

* Não foi possível processar essas misturas 16, 17 e 18 conforme explicado no item 4.2 do Material e Métodos.

Tabela 19- Cinética da digestibilidade em amostras de biscoitos expandidos obtidos nos ensaios com as misturas extrudados de batata doce.

TEMPO (min.)	% AMIDO DIGERIDO										
	0	0,1	3	8	15	25	40	60	90	120	150
Ensaio											
19	38	41,6	45,6	47,4	49,7	55	57,7	66,2	69,8	72	72,9
20	39,8	43	47	48,8	50,6	54,1	57,7	64	68	71,1	70,7
21	40,7	42,1	45,2	47,9	51,5	57,3	59,1	64,9	68,9	71,1	71,6
22	41,6	42,5	47	48,8	52,4	56,4	57,7	63,5	65,3	68,5	67,6
23	41,2	41,6	45,2	47,9	50,1	54,1	55,9	61,3	63,1	66,7	67,1
24	43	44,3	46,1	48,8	51,5	55,5	56,8	60,9	64	65,8	68
25	43,9	44,7	45,6	49,2	51	54,6	56,8	59,1	62,2	64,9	66,7
26	43	44,3	47	50,1	51,9	55,5	57,7	60	63,1	66,7	66,7
27	44,3	46,1	47,9	50,6	52,4	56,4	58,6	60,9	63,1	65,8	68
28	39,8	45,2	47	48,8	51,9	55	57,3	59,5	61,3	65,3	65,8
29	43	44,3	46,5	49,7	51,5	54,6	57,7	60,9	63,1	66,2	67,1
30	45,2	44,3	47	49,2	52,8	56,4	58,2	62,2	64,4	66,7	68,5
31	43	44,3	46,5	50,6	53,7	57,3	60	61,3	64	69,4	69,8
32	44,7	45,2	47,9	50,6	54,6	58,6	61,7	63,1	64,9	68,5	68,9
33	45,2	43,9	47,4	52,4	56,4	60,4	63,1	64,9	66,7	70,3	71,1
34	45,6	46,1	47,9	51,5	54,6	57,7	60,9	62,2	65,8	71,1	71,6
35	44,7	45,6	47,4	53,2	56,8	59,5	61,4	64,9	67,6	72,9	72
36	45,6	45,6	48,3	52,4	57,7	60,9	62,6	66,7	68,5	73,8	73,4
Farinha	17	22,8	25,1	30,4	33,1	37,1	36,7	39,4	47	48,8	51
Fécula	7,6	7,2	8,5	9,4	9	11,6	14,3	18,3	20,1	25,1	28,2

A adaptação da metodologia para obtenção da cinética da digestão dos amidos, baseada em um processo de hidrólise do amido *in vitro* proposto por Goni et al. (1997) fez-se necessária. Após muitos testes, a metodologia foi mantida igual até a etapa da hidrólise com α -amilase. A inativação da enzima foi substituída pela remoção do substrato através de uma etapa de filtragem e posterior congelamento. A hidrólise com amiloglicosidase e a quantificação do amido como glicose foram mantidas.

Foram selecionados os cinco tratamentos de melhor índice de expansão de cada matéria-prima para serem representados graficamente. Nos gráficos das Figuras 28 e 29, pode-se visualizar a digestibilidade dos produtos extrusados e a digestibilidade das matérias-primas antes do processo de extrusão.

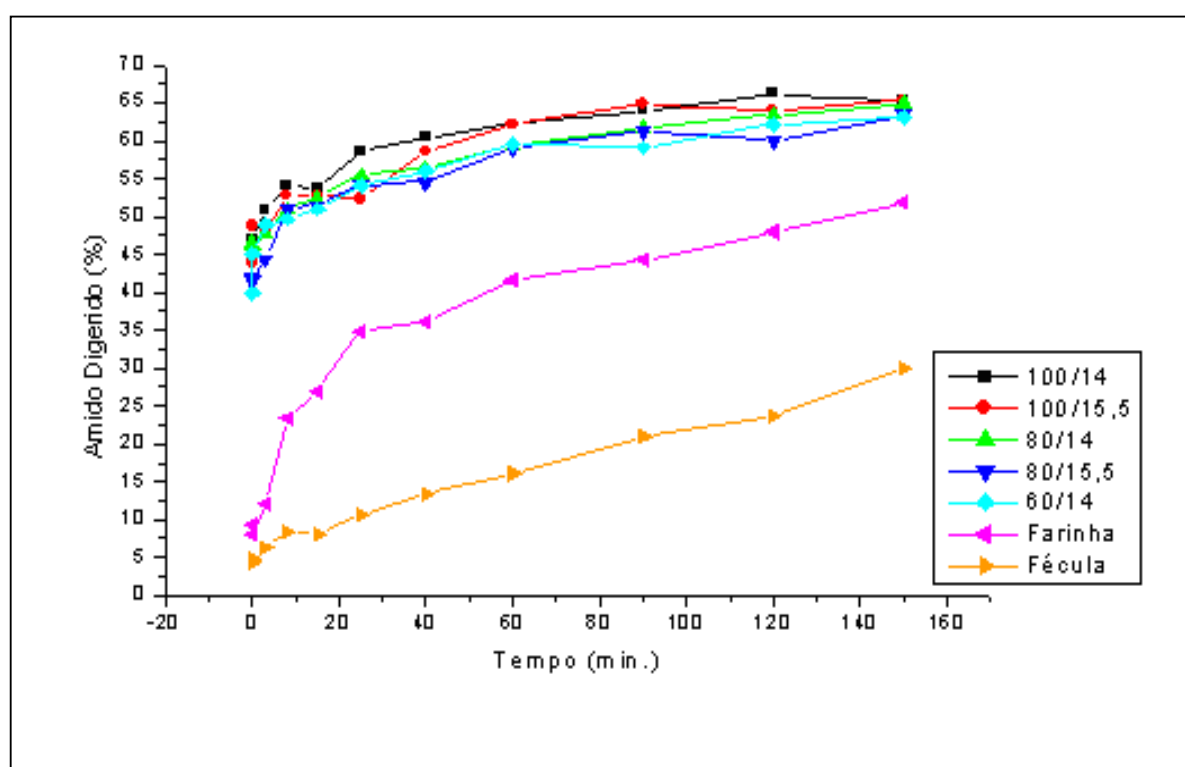


Figura 28- Gráfico da curva cinética da digestibilidade dos produtos de mandioca.

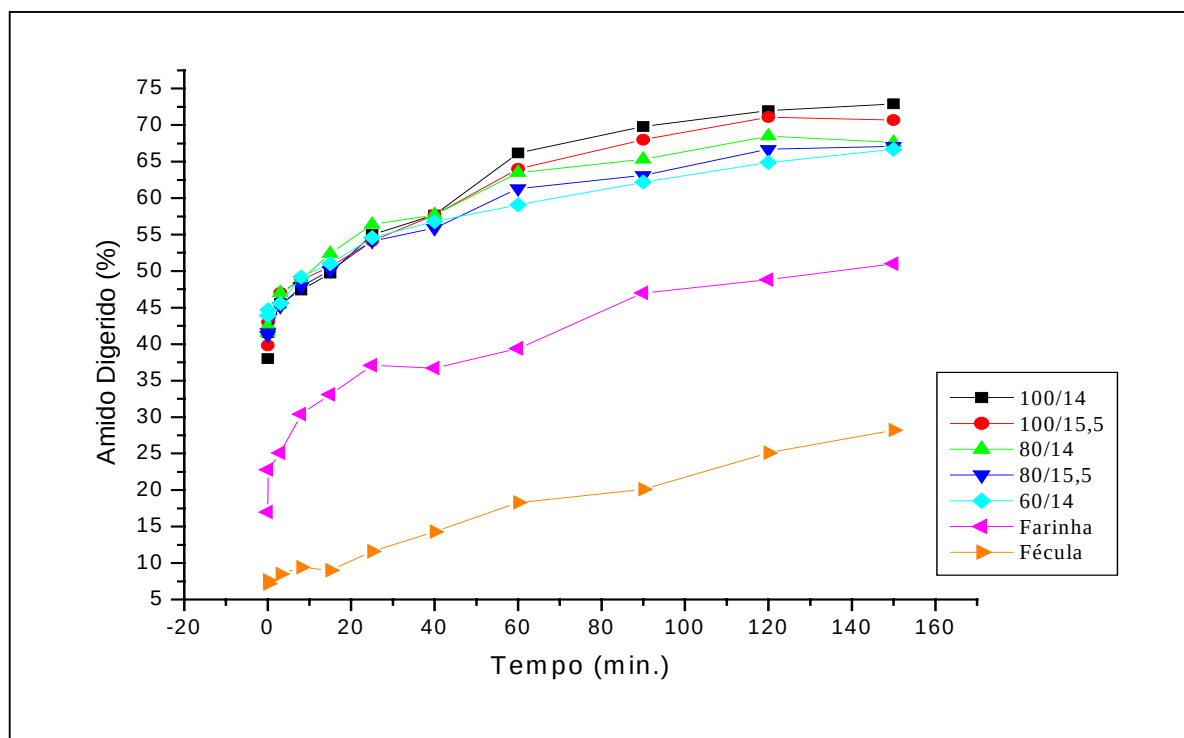


Figura 29- Gráfico da curva cinética da digestibilidade dos produtos de batata doce.

Analisando os gráficos, observa-se comportamento semelhante para os produtos de mandioca, e para os produtos de batata doce. Em ambos os casos, observa-se uma maior digestibilidade para os produtos extrusados do que para as farinhas, sendo que esta ainda apresenta maior digestibilidade do que as féculas. Essa diferença é explicada pela intensidade do processo térmico a que são submetidos. Altas temperaturas em presença de umidade podem levar a uma pré-gelatinização ou gelatinização total do amido. A fécula é extraída sem que se utilize temperaturas elevadas durante sua secagem, enquanto a farinha passa por um processo de secagem no forno, conseqüentemente há uma pré-gelatinização do amido.

Segundo Colonna et al. (1989), um importante efeito da extrusão sobre a estrutura molecular dos grânulos de amido é a sua gelatinização e fragmentação parcial das amiloses e amilopectinas, disponibilizando estes polissacarídeos à ação enzimática mais

eficaz. Lobo & Silva (2003), relatam que o amido torna-se mais facilmente acessível à ação das enzimas digestivas.

Nos produtos extrudados, observa-se a presença de amidos quebrados em moléculas menores antes da adição da enzima. Contradizendo Noguchi et al. (1982), verificou-se a degradação térmica do amido devido ao calor gerando moléculas de pequeno peso molecular. A degradação molecular do amido pelo processo de extrusão também foi observada por Mercier (1977); Meuser et al. (1982); Colonna e Mercier (1983); Colonna et al. (1984); Davidson et al.(1984); Launay & Kone (1984); Diosady et al. (1985); Mercier (1986); Schweizer e Reimann (1986).

5- CONCLUSÃO

As diferentes misturas entre féculas e farinha de mandioca e batata doce produziram biscoitos expandidos através de processo de extrusão com características de expansibilidade, densidade, solubilidade e aparência observados na literatura, demonstrando adaptabilidade e potencialidades de utilização como matéria-prima neste tipo de alimento.

As concentrações de amido resistente nas amostras de biscoitos expandidos diminuíram acentuadamente, bem como ocorreu um sensível aumento da digestibilidade dos amidos digeríveis devido ao processo de extrusão.

A metodologia analítica da determinação de amido resistente *in vitro*, após ajustes, mostrou-se adequada para aplicação em materiais extrusados.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAM - Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca. Riquezas naturais do amido. Disponível em: <<http://www.abam.com.br/revista/revista7/riquezas.php>> Acesso em: 19 set. 2004.

ABESO - Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade. Índice glicêmico. Disponível em: <http://www.abeso.org.br/revista/revista18/indice_glicemico.htm> Acesso em: 04 nov. 2004.

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

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 14.ed. Washington, 1984, 1141 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 13.ed. Washington, 1980, 1015 p.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; GRIFFIN, E. L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, St. Paul, v. 14, n. 1, p. 4-12, Jan. 1969.

ANNISON, G.; TOPPING, D. L. Nutritional role of resistant starch: chemical structure vs physiological function. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 14, p. 297-320, Jul. 1994.

ANTILA, J., PIPATTI, R. AND LINKO, P. Process control and automation in extrusion cooking. In: ZEUTHEN, P. et al. **Thermal processing and quality of foods**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1984. p. 44-48.

ASCHERI, J. L. R. et al. Efecto de la formulación sobre las expansiones y viscosidad de snacks producidos por extrusión termoplástica. **Alimentaria**, Madrid, v.286, n.12, p.111-118, 1995.

BAXTER, Y. Fibras e índice glicêmico dos alimentos. Boletim Maio/Junho 2002. Disponível em: <<http://www.sbnpe.com.br/boletins/39/b39-fibras-indice.htm>>. Acesso em: Março 2005.

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

BHATNAGAR, S.; HANNA, M. A. Physical, mechanical and thermal properties of starch-based plastic foams. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n. 2, p.567-571, 1995.

BHATTACHARYA, S.; CHOUDHURY, G. S. Twin-screw extrusion of rice flour: effect of extruder length-to-diameter ratio and barrel temperature on extrusion parameters and product characteristics. **Journal of Food Process and Preservation**, Westport, v.18, p.389-406, 1994.

BHATTACHARYA, S.; SUDHA, M. L.; RAHIM, A. Pasting characteristics of an extruder blend of potato and wheat flours. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v.40, p.107-111, 1999.

BRADIE, N.; MELLOWES, W. A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v.56, n.5, p. 1334- 1337, 1991.

CABELLO, C. **Identificação de parâmetros para monitoramento de processo contínuo de hidrólise enzimática, na produção de glicose a partir de fécula de mandioca**, 1995. 208 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1995.

CALEGARI, A. **Adubação verde no sul do Brasil**, Rio de Janeiro: Assessoria de serviços a projetos em agricultura alternativa, 1992, 346 p.

CAMARGO FILHO, W. P.; MAZZEI, A. R.; ALVES, H. S. Mercado de raízes e tubérculos: análise de preços. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 36-44, fev. 2001.

CARDOSO, C. E. L.; LEAL, M. S. Mandioca: Mudanças nas raízes. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 6, p. 55-60, Jun.1999.

CARVALHO, P. C. L. et. al. Avaliação agrônômica e tecnológica de cultivares de mandioca para consumo "in natura". **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz da Almas, v. 14, n. 1/2, p. 7-15, 1995.

CASE, S. E.; HAMANN, D. D.; SCHWARTZ, S. J. Effect of starch gelatinization on physical properties of extruded wheat and corn based products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 69, n.4, p.401-404, 1992.

CEREDA, M. P. **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. 4 v., v. 3 Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas. 711 p.

CEREDA, M. P. **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. 4 v., v. 2 Cultura de tuberosas amiláceas latino americanas. 540 p.

CHAMP, M.; KOZLOWSKI, F.; LECANNU, G. *In vivo* and *in vitro* methods for resistant starch measurement. In: MCCLEARY, V.; PROSKY, L. **Advanced dietary fibre technology**. Oxford: Blackwell Science, 2001. p.106-119.

CHAVES, J. B. P.; SPROESSER, R. L. **Práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 81 p.

CHIANG, B. Y. ; JOHNSON, J. A., Gelatinization of starch in extruded products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 54, p. 436-443, 1977.

CHINNASWAMY, R.; HANNA, M. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, p. 834-839, 1988.

COLONNA, P. et. al. Extrusion-cooking and drum drying of wheat starch. Physical and macromolecular modification. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 61, p. 538-543, 1984.

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

COLONNA, P.; MERCIER, C. Gelatinization and melting of maize and pea starches with normal and high-amylose genotypes. **Phytochemistry**, Oxford, v. 24, p. 1667-1674, 1985.

COLONNA, P.; MERCIER, C., Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion-cooking with and without lipids. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 3, p. 87-108, 1983.

COLONNA, P.; TAYEB, J.; MERCIER, C. Extrusion cooking of starch and starch products. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. St Paul: American Association of Cereal Chemistry, 1989. 471 p.

CONCEIÇÃO, J. C. **A mandioca**. 3 ed. São Paulo: Nobel, 1987. 381p.

CUPPARI, L. **Nutrição clínica no adulto**. São Paulo: Manole, 2002. 490 p.

DAVIDSON, V. J. et. al. Degradation of wheat starch in a single screw extruder. Characteristics of extruded starch polymers. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, p. 453-458, 1984.

DELLA VALLE et. al. The extrusion behaviour of potato starch. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 28, p. 255-264, 1995.

DING, Q-B. et. al. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 66, p. 283-289, 2005.

DIOSADY, L. L. et. al. Degradation of wheat starch in a single screw extruder. Mechanic-kinetic breakdown of cooked starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, p. 1697-1706, 1985.

DUTCOSKI, S.D. **Analise Sensorial de alimentos**. Curitiba: Champagnat, 1996. 123 p.

EERLINGEN, R. C.; DELCOUR, J. A. Enzyme-resistant starch II: Influence of amylose chain length on resistant starch formation. **Cereal Chemistry**, St Paul, v. 70, n.3, p. 345-350, 1993.

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

EERLINGEN, R. C.; JACOBS, H.; DELCOUR, J. A. Enzyme-resistant starch V: Effect of retrogradation of waxy maize starch on enzyme susceptibility. **Cereal Chemistry**, St Paul, v. 71, n 4, p.351-355, 1994.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultura da batata doce. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/batatadoce>> Acesso em: 02 dez. 2004.

ENGLYST, H.N.; CUMMINGS, J.H. Digestion of polysaccharides of potato in the small intestine of man. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 45, p. 423-31, 1987.

ENGLYST, H.N.; HUDSON, G..J. The classification and measurement of dietary carbohydrates. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 57, p. 15-21, 1996.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European journal of clinical nutrition**, Basingstoke, v. 46, p. 33-50, 1992. Supplement 2.

ESCARPA, A. et. al. Resistant starch formation: A standardization of a high-pressure autoclave process. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v. 44, p. 924-928, 1996.

EURESTA - European Resistant Starch Research Group. Asp NG. Resistant starch Proceedings from the second plenary meeting of EURESTA: European FLAIR Concerted Action nº 11 on physiological implications of the consumption of resistant starch in man. **European journal of clinical nutrition**, Basingstoke, v. 46, p. 1, 1992. Supplement 2.

FARAJ, A.; VASANTHAN, T.; HOOVER, R. The effect of extrusion cooking on resistant formation in waxy and regular barley flours. **Food Research International**, Amsterdam, v. 37, p.517-525, 2004.

FREDRIKSSON, H.. et. al. Studies on α -amylase degradation of retrograded starch gels from waxy maize and high-amylopectin potato. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 43, p.81-87, 2000.

GARCÍA-ALONSO, A. et. al. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 66, p.181-187, 1999.

GAVA, A.J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel, 7 ed., 1988. 284p.

GERMANI, R. **Controle de qualidade tecnológica do grão e da farinha de trigo**. Rio de Janeiro: Embrapa/CTAA, 1999. 3 v., v. 3 Controle de qualidade químico e físico-químico. p. 27-31.

GONI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, Tarrytown, v. 17, p. 427-437, 1997.

GONI, I. et. al. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 56, p. 445-449, 1996.

GRANFELDT, Y. E.; DREWS, A. W.; BJÖRCK, I. M. E. Starch bioavailability in arepas from ordinary or high amylose corn: concentration and gastrointestinal fate of resistant starch in rats. **The Journal of nutrition**, Bethesda, v. 123, p.1676-1684, 1993.

GUJSKA, E.; KHAN, K. Effect of temperature on properties of extrudates from starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. **Journal Food Science**, Chicago, v. 55, p. 466-469, 1991.

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

HARPER, J. M. Food extruders and their applications. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. St Paul: American Association of Cereal Chemistry, 1989. 471 p.

HARPER, J, M. Extrusion processing of food. **Food Technology**, Chicago, v. 32, p. 67-72, 1978.

HEIJNEN, M. et. al. Neither raw nor retrograded resistant starch lowers fasting serum cholesterol concentrations in healthy normolipidemic subjects. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 64, p. 312-318, 1996.

HUANG, D. P. News perspectives on starches and starch derivatives for snack application. **Cereal World**, Minneapolis, v. 40, n.8, p. 528-531, 1995.

HUTH, M. et. al. Functional properties of dietary fibre enriched extrudates from barley. **Journal of Cereal Science**, London, v. 32, p.115-128, 2000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Recuperação Automática: Produção Agrícola. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: abr. 2003.

IMEN - Instituto de Metabolismo e Nutrição. Amido resistente. Disponível em: <<http://www.nutricaoclinica.com.br/>> Acesso em: ago. 2003.

JENKINS, D. J.; WOLEVER, T. M.; TAYLOR, R. H. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 34, p. 362-386, 1981.

KLINGLER, R. W.; MEUSER, F.; NIEDEK, E. A. Einfluss der Art der Energibertragung auf strukturelle und funktionelle Merkmale von Stärke. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 38, p. 40-44, 1986.

LAUNAY, B.; LISCH, J. M. Twin-screw extrusion cooking of starches: flow behavior of starches pastes, expansion cooking properties of extrudates. **Journal Food Engineering**, Oxford, v. 2, p.259, 1983.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Physicochemical characterization of some starchy tubers. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.

LILLFORD, P. et. al. (Ed.) **Starch: structure and functionality**, Cambridge: The Royal Society Chemistry, 1997. p.1-8.

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.

LORENZI, J. O. **Mandioca**. Campinas: CATI, 2003. 116 p.

LORENZ, K.; JOHNSON, J. A. Starch hydrolysis under high temperatures and pressures. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 49, p. 616, 1972.

MANNERS, D. J.; MATHESON, N. K. The fine structure of amilopectin. **Carbohydrate research**, Amsterdam, v. 90, p. 99-109, 1981.

MCCLEARY, V. Measurement of dietary fibre components: the importance of enzyme purity activity and specificity. In: MCCLEARY, V.; PROSKY, L. **Advanced dietary fibre technology**. Oxford: Blackwell Science, 2001. p. 89-105.

MENDONÇA, S.; KARAM, L. B.; GROSSMANN, M. V. E. Análise instrumental de textura e sua correlação com a avaliação sensorial em "snacks" comerciais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 16., 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCTA, 1998. v. 1, p. 84-87.

MENEZES, E. W., CANZIO, A. E.; LAJOLO; F. M. Formação de amido resistente em alimentos armazenados em baixas temperaturas. In: SIMPÓSIO IBEROAMERICANO SOBRE FIBRA DIETÉTICA EM ALIMENTOS, 6., 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Projeto CYTED, 1997. v. 2, p. 191-198.

MENEZES, E.W.; LAJOLO, F.M. Utilização do amido de leguminosas. **Archivos latinoamericanos de nutrición**, Caracas, v. 45, p. 270-272, 1995. Suplemento 1.

MERCIER, C., Effect of extrusion-cooking on potato starch using a twin screw French extruder. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 29, p. 48-52, 1977.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 52, p. 283-297, 1975.

MEUSER, F. et. al. Einflub der extrusion extrusionsparameter auf funktionelle eigenschaften von weizenstaurke. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 34, p. 366-372, 1982.

MIRANDA, J. E. C. et. al. **Cultivo da batata-doce (Ipoema batatas (L.) Lam)**. Brasília: Embrapa-CNPq, 1984. p.8.

MONTEIRO, C. B. L. **Técnicas de avaliação sensorial**. 2 ed. Curitiba: UFPR/CEPPA, 1984. 101 p.

MOORE, W. P. **Characterization of extruded wheat flour**. 1973. M.S. Thesis - Kansas State University, Manhattant, 1973.

MORRIS, K. L.; ZEMEL, M. B. Glycemic index, cardiovascular disease and obesity. **Nutrition reviews**, Lawrence, v. 57, p. 273-276, 1999.

MUIR, J. G. et. al. Food processing and maize variety affects amounts of starch escaping digestion in the small intestine. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 61, p. 82-89, 1995.

NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1995. 299 p.

NOGUCHI, A. et. al. Physical and chemical characteristics of extruded rice flour and rice flour fortified with soybean protein isolate. **Journal of food science**, Chicago, v. 47, p. 240-245, 1992.

OSTERGARD, K.; BJORCK, I.; VAINIONPAA, J. Effects of extrusion cooking on starch and dietary fiber in barley. **Food chemistry**, Oxford, v. 34, p. 215- 227, 1989.

PARCHURE, A. A.; KULKARNI, P. R. Effect of food processing treatments on generation of resistant starch. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, Oxfordshire, v. 48, n. 4, p. 257-260, 1997.

RABEN, A. et. al. "Resistant starch: the effect on postprandial glycemia, hormonal response and satiety". **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, n. 60, p.544-551, 1994.

RANHOTRA, G. S.; GELROTH, J. A.; GLASER, B. K. Energy value of resistant starch. **Journal of food science**, Chicago, v. 61, p. 453-455, 1996.

ROSIN, P. M. **Formação de amido resistente em alimentos armazenados sob baixa temperatura (-20°C) - Estudo *in vitro* e *in vivo***. 2000. Dissertação - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, USP, São Paulo, 2000.

SAGAR, A. D.; MERRIL, E. W. Starch fragmentation during extrusion processing. **Polymer**, v. 36, p. 1883-1886, 1995.

SCHEWEIZER, T. F.; REIMANN, S., Influence of drum-drying and twin screw extrusion cooking on wheat carbohydrates. A comparison between wheat starch and flours of different extractions. **Journal of Cereal Science**, London, v. 4, p. 193-203, 1986.

SCHMIDT, M.; AGOSTINI, M. R.; CABELLO, C. Amidos resistentes em farinhas de mandioca processadas com massas raladas submetidas a diferentes esforços de prensagem. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 5., 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: SLACA, Campinas. FEA/UNICAMP, 2003. 1 CD-ROM.

SEBIO, L. **Efeitos de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*)**. 1996. Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos alimentos) - UNICAMP, Campinas, 1996.

SILJESTRÖM, M. et. al. Effects on polysaccharides during baking and storage of bread - *in vitro* and *in vivo* studies. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 65, n.1, jan, 1988.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **Cultura da batata doce**. EMBRAPA-Hortaliças. Versão eletrônica, 2002. Disponível em:
<<http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/batatadoce>> Acesso em: Out. 2004.

SILVA, J. R. et. al. A agroindústria de farinha de mandioca nos estados de São Paulo e do Paraná, 1995. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 69 - 83, 1996.

SILVERT, D.; POMERANZ, Y. Enzyme-resistant starch I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermo-analytical and microscopic methods. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 66, p. 342-347, 1989.

SKRABANJA, V.; KREFT, I. Resistant starch formation following autoclaving of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) groats an in vitro study. **Journal of agricultural and food chemistry**, Washington, v. 46, p. 2020-2023, 1998.

SMITH, M. E.; MORTON, D. G. **O Sistema digestivo**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 232 p. (Coleção: Sistemas do corpo).

SOMOGY, M. A. New reagent for the determination of sugars. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 160, n. 1, p. 601-668, 1945.

SUN, Y.; CHENG, J. Hidrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresource Tecnology**, Oxford, v. 83, p. 1-11, 2002.

THAKUR, S.; SAXENA, D. C., Formulation of extruder snack food gum based cereal-pulse-blend: optimization of ingredients level using response surface methodology. **Lebensmittel Wissenschaft + Technologie**, London, v. 33, p. 354-361, 2000.

THOMPSON, D. B. Strategies for the manufacture of resistant starch. **Lebensmittel Wissenschaft + Technologie**, London, v. 11, p. 245-253, 2000.

TOFT, G. Snacks foods: continuous processing techniques. **Cereal foods world**, St. Paul, v. 24, p. 142-143, 1979.

TOVAR, J. Métodos para la determinación del contenido de almidón resistente en los alimentos. In: LAJOLO, F. M.et. al. **Fibra dietética em Iberoamérica: tecnología y salud - obtención caracterización efecto fisiológico y aplicación en alimentos**. São Paulo: Varela, 2001. p.433-444.

UNLU, E.; FALLER, J. F. Formation of resistant starch by a twin-screw extruder. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 75, p. 346-350, 1998.

VAN DER BURGT, Y. E. M. et. al. Structural studies on methylated starch granules. **Starch/starke**, Weinheim, v. 52, n. 2, p. 40-43, 2000.

VASANTHAN, T.; BHATTY, R. S. Enhancement of resistant starch in amylomaize, barley, field pea and lentil starches. **Starch/starke**, Weinheim, v. 50, p. 286-291, 1998.

VASANTHAN, T. et. al. Dietary fibre profile of barley flour as affected by extrusion cooking. **Food Chemistry**, Oxford, v. 77, p. 35-40, 2002.

WHISTLER, R. L.; DANIEL, J. R. Molecular structure of starch. In: WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHALL, E. F. **Starch: Chemistry and Technology**, New York: Academic Press, 1984. p. 153-182.

WOLLOWSKI, I.; RECHKEMMER, G.; POOL-ZOBEL, B. L. Protective role of probiotics and prebiotics in colon cancer. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 73, p. 451-455, 2001.

ZELAIA, M. P. O papel da adesão e de amidos resistentes em snacks e cereais. **Food Ingredients**, São Paulo, v. 11, n. 9, p. 18-19, 2000.

ANEXOS

Anexo 1- Modelo de ficha de resposta para teste de aceitação (Escala hedônica).

Nome: _____ Data: _____

Por favor, avalie as amostras utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou do produto. Marque a numeração da escala que melhor reflita seu julgamento.

- 1- Desgostei extremamente
- 2- Desgostei muito
- 3- Desgostei moderadamente
- 4- Desgostei ligeiramente
- 5- Indiferente
- 6- Gostei ligeiramente
- 7- Gostei moderadamente
- 8- Gostei muito
- 9- Gostei extremamente

Amostra nº..... = _____

Amostra nº..... = _____

Amostra nº..... = _____

Amostra nº..... = _____

Amostra nº..... = _____