

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

**POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO DE FARINHA DE
CASTANHA NA PRODUÇÃO DE EXTRUDIDOS**

AVALIAÇÃO DE MODIFICAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciência e
Tecnologia de Alimentos

Altino Branco Choupina

Lisboa, 1993

POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO DE FARINHA DE
CASTANHA NA PRODUÇÃO DE EXTRUDIDOS

AVALIAÇÃO DE MODIFICAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciência e
Tecnologia de Alimentos

por

Altino Branco Choupina

Sob a orientação de:

Prof^ª. Doutora Maria Luisa Beirão da Costa

Universidade Técnica de Lisboa

Lisboa, 1993



AGRADECIMENTOS

A nossa maior dívida é para com a Professora Doutora Maria Luísa Beirão da Costa, nossa orientadora, cujas criteriosas sugestões foram decisivas para o bom desenvolvimento deste trabalho. Reconhecemos e admiramos a sua formação humana e científica. O incentivo e o apoio amigo com que sempre nos rodeou, mesmo nas situações mais difíceis, calaram bem fundo em nós. O nosso mais vivo muito obrigado.

Ao Professor Associado Eng^a Bruno de Sousa agradecemos a pronta disponibilidade com que nos facultou a utilização do laboratório e, em especial, os conselhos e esclarecimentos que com amizade nos prestou.

À Eng^a Isabel Maria Nunes de Sousa agradecemos o apoio precioso, a amizade e o interesse demonstrados ao longo de todo o trabalho.

À Eng^a Susana Ferreira Dias a nossa sincera gratidão pela ajuda prestiosa nos problemas relativos à Análise Sensorial.

À Eng^a Isabel Januário (Secção Autónoma de Agronomia Sub-Tropical e Tropical) agradecemos a prontidão e simpatia com que sempre fomos atendidos.

À Eng^a Cristina da Cunha Queda manifestamos o nosso reconhecimento pelas frequentes sugestões e esclarecimentos que nos concedeu.

À S^a D. Augusta (Departamento de Botânica e Eng^a Biológica) agradecemos a útil colaboração que nos prestou.

Aos Técnicos e Auxiliares da Secção Autónoma de Ciência e Tecnologia de Alimentos, nomeadamente à D. Graziela Rodrigues, D. M^a de Jesus Cruz, D. Augusta Hilário, D. Júlia, Sr. Vigário e, de forma especial à Marília, expressamos o nosso agradecimento pela colaboração pronta que sempre nos prestaram, agradecimentos que tornamos extensivos à Rosário Pinto e à Lina Pereira.

À Fátima Silva, em particular, é-nos difícil traduzir em palavras tudo quanto lhe devemos. O empenho, a dedicação e a motivação com que nos acompanhou neste trabalho, sempre com grande carinho e amizade, jamais serão por nós esquecidos.

Às Comissões Instaladoras do Instituto Superior Politécnico de Bragança e da sua Escola Superior Agrária a minha gratidão pela disponibilização do tempo para a realização do curso de Mestrado e pelo seu incentivo permanente.

Aos amigos de sempre, Dr. Mário Rocha e Dr^a Amélia Rocha, expressamos uma palavra de muito apreço pela ajuda prestada e pelo incentivo manifestado.

À Georgina Lopes que dactilografou o trabalho e à Conceição Ferreira que o formatou e elaborou algumas ilustrações os nossos sinceros agradecimentos pelo rigor e paciência sempre demonstrados, agradecimentos que tornamos extensivos a todos os funcionários da ESA de Bragança que de alguma forma nos ajudaram.

Finalmente, aos colegas da Escola Superior Agrária de Bragança que das mais diversas formas nos acompanharam e apoiaram, expressamos o nosso mais vivo apreço.

RESUMO

Constituiu objectivo deste trabalho a caracterização da farinha de castanha quanto a alguns aspectos do seu perfil químico e funcional, a par de estudar a possibilidade tecnológica de produção de extrudidos de castanha e/ou de misturas de milho e castanha.

Foi avaliado comparativamente o comportamento em extrusão-cozedura da farinha de castanha, de farinhas de milho e de misturas desta com diferentes teores de castanha incorporada .

Por microscopia óptica procedeu-se á caracterização, dos grânulos de amido de castanha e de castanha extrudida. Todas estas técnicas foram também aplicadas a farinha de milho, que funcionou como termo de comparação.

A Metodologia das Superfícies de Resposta foi utilizada para estudar os efeitos das variáveis principais da extrusão (temperatura, teor de humidade e velocidade do parafuso) no amido sujeito a extrusão e nos parâmetros de textura, avaliados instrumentalmente com o texturómetro TAX-T2.

As alterações sofridas pelo amido foram avaliadas por comportamento amilográfico.

As alterações a nível moléculas que eventualmente tivessem ocorrido nas diversas farinhas foram avaliadas recorrendo-se à cromatografia de filtração sobre gel.

Todos os produtos de extrusão foram avaliados sensorialmente por "panel test" e o tratamento estatístico dos resultados foi efectuado pelo método das componentes principais.

Foi possível concluir que o entumescimento dos grânulos de amido, a relação amilose/amilopectina, a massa molecular da amilopectina e o teor em lípidos da castanha são muito superiores às do milho, justificando as diferenças encontradas nas respectivas curvas de consistência e as alterações sofridas na extrusão-cozedura.

As maiores alterações ocorreram nas matérias-primas com baixos teores de humidade e a temperaturas de extrusão elevadas. Por outro lado, os produtos que tiveram maior aceitabilidade por parte dos elementos do painel de provadores foram genericamente os processados com baixos teores de humidade e temperaturas intermédias.

Os resultados obtidos permitem antever potencialidades interessantes no uso de farinha de castanha na produção de novos alimentos obtidos através de tecnologias recentes como a extrusão-cozedura.

PALAVRAS CHAVE: Castanha, amido, extrusão-cozedura, textura, análise sensorial.

ABSTRACT

This work was designed both to feature chestnut flour from a chemical and functional point of view and to test the technological possibilities of producing chestnut extrudates and/or maize and chestnut mixtures.

The behaviour, of chestnut flour of maize flour and of mixtures with different contents of chestnut, in extrusion-cooking, were comparatively evaluated.

Starch granules of chestnut and extrudate chestnut flours were observed and compared by means of light microscopy. All these methods were also applied to corn flour, used as standard.

Response Surface Methodology was used to examine the effects of main extrusion variables (temperature, moisture content and screw speed) on gelatinised starch in a single screw extruder and on texture parameters, evaluated instrumentally with the texturometer TAX-T2.

Changes undertaken by starch were evaluated by amylographic behaviour.

Molecular changes that occurred in all flours were evaluated by means of gel permeation chromatography.

All the extrusion products were sensorily evaluated by "panel test" and the method of main components was used for the statistical treatment of results.

Chestnut's swelling starch granules, chestnut's amylose/amylopectin ratio, the amylopectin molecular weight and the contents of lipids revealed much higher than those of corn. These results justify the differences found in viscoamylograms and changes in extrusion-cooking.

The greater changes occurred at low moisture and at higher extrusion temperatures. On the other hand, the products which were better accepted by the panel members were those processed at low moisture and at intermediate temperatures.

The results obtained lead us to foresee possible interesting uses of chestnut flour in the production of new foodstuffs obtained through the use of modern technologies such as extrusion-cooking.

KEY WORDS: Chestnut, starch, extrusion-cooking, texture, sensory analysis.

ÍNDICE GERAL

	Página
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - A CASTANHA	3
2.1 - ORIGEM	3
2.2 - ECOLOGIA DO CASTANHEIRO	3
2.3 - PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO PORTUGUESA	4
2.4 - CARACTERÍSTICAS COMERCIAIS DAS VARIEDADES NACIONAIS	9
2.5 - IMPORTÂNCIA NA ALIMENTAÇÃO PORTUGUESA	10
2.6 - VALOR NUTRITIVO	11
2.7 - PERSPECTIVAS FUTURAS PARA A PRODUÇÃO DE CASTANHA	12
2.8 - INDÚSTRIA TRANSFORMADORA DE CASTANHA EM PORTUGAL	12
3 - A EXTRUSÃO-COZEDURA EM TECNOLOGIA ALIMENTAR	14
3.1 - DEFINIÇÃO DA OPERAÇÃO	14
3.2 - VANTAGENS DA EXTRUSÃO-COZEDURA EM TECNOLOGIA ALIMENTAR.....	15
3.3 - EVOLUÇÃO DA EXTRUSÃO-COZEDURA EM TECNOLOGIA ALIMENTAR ...	16
3.4 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA EXTRUSORA	18
3.4.1 - MECANISMO DE PROPULSÃO	19
3.4.2 - PARAFUSO DA EXTRUSORA	19
3.4.3 - MANGA DA EXTRUSORA	20
3.4.4 - ALIMENTAÇÃO DA EXTRUSORA	20
3.4.5 - PRÉ- CONDICIONADOR	20
3.4.6 - SAÍDA DA EXTRUSORA	21
3.4.7 - LÂMINAS DE CORTE	21
3.5 - CLASSIFICAÇÃO E FUNCIONAMENTO DAS EXTRUSORAS ALIMENTARES	21

4 - O AMIDO	25
4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	25
4.2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	25
4.3 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FUNCIONAL	29
4.3.1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA	29
4.3.2 - GELATINIZAÇÃO, EMPASTAMENTO E RETROGRADAÇÃO DO AMIDO.....	33
4.3.3 - AS TRANSIÇÕES DE FASE NO AMIDO	38
4.3.4 - EFEITOS DA EXTRUSÃO NO AMIDO.....	43
5 - A TEXTURA NOS PRODUTOS EXTRUDIDOS.....	48
5.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	48
5.2 - FACTORES DETERMINANTES DA TEXTURA.....	48
5.2.1 - NATUREZA DO MATERIAL.....	48
5.2.1.1 - Amido.....	48
5.2.1.2 - Gordura	49
5.2.1.3 - Humidade.....	49
5.2.2 - PARÂMETROS DE EXTRUSÃO	51
5.2.2.1 - Temperatura	51
5.2.2.2 - Velocidade do parafuso.....	51
5.2.2.3 - Dimensão do orifício de saída.....	52
5.2.3 - ADITIVOS.....	53
6 - PARTE EXPERIMENTAL.....	54
6.1 - MATERIAIS.....	54
6.2 - MÉTODOS DE PREPARAÇÃO E ANÁLISE	54
6.2.1 - Execução da Moenda.....	54
6.2.2 - Métodos de Caracterização Química	54
6.2.2.1 - Determinação da Humidade.....	54
6.2.2.2 - Determinação da Cinza.....	54
6.2.2.3 - Determinação da Gordura Bruta	54
6.2.2.4 - Determinação da Proteína Bruta.....	55
6.2.2.5 - Determinação da Celulose Bruta.....	55

6.2.2.6 - Avaliação das Substâncias Extractivas Não Azotadas	55
6.2.2.7 - Determinação dos Açúcares Totais	55
6.2.2.8 - Determinação do Amido	55
6.2.3 - Métodos Físicos	55
6.2.3.1 - Determinação da taxa de expansão.....	55
6.2.3.2 - Determinação da Consistência.....	56
6.2.3.3 - Observação Microscópica dos Grânulos de Amido.....	56
6.2.3.4 - Cromatografia de Filtração Sobre Gel.....	57
6.2.3.5 - Análise sensorial dos produtos extrudidos.....	59
6.3 - MÉTODOS TECNOLÓGICOS.....	59
6.3.1 - Extrusão.....	59
6.3.1.1 - Condicionamento das Amostras para Extrusão	59
6.3.1.2 - Extrusão propriamente dita.....	60
6.3.1.3 - Delineamento experimental do processo de extrusão-cozedura.....	61
6.3.2 - Determinação dos parâmetros de textura	63
6.4 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS	63
6.4.1 - Método das componentes principais	63
6.4.2 - Método das Superfícies de Resposta.....	64
7 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	65
7.1 - CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA E DO AMIDO DE CASTANHA	65
7.2 - CARACTERIZAÇÃO DA TEXTURA DOS PRODUTOS EXTRUDIDOS	68
7.3 - APRECIÇÃO SENSORIAL DOS PRODUTOS EXTRUDIDOS.....	77
7.4 - CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA E DO AMIDO DE CASTANHA APÓS EXTRUSÃO-COZEDURA.....	83
8 - CONCLUSÕES	101
BIBLIOGRAFIA.....	103

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro I – Produção Europeia de Castanha, 1983-1986, Ton.	5
Quadro II – Distribuição do castanheiro em Portugal por distritos segundo o Inventário Florestal de 1984 (em hectares).	7
Quadro III – Produção e Exportação de Castanha.	8
Quadro IV – Destinos da Exportação de Castanha Portuguesa, 1988/90 – Ton.	8
Quadro V – Composição da castanha (g/100g produto edível ou mg/100g produto edível).	11
Quadro VI – Composição em glúcidos da castanha (g/100g produto edível).	11
Quadro VII – Teor de amido ^(a) no grão e no endosperma de vários cereais	26
Quadro VIII – Proporção relativa ^(a) de amilose e amilopectina em alguns tipos de amido	29
Quadro IX – Temperatura de gelatinização de alguns amidos	34
Quadro X – Factores constantes na extrusão-cozedura	60
Quadro XI – Plano experimental formulado para 3 factores (X_1, X_2, X_3), com 5 níveis para cada factor (0; -1; 1; 1,68179; -1,68179) com 6 réplicas do ponto central (0)	61
Quadro XII – Níveis estabelecidos para cada factor (Ensaio A)	62
Quadro XIII – Níveis estabelecidos para cada factor (Ensaio B)	62
Quadro XIV – Nutrientes da castanha (g/100g produto edível)	65
Quadro XV – Temperatura de início de gelatinização, consistência máxima e respectiva temperatura para as matérias-primas	67
Quadro XVI – Consistência no “set-back” (U.B.) para as matérias primas	68
Quadro XVII – Taxa de expansão (ensaio A) – coeficientes e respectivo valor de t (t-Student).....	69
Quadro XVIII – Taxa de expansão (ensaio B) – coeficientes e respectivo valor t (t-Student).....	71
Quadro XIX – Força de ruptura (ensaio A) – Coeficientes e respectivo valor t (t-Student).....	72
Quadro XX – Força de ruptura (ensaio B) – Coeficientes e respectivo valor t (t-Student)	74

Quadro XXI – Energia de ruptura (ensaio B) – Coeficientes e respectivo valor t (t-Student).....	75
Quadro XXII - Matriz de correlação entre as variáveis	78
Quadro XXIII – Resultados da análise em componentes principais	79
Quadro XXIV – Contribuição das variáveis na definição dos eixos para os ensaios A (% variável de castanha) e B (100% de castanha)	80
Quadro XXV – Valores de consistência obtidos a partir da leitura dos amilogramas para os ensaios do plano A	85
Quadro XXVI – Valores de consistência obtidos a partir da leitura dos amilogramas para os ensaios do plano B	85
Quadro XXVII – Valores dos coeficientes e respectivo valor t (E. Student) (Ensaio A)	87
Quadro XXVIII – Consistência a 92°C – Valores dos coeficientes e respectivo valor t (t - Student) (Ensaio A)	88
Quadro XXIX – Consistência no “set-back” – Valores dos coeficientes e respectivo valor de t (t – Student) (Ensaio A)	91
Quadro XXX – Consistência a 20°C – Valor dos coeficientes e respectivo valor t (t-Student) (Ensaio B)	93
Quadro XXXI – Massas moléculares médias das frações de milho, castanha e de extrudidos	99

Em Anexo:

Quadro I – Dados do Texturómetro TAX-T2 ensaios A

Quadro II – Dados do Texturómetro TAX-T2 Ensaio B

Quadro III – Taxa de Expansão ensaios A e B

Quadro IV – Análise sensorial dos extrudidos. Valores médios de 7 provadores Ensaios A

Quadro V – Análise sensorial dos extrudidos. Valores médios de 7 provadores Ensaios B

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Secção transversal de uma extrusora de parafuso simples	18
Figura 2 – Aspecto de vários grânulos de amido quando vistos ao microscópio	26
Figura 3 – Fotografia que revela os anéis de crescimento dos grânulos de amido de trigo	27
Figura 4 – Esquema da organização estrutural do grânulo de amido	28
Figura 5 – Unidade de repetição da amilose	30
Figura 6 – Ligações glicosídicas básicas presentes na amilopectina	31
Figura 7 – Representação esquemática da molécula ramificada de amilopectina	32
Figura 8 – Organização molecular dos constituintes do amido (amilose, amilopectina, lípidos monoacil) nos grânulos	33
Figura 9 – Representação esquemática da dilatação de um grânulo de amido	35
Figura 10 – Amilograma tipo para um sistema de amido-água mostrando os fenómenos de empastamento, reofluidificância e “set-back”	37
Figura 11 – Modelo da “micela com franjas” da estrutura cristalina – amorfa dos polímeros parcialmente cristalinos	38
Figura 12 – Curvas DSC (differential scanning calorimetry)	39
Figura 13 – Curva do módulo como uma função da temperatura, ilustrando as 5 regiões de comportamento viscoelástico característico dos polímeros sintéticos parcialmente cristalinos	40
Figura 14 – Curva da resposta da temperatura da transição vítrea (T_g) aos diferentes teores de humidade em amido de trigo nativo e pré-gelatinizado	41
Figura 15 – Modelo proposto para a degradação do amido durante a extrusão	45
Figura 16 – Representação esquemática de equipamento usado na cromatografia de filtração sobre gel	58
Figura 17 – Fotografia dos grânulos de amido ao microscópio (A, B)	66-A
Figura 18 – Sobreposição dos amilogramas das matérias primas usadas na extrusão	66-B
Figura 19 – Diagrama para a taxa de expansão em função da temperatura (x_1) e da % de incorporação de castanha (x_3)	70
Figura 20 – Diagrama para a taxa de expansão em função da % de humidade (x_1) e da % de incorporação de castanha (x_3)	70

Figura 21 – Diagrama para a taxa de expansão em função da humidade (x_1) e da temperatura (x_2) (ensaio A)	71
Figura 22 – Diagrama da taxa de expansão em função da humidade (x_1) e da temperatura (x_2) (ensaio B)	72
Figura 23 – Diagrama da força de ruptura em função da temperatura (x_2) e da % de incorporação de castanha (x_3)	73
Figura 24 – Diagrama da força de ruptura em função da % humidade (x_1) e da temperatura (x_2)	74
Figura 25 – Diagrama da energia de ruptura em função da % de humidade (x_1) e da temperatura (x_2)	76
Figura 26 – Projecção dos atributos e das amostras nos planos F1/F2. Ensaio A	81
Figura 27 – Projecções dos atributos e das amostras nos planos F1/F2. Ensaio B	82
Figura 28 - Fotografia dos grânulos de amido de extrudidos (A,B e C).....	83-A
Figura 29 – Sobreposição dos amilogramas das farinhas dos extrudidos de milho e castanha (ensaio A)	85-A
Figura 30 – Sobreposição dos amilogramas das farinhas dos extrudidos de castanha (ensaio B)	85-A
Figura 31 – Diagrama para a consistência a 20°C em função da % humidade (X_1) e da % incorporação de castanha (X_3) (ensaio A)	87
Figura 32 – Diagrama para a consistência a 92°C em função da temperatura (X_2) e da % incorporação de castanha (X_3) (ensaio A)	89
Figura 33 – Diagrama para a consistência a 92°C em função da % humidade (X_1) e da % castanha (X_3) (ensaio A)	90
Figura 34 – Diagrama para a consistência a 92°C em função da % humidade e da temperatura (X_1 e X_2) (ensaio A)	90
Figura 35 – Sobreposição das Figuras 32 e 33	91
Figura 36 – Diagrama para a consistência no “set-back” em função da % humidade (X_1) e da % castanha (X_3) (ensaio A)	92
Figura 37 – Diagrama para a consistência a 20°C em função da % humidade (X_1) e da temperatura (X_2)	93
Figura 38 – Diagrama para a consistência a 92°C em função da temperatura (°C) e da velocidade da parafuso (r.p.m.)	94
Figura 39 – Diagrama para a consistência a 92°C em função da humidade (%) e da velocidade da parafuso (r.p.m.)	95

Figura 40 – Cromatografia em Sepharose CL-2B. A – milho; B – milho extrudido	95
Figura 41 – Cromatogramas em Sepharose CL- 2B. A - Castanha; B - Mistura 36% castanha + 64% milho; C - A 14 : 164 : 36; D - A 14 : 164 : 84	96
Figura 42 – Cromatografia em Sepharose CL-2B. A - Castanha; B - B 18 : 175 : 170	97
Figura 43 – Cromatogramas em Sepharose CL-2B. A - B 18 : 175 : 170; B - B 10 : 175 : 170	97
Figura 44 – Recta de calibração para dextranos	91
Mapa I – Distribuição do castanheiro em Portugal	6

Em Anexo:

Figura 1 – Fotografias de extrudidos

Figura 2 – Gráficos de textura do texturómetro TAX-T2

Ficha de análise sensorial

1 – INTRODUÇÃO

O castanheiro constitui uma riqueza regional que tem um importante papel sociológico, ecológico, florestal e agronómico.

A utilização do seu fruto na alimentação humana remonta aos primórdios da civilização nas zonas Norte e Centro do país, onde a espécie abundava.

As formas tradicionais de consumo da castanha incluem a castanha assada, cozida e pilada, como ingrediente de preparações culinárias, para além do “marron glacé”, preparação mais nobre da castanha, muito frequente em França e Itália.

Portugal encontra-se entre os maiores produtos europeus de castanha, sendo o distrito de Bragança, donde somos naturais, o que apresenta os maiores quantitativos. Deve-se isto ao facto de a região apresentar boas condições edafo-climáticas para o castanheiro e à importância económico-alimentar que a castanha sempre teve neste distrito.

Por isso e devido ao aumento da comercialização da castanha e conseqüente valorização, aliada ao baixo custo de produção, o distrito de Bragança apresenta um grande dinamismo no intuito de melhorar a produção e transformação da castanha. Daí, que se comecem a verificar algumas tentativas de introdução de indústria transformadora de castanha na região.

Movidos por estas motivações e tendo em vista a valorização económica da castanha, decidimo-nos pelo presente estudo com o qual pretendemos avaliar as possibilidades de utilização de castanha em extrusão-cozedura bem como algumas alterações físico-químicas da farinha de castanha neste processo.

A extrusão-cozedura é uma tecnologia relativamente recente, versátil, com baixo custo de manutenção e sem efluentes. A especificidade e qualidade dos produtos obtidos por esta tecnologia tem levado a um crescente aumento da sua utilização.

Para a análise e sistematização dos resultados do nosso estudo houve que proceder previamente à caracterização química e funcional do amido de castanha, face à inexistência de investigação neste campo. A caracterização das alterações químicas e estruturais nos produtos extrudidos foi feita pelo controlo de variáveis como a dimensão, forma e aspecto dos grânulos, alterações a nível molecular do amido e através de parâmetros relativos à textura, avaliados por análise instrumental e sensorial bem como da determinação da taxa de expansão.

Julgamos assim ter contribuído, embora de forma muito modesta, para um melhor conhecimento científico sobre a composição química das farinhas de castanha e das suas propriedades funcionais, com as conseqüentes possibilidades de utilização tecnológica.

Sabemos que não há resultados nem trabalhos definitivos e acabados, por isso, se a chama da motivação não nos abandonar e os apoios mínimos indispensáveis não nos faltarem, e porque ficou caminho aberto, pensamos prosseguir aprofundando e valorizando esta linha de investigação com o objectivo de otimizar, a partir da farinha de castanha e pelo processo de extrusão-cozedura condições de processamento de novos produtos nomeadamente do tipo “cereais de pequeno-almoço” e aperitivos.

2 – A CASTANHA

2.1 – ORIGEM

A castanha é o fruto da árvore pertencente ao género *Castanea*, vulgarmente designada por castanheiro. Este género engloba espécies sem grande aptidão para a produção frutícola, bem como espécies mais frutíferas das quais se salientam:

- *Castanea sativa* (MILLER), indígena na Europa;
- *Castanea mollissima* (BLUME), originária da China;
- *Castanea dentata* (BORKH), cujo centro de origem e distribuição é a América do Norte;
- *Castanea crenata* (SIEB et ZUCC), com origem e cultura no Japão.

O castanheiro europeu ou *Castanea sativa* (MILLER) compreende ainda várias variedades com fruto de valor comercial, aparecendo já híbridos inter-específicos desta, com outras espécies, em exploração frutícola (RODRIGUES PIRES, D., 1991).

Em Portugal, cultiva-se ainda *Castanea crenata* (SIEB et ZUCC) como porta-enxerto da *Castanea sativa* (MILLER) por apresentar um melhor desenvolvimento e ser mais resistente às doenças (PAIVA, J., 1990).

O castanheiro é uma árvore de grande longevidade e porte elevado, com crescimento rápido sobretudo na idade jovem.

Apesar de se desconhecer a origem do género *Castanea* (REGO, 1987) é provável a ocorrência de vários centros de origem, nomeadamente nas regiões montanhosas da China Central e Oriental (VAVILOV, 1950) e na América do Norte (GUERREIRO, 1957).

Quanto à sua idade, pensa-se que já existisse no final do Mesozóico ou pelo menos desde o início do Terciário (FENAROLI, 1945).

Em Portugal, há indicações da sua presença no Miocénico (TEIXEIRA, C. e J. PAIS, 1976).

2.2 – ECOLOGIA DO CASTANHEIRO

Clima

A *Castanea sativa* (MILLER) é uma espécie de meia luz nas primeiras idades exigindo 6 meses de temperaturas médias superiores a 10°C (OLIVEIRA e MONTEIRO ALVES, 1987). Vegeta em estações de temperaturas médias compreendidas entre 8 e 15°C

(FENAROLI, 1945), com temperaturas médias do mês mais frio superiores a 1°C, suportando temperaturas absolutas até aos -15°C (OLIVEIRA e MONTEIRO ALVES, 1987).

Em relação à precipitação, ela ocorre em estações com valores de precipitação compreendidos entre 600 e 1600mm (ALBUQUERQUE, 1954).

Quanto à altitude encontra-se nos Alpes até 700-800m e nos locais onde a influência mediterrânica se faz sentir, como acontece no sul de Itália, onde surge aos 1200m de altitude. Em Portugal, para soutos, a cota máxima é de 900m (OLIVEIRA e MONTEIRO ALVES, 1987).

Solo

As exigências pedológicas do castanheiro incluem marcantes intolerâncias ao cálcio activo, à deficiente drenagem e à compactação. Os solos mais adequados são os solos profundos, bem drenados, ricos em matéria orgânica e potássio, de textura ligeira e com valores de PH entre 4,8 e 6 (RODRIGUES PIRES, D., 1991).

2.3 - PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

Devido à longevidade do castanheiro e à diversidade de idades e de terrenos ocupados a cultura do castanheiro em Portugal, tal como a nível europeu, é caracterizada pela heterogeneidade, o que retrata um pouco a evolução histórica da valorização da castanha (RODRIGUES PIRES, D., 1991).

Até às primeiras décadas do século XX, a castanha constituiu uma das principais reservas alimentares, quer para humanos, quer para animais, conservada inteira por poucos meses, ou em farinha por mais tempo. Com a progressiva alteração do tipo de alimentação das populações rurais, o castanheiro, como cultura de subsistência pouco exigente, foi sendo relegado para os terrenos menos férteis, dando lugar às culturas mais exigentes de cereais e batatas (CAMBRA, R., 1986).

Apesar disso na década de 50 a produção anual de castanha em Portugal ainda apresentava valores da ordem das 52 000 toneladas, com uma superfície estimada para o castanheiro de produção frutícola de 65 000 hectares (TAVEIRA FERNANDES, C., 1952). Entretanto a tinta e o cancro, principais doenças do castanheiro, o corte indiscriminado de castanheiros para madeira e o aumento das zonas urbanas levaram a uma grande diminuição das áreas ocupadas pelo castanheiro e, conseqüentemente, a uma diminuição da produção anual de castanha.

A partir da década de 40, a castanha deixou de ser um produto básico da alimentação nos países europeus, em particular da França, até então o maior produtor, onde o aumento do custo de trabalho perante os preços conseqüentes da menor procura, inviabilizaram a colheita da castanha nas condições tradicionais (INVUFLEC, 1978).

Entretanto, a partir da década de 60, a cultura do castanheiro conheceu uma fase de modernização na Itália, que parece contar com os sistemas de cultura mais rentáveis, colocando no mercado os melhores produtos (PITTE, JEAN-ROBERT, 1986). Este renovado interesse parece dever-se em parte à procura crescente de castanha por parte da indústria de doces italiana e estrangeira, o que tem conduzido a um aumento dos preços. Este facto encorajou muitos agricultores a tratar os velhos castanheiros e a plantar novos (PINNAVAIA; LERICI, & MOSCATTI, 1984). Assim a Itália, juntamente com a Grécia, Espanha e Portugal constituem os maiores produtores europeus de castanha, como se evidencia no Quadro I.

Quadro I – Produção Europeia de Castanha, 1983-1986, Ton.

PAÍS	1983	1984	1985	1986
Itália	77000	51000	39000	45000
Grécia	14000	12000	11000	26000
Espanha	28000	29000	28000	20000
Portugal	19000	18000	17000	17000
França	17000	15000	14000	15000
TOTAL	155000	125000	109000	123000

Fonte: EUROSTAT, 1988, Production Vegetale, Inc. (VAZ, M., 1989)

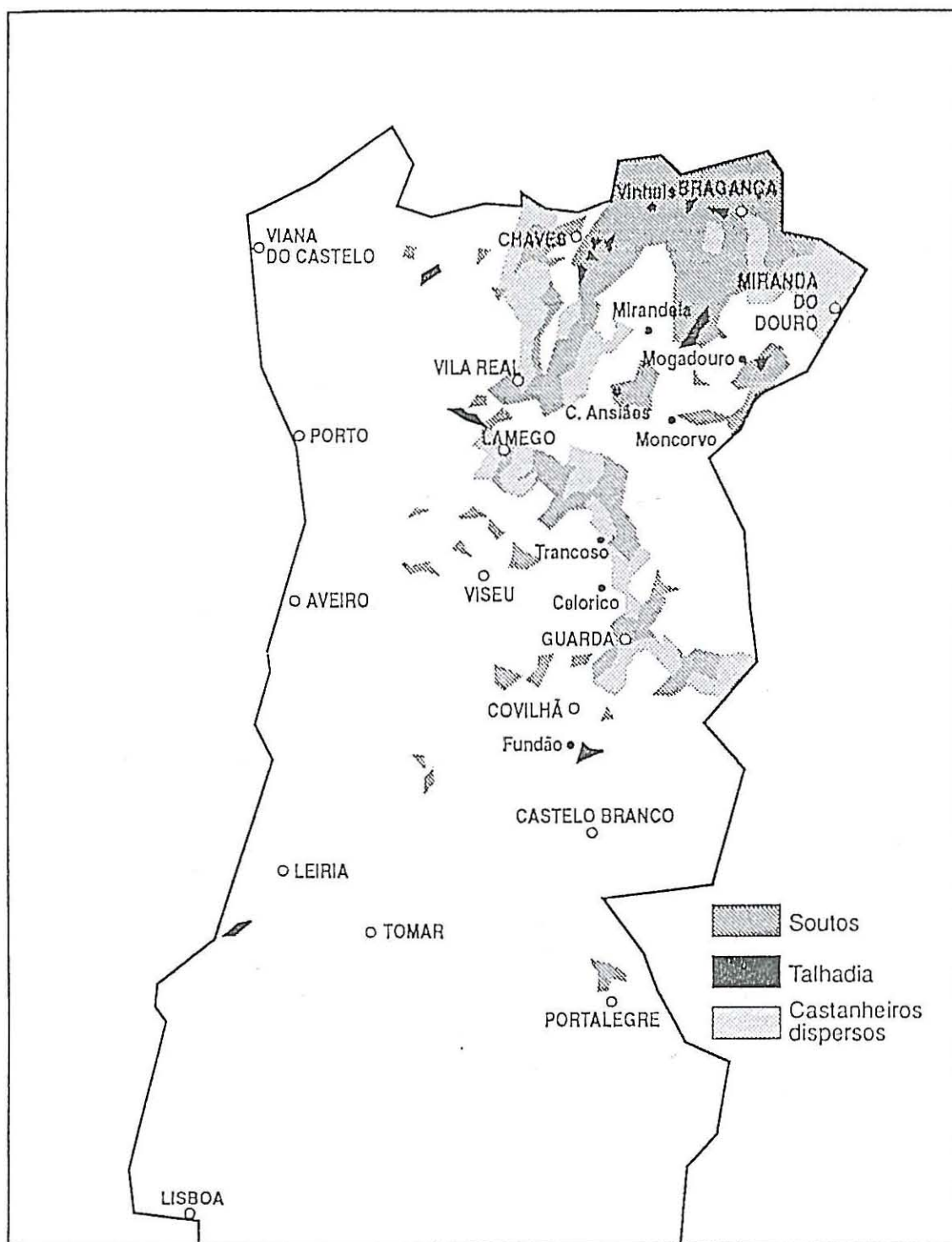
Os restantes países da CE são importadores, sendo a Alemanha e o Reino Unido os que importam os maiores quantitativos.

Em Portugal têm-se verificado reflexos da evolução na Europa, com atraso e de forma atenuada, no recesso e na modernização posterior da cultura. Apesar da dificuldade em apresentar um sistema actual de produção como representativo da cultura do castanheiro em Portugal ou na Europa, podem considerar-se 3 sistemas de produção:

- Sistema intensivo – castanhal ou pomar de castanheiro com irrigação, utilizando plantas já enxertadas de viveiro;
- Sistemas tradicionais – Souto velho, de árvores com mais de 40 anos
– Souto novo, plantado em sequeiro, com enxertia no local definitivo.

No nosso país são comuns os 2 últimos, variando os tratos culturais e os custos de produção de acordo com os preços da castanha (RODRIGUES PIRES, D., 1991).

Em Portugal a castanha é produzida principalmente nas terras frias de Trás-os-Montes e Beiras, localizando-se ainda algumas manchas isoladas de castanheiros no Alentejo (Serra de S. Mamede) e Minho (Serra do Gerês) como se pode ver no Mapa I.



Mapa I – Distribuição do castanheiro em Portugal.

Fonte: Guerreiro, M.G., 1957.

Como se pode observar no Quadro II os distritos de Bragança, Guarda e Vila Real, são os que apresentam maiores valores para a distribuição do castanheiro. Isto deve-se ao facto de apresentarem melhores condições edafo-climáticas e à importância económico-alimentar que a castanha sempre teve nesses distritos.

Quadro II – Distribuição do castanheiro em Portugal por distritos segundo o Inventário Florestal de 1984 (em hectares).

Distritos	Povoamentos puros	Mistos Dominantes	TOTAL	
			Área	%
Viana do castelo	17	–	17	0,0
Braga	1	–	1	0,0
Porto	3	–	3	0,0
Vila Real	3 803	–	3 803	12,6
Bragança	12 523	15	12 538	41,5
Aveiro	176	–	176	0,6
Viseu	3 726	24	3 750	12,4
Guarda	6 453	80	6 533	21,6
Coimbra	228	29	257	0,8
Castelo Branco	1 671	108	1 779	5,9
Leiria	79	–	79	0,3
Lisboa	–	–	–	–
Santarém	50	–	50	0,2
Setúbal	–	–	–	–
Portalegre	1 188	11	1 199	4,0
Évora	6	–	6	0,0
Beja	–	–	–	–
Faro	39	4	43	0,1
TOTAL	26 963	271	30 234	100,0

Fonte: Vieira, 1987

Em termos de exportações registou-se nos últimos anos um aumento significativo, apesar da produção se ter mantido constante ou por vezes apresentar algumas reduções como se pode ver no Quadro III.

Quadro III – Produção e Exportação de Castanha em Portugal, 1977-1978.

ANO	PRODUÇÃO (ton.)	EXPORTAÇÃO (Ton)
1977	28 705	
1978	28 131	
1979	22 224	
1980	20 224	6 150
1981	18 200	2 946
1982	17 290	4 571
1983	18 846	4 010
1984	17 901	4 271
1985	17 005	6 495
1986	16 325	5 222
1987	18 000	9 008
1988	14 500	12 200 (1)
1989	17 640	9 842 (1)
1990	17 120	14 180 (1)
1991	13 200	7 657

Fonte: INE, Estatísticas Agrícolas

(1) – ICEP

A Itália, com a cultura do castanheiro mais evoluída, com melhor tratamento e tecnologia, consegue melhor conservação e garantia para o comprador, daí o seu predomínio no abastecimento/intermediação do mercado. A França, com mais tradição de consumo em formas mais sofisticadas obtém maior valorização dos produtos de transformação. Por isso, estes dois países juntamente com a Espanha e tradicionalmente o Brasil, apresentam-se como os principais destinos da castanha portuguesa.

Quadro IV – Destinos da Exportação de Castanha Portuguesa, 1988/90 – Ton.

PAÍSES DE DESTINO	1988	1989	1990
França	5 294	4 257	5 478
Itália	2 578	621	3 887
Espanha	1 811	2 459	2 336
Brasil	1 958	1 852	1 529
R. Unido	210	150	320
Canadá	233	289	212
Áustria	-	-	110
B. Lux	-	-	106
Outros	116	214	202
TOTAL	12 200	9 842	14 180

Fonte: ICEP

A redução da produção nacional teve como causas principais a já anteriormente citada "doença da tinta", provocada por um fungo da espécie *Phytophthora cinnamomi*, o

“cancro do castanheiro” doença provocada pelo fungo *Endothia parasitica*, a introdução de novas culturas e os cortes de castanheiro, principalmente para madeira.

2.4 – CARACTERÍSTICAS COMERCIAIS DAS VARIEDADES NACIONAIS

Em Portugal, o número de variedades de castanha representativas, na produção nacional ou regional, é reduzido e a caracterização das variedades identificadas é, em geral, imprecisa. Entre as variedades comercializadas as mais referidas são: Longal, Judia, Côta, Martaínha, Lada, Bária, Colarinha e Negral (VAZ, M., 1988).

As três primeiras, são as mais importantes, quer no que diz respeito ao seu valor comercial quer ao valor alimentar, fazendo-se por isso uma breve referência:

Côta – é bastante apreciada pelas suas características organolépticas (doce e saborosa) e por ser facilmente transformada em farinha com boa aplicação em doçaria. É arredondada e de cor vermelho acastanhado. Cada ouriço apresenta 2 a 3 castanhas com maturação bastante cedo, fins de Setembro. No entanto, conserva-se mal depreciando-se como castanha de exportação.

Judia – é de todas a que apresenta maior tamanho. Tem uma cor vermelho vivo e conserva-se regularmente. Porém, descasca-se com muita dificuldade, o que limita a sua aplicação na indústria de confeitaria. É relativamente doce e saborosa.

É produzida por uma forma cultural de castanheiro de produções regulares, em ouriços com 3 a 6 castanhas e com maturação no mês de Outubro. Constitui, de entre os três tipos referidos o único que atinge a qualidade “extra” (produz um quilograma com menos de 40 castanhas). É preferida pelos mercados da América do Norte.

Longal – apresenta um tamanho médio, um bom poder de conservação e boas qualidades organolépticas (é bastante doce e saborosa). Tem cor avermelhado vivo e descasca-se com facilidade. Apresenta em geral 3 frutos em cada ouriço, com maturação bastante tardia (fins de Outubro, princípios de Novembro). Não atinge a qualidade “extra”, mas encontra-se com frequência nas qualidades “selecta” (68 frutos por quilograma) e “corrente” (83 frutos por quilograma).

A Longal era a de maior produção nacional, mas por apresentar calibre relativamente menor e por ser tardia, há uma tendência à sua redução em favor de outras de maior calibre e mais precoces, sejam as nacionais Judia e Martaínha, sejam outras importadas (RODRIGUES PIRES, 1991).

2.5 – IMPORTÂNCIA NA ALIMENTAÇÃO PORTUGUESA

Segundo TAVEIRA FERNANDES (1954), a castanha foi, durante muitos anos, o principal alimento das populações rurais das regiões montanhosas propícias à cultura do castanheiro. O seu consumo atingia proporções elevadas, sobretudo durante os meses de Setembro a Março, não só por ser um produto alimentar muito apreciado, mas também devido à fraca variedade e disponibilidade de outros alimentos.

A alimentação dos nossos antepassados, principalmente nas zonas Norte e Centro de Portugal, era baseada quase exclusivamente no pão de centeio, na carne, leite e legumes. No entanto, a castanha não faltava na maioria das refeições sendo consumida em fresco (crua, cozida ou assada) ou depois de seca (pilada). Em muitas localidades onde a colheita era abundante, ela era transformada em farinha, a qual era aplicada na confecção de sopas suculentas ou no fabrico de pão. Mas por haver dificuldades na panificação e além disso por o pão apresentar deficientes características organolépticas (gosto adocicado e não muito saboroso), a sua utilização foi sendo abandonada a favor do pão de centeio.

A castanha e o centeio constituíram assim, e durante muito tempo, os produtos alimentares mais frequentes nas refeições das populações rurais das regiões citadas. Mas com o decorrer dos anos este tipo de alimentação foi sendo progressivamente alterado, pela introdução de novos produtos e pelo aumento do consumo de outros principalmente a batata, o milho, o trigo e o azeite. Estes produtos tiveram de início alguma dificuldade em generalizar-se mas, com o tempo, nas localidades onde as características ecológicas o permitiam, acabaram por tomar preferência vindo a instalar-se nos melhores terrenos, ficando as culturas do castanheiro e do centeio nos terrenos menos férteis (TAVEIRA FERNANDES, 1954). Contribuiu também para esta tendência a progressiva melhoria que, apesar de tudo, se tem verificado no poder de compra das populações rurais permitindo-lhes uma maior diversificação da sua dieta alimentar.

Actualmente, a castanha já não serve de sustento directo das populações rurais constituindo antes uma importante fonte de rendimento já que se tem verificado uma procura crescente deste produto, sobretudo no estrangeiro.

Permanece ainda o consumo doméstico e também a procura mais relacionada com as festas de fim de ano e o consumo tradicional da castanha assada, vendida por assadores nas ruas das cidades; nas regiões produtoras é também habitual o consumo de castanha cozida ou assada. O consumo no mercado nacional é assim, na quase totalidade, em espécie, sem mais transformações que o cozimento ou a assadura (RODRIGUES PIRES, D., 1991).

Apesar de a castanha ter perdido a importância que outrora teve na alimentação portuguesa, é de salientar a sua utilização, e com interesse cada vez maior, em pastelaria e na alimentação de crianças com problemas alérgicos (MARTINS, I., 1983).

2.6 – VALOR NUTRITIVO

Os valores nutritivos e as qualidades organolépticas da castanha variam de região para região com o clima, com a natureza do solo, com a altitude e exposição do terreno e até com o vigor e idade da árvore (TAVEIRA FERNANDES, 1954). De qualquer modo é certo que a castanha constitui um bom alimento.

Para uma melhor avaliação do valor nutritivo da castanha apresenta-se a seguir a composição média da castanha:

Quadro V – Composição da castanha (g/100g produto edível ou mg/100g produto edível).

CASTANHA	Água (g)	Proteína (g)	Gordura (g)	Glúcidos (g)	Amido (g)	Fibra (g)	Cálcio (mg)	Fósforo (mg)
	48,5	3,1	1,1	39,8	27,5	1,6*	20	63
Necessidades diárias (Homem adulto)	-----	75	75	456	-----	11	1200	1200

Quadro V – Composição da castanha (g/100g produto edível ou mg/100g produto edível) (continuação).

Sódio (mg)	Cobre (mg)	Zinco (mg)	Ferro (mg)	Potássio (mg)	Magnésio (mg)	Vitaminas (mg)				Energia (kcal)
						B1	B2	PP	C	
9	0,4	720	0,8	525	47	0,220	0,120	2,0	51	182
2200	2,5	15	15	3700	350	1,5	1,8	18	75	2800

* – Celulose

Fontes: Gonçalves Ferreira & Graça, M.E.S., 1977

Tabela de Necessidades da População Portuguesa, 1983

A parte edível da castanha é de 83%. Da análise dos valores do Quadro V verifica-se que a água é o componente que existe em maior quantidade seguindo-se-lhe o amido, que, expresso em termos de matéria seca constitui cerca de 53,4%.

Em termos de glúcidos é pois o amido aquele que existe, de longe, em maior proporção na castanha, como se pode ver no Quadro VI.

Quadro VI – Composição em glúcidos da castanha (g/100g produto edível).

Açúcares redutores	Sacarose	Pentosanas	Celulose	Amido	Total
0,6	9	1,1	1,6	27,5	39,8

Fonte: Gonçalves Ferreira & Graça, M.E.S., 1977

A castanha tem assim um elevado teor de amido, o que é benéfico como factor preventivo da diabetes. Por outro lado, parece conferir-lhe uma acção anti-alérgica apreciável, segundo provam vários estudos feitos em crianças que apresentavam variados tipos de alergias e intolerâncias (MARTINS, I., 1983).

Segundo SINCLAIR e HOLLINGSWORTH (1969), o teor em vitamina C na castanha é também de considerar pois é semelhante ao dos citrinos.

São também importantes os valores de minerais como potássio, fósforo, sódio, cálcio e magnésio.

Em conclusão, podemos afirmar que o aspecto mais significativo no valor nutricional da castanha é o seu elevado teor em glúcidos de molécula complexa, como o amido, e a existência de um baixo teor de proteínas e gordura (MARTINS, I., 1983).

2.7 – PERSPECTIVAS FUTURAS PARA A PRODUÇÃO DE CASTANHA

A diminuição da produção de castanha e a sua canalização para exportação levaram a um aumento do seu preço, tendo as populações rurais visto aí uma forma de aumentar os seus fracos recursos vendendo-a. Os preços que nos últimos anos têm sido praticados levaram os agricultores a interessarem-se de novo pelo castanheiro e hoje podem ver-se, sobretudo nas terras frias de Trás-os-Montes e Beiras, vastas áreas repovoadas de castanheiros jovens bem como um melhor tratamento dos antigos soutos.

Também por parte de organismos governamentais, nomeadamente a Direcção-Geral das Florestas e as instituições de investigação e ensino, em particular as Universidades e Institutos Politécnicos das regiões onde esta árvore provou ao longo dos séculos estar perfeitamente inserida num ecossistema equilibrado, se tem verificado um grande esforço no fomento do castanheiro.

É pois de esperar que após estes esforços de fomento do castanheiro se venha a observar um conseqüente aumento da produção de castanha nos próximos anos. Pensamos que devido ao baixo custo de produção e ao valor alimentar da castanha, estes esforços devem ser incrementados desenvolvendo-se paralelamente técnicas de conservação e transformação pois muitas são as aplicações das quais a industria pode tirar proveito.

2.8 – INDÚSTRIA TRANSFORMADORA DE CASTANHA EM PORTUGAL

A indústria de transformação de castanha no nosso país tem-se resumido praticamente à sua congelação, começando já a verificar-se, embora em fase inicial, outras formas de transformação. Assim, é de esperar que a curto prazo se encontrem outros derivados da castanha, como resultado da entrada em laboração de novas unidades industriais actualmente em fase de implementação.

O processo de congelação da castanha inclui diversas etapas: descasque e pelagem da castanha, seguindo-se o seu arrefecimento em água gelada e por fim a congelação. A castanha congelada é exportada na quase totalidade para os países de C.E..

As novas unidades em instalação, irão produzir uma gama variada de produtos: puré e creme (doce) de castanha, castanha em calda, castanha cristalizada (marron glacê) e farinha de castanha.

A indústria transformadora de castanha necessita, para cada tipo de produto, de matéria-prima com características bem definidas no que se refere ao calibre, estado sanitário, sabor, facilidade de descasque e pelagem.

O incremento desta indústria é de louvar pois os valores das nossas produções justificam-na, tanto mais que, como se viu, grande parte da nossa produção é exportada para França e Itália onde é por sua vez transformada.

3 – A EXTRUSÃO-COZEDURA EM TECNOLOGIA ALIMENTAR

3.1– DEFINIÇÃO DA OPERAÇÃO

A extrusão pode ser definida como a acção pela qual se dá forma a um produto forçando a sua passagem através de um orifício; essa passagem forçada do material pode ser feita de dois modos diferentes: por acção de um êmbolo ou então por um processo contínuo onde o produto é conduzido por um parafuso em hélice ao longo do espaço confinado entre o parafuso e uma manga, sendo obrigado a sair por um orifício devido à acção de uma forte pressão (MUELENAERE, 1989). O material é geralmente sólido à temperatura ambiente sofrendo durante a extrusão um amolecimento ou mesmo a fusão, o que facilita o seu escoamento. O produto é moldado pelo orifício de saída firmando a sua forma após o arrefecimento (BAIRD e REED, 1989).

O mecanismo de escoamento de um fluido dentro da extrusora é facilmente explicado examinando o que se passa quando um fluido está entre dois pratos paralelos, estando um deles em movimento em relação ao outro: o prato móvel induz o escoamento do fluido por um mecanismo de arrastamento, o qual vai submeter a pressão o fluido através de uma pressurização viscosa dinâmica. Quando esta pressão é transferida do prato móvel para o fluido origina um aumento de pressão. Este é o princípio básico pelo qual as principais extrusoras criam as elevadas pressões necessárias a forçar a saída do fluido através do orifício de saída (BAIRD e REED, 1989).

Segundo HARPER (1981), uma extrusora é uma máquina que dá forma aos materiais pelo processo de extrusão. São possíveis vários desenhos para as extrusoras. As mais comuns são constituídas por um parafuso helicoidal que gira dentro de uma manga ou carcaça. As extrusoras podem desempenhar várias tarefas na indústria alimentar, dependendo do seu design. Podem ser usadas para misturar, amassar, separar, plasticizar, gelatinizar, texturizar, dissolver, cozer, fundir, tostar, caramelizar, esterilizar, secar, cristalizar, promover reacções e moldar. Muitos destes processos podem ser combinados, escolhendo os parâmetros de extrusão adequados à obtenção do produto final e/ou dos produtos intermédios pretendidos (MEUSER e WIEDMANN, 1989).

No processo de extrusão, frequentemente é aplicado ou gerado calor, o que leva à formação contínua de materiais plásticos, denominando-se este processo por extrusão-cozedura (MUELENAERE, 1989)

Para HARPER (1981) a extrusão-cozedura é o processo que combina o fornecimento de calor aos alimentos com o acto de extrudir, de modo a cozer e a formar um determinado produto alimentar. É um processo através do qual materiais com um certo teor de humidade, amiláceos e/ou proteaginosos, são cozidos e processados de forma a constituírem uma massa plástica viscosa. A cozedura é obtida através da aplicação directa de calor (feita por injeção de vapor), e indirectamente por meio de camisas que envolvem a manga e pela dissipação da energia mecânica gerada pelas

tensões tangenciais que se verificam dentro da massa. Esta aplicação de calor tem várias consequências: a gelatinização do amido, a desnaturação das proteínas, a inativação enzimática, a destruição de toxinas e factores anti-nutricionais e uma diminuição nas contagens microbianas efectuadas no produto final.

As temperaturas atingidas no processo de extrusão-cozedura podem ser muito elevadas (superiores mesmo a 200°C). No entanto, o tempo de residência do material a estas temperaturas é muito reduzido (entre 10 e 60 segundos) (HARPER, 1978). Assim, pode-se considerar a extrusão-cozedura como um processo HT-ST (high temperature-short time), que pretende maximizar os efeitos benéficos do aquecimento (como por exemplo o aumento da digestibilidade, para além dos referidos anteriormente) e minimizar eventuais efeitos prejudiciais (acastanhamento, inativação de vitaminas e aminoácidos essenciais, aparecimento de sabores estranhos, etc.)

Uma vez o produto cozido, ele é forçado a sair pelo orifício de saída da extrusora.

Apesar das temperaturas elevadas que se podem verificar no interior da extrusora, a água contida no material não atinge o ponto de ebulição nem se liberta devido às elevadas pressões que se desenvolvem. No entanto, a elevada pressão que se regista antes do ponto de descarga é aliviada quando ocorre a saída do material. Esta rápida diminuição da pressão provoca a expansão do produto sempre que a temperatura de extrusão exceder o ponto normal de ebulição da água, uma vez que a água sobreaquecida escapa-se instantaneamente. A brusca libertação de humidade que se verifica à saída da extrusora provoca o arrefecimento adiabático do sistema; em poucos segundos a temperatura do produto desce aproximadamente até aos 80°C e o extrudido adquire uma estrutura rígida, mantendo a sua estrutura alveolar (HARPER, 1978).

3.2 – VANTAGENS DA EXTRUSÃO-COZEDURA EM TECNOLOGIA ALIMENTAR

A rápida aceitação do processo de extrusão como uma tecnologia importante para a produção de uma grande variedade de produtos, nomeadamente na indústria alimentar onde é utilizada há mais de 50 anos, é devida às suas numerosas vantagens: 1) é um processo em contínuo; 2) tem elevada eficiência energética; 3) permite processar materiais viscosos relativamente secos; 4) melhora as características texturais e o “flavor” dos alimentos; 5) permite controlar as alterações de origem térmica que possam ocorrer nos constituintes dos alimentos e 6) possibilita o uso de ingredientes não convencionais (HARPER, 1989).

HARPER (1981), baseando-se numa lista anteriormente elaborada por SMITH (1969), indica como principais vantagens:

- a) **versatilidade** – uma grande variedade de alimentos podem ser produzidos, partindo-se de numerosos ingredientes crus e de diversas condições de processamento;
- b) **elevada produtividade** – uma extrusora permite um sistema de processamento em contínuo, com uma capacidade de produção superior a qualquer outro sistema que também possibilite a cozedura e confira a forma ;
- c) **baixos custos** – as necessidades, quer de espaço quer de trabalho, por unidade de produção são mais baixas que nos outros sistemas alternativos, aumentando a sua eficiência de custos;
- d) **eficiência energética** – os sistemas de processamento por extrusão operam com teores de humidade relativamente baixos, diminuindo assim a quantidade de calor que é necessária para cozer os alimentos e para secar os produtos após a extrusão;
- e) **possibilidade de obter produtos com forma e tamanho variáveis;**
- f) **aumentar a qualidade do produto** – pelo facto da extrusão-cozedura ser um processo HT-ST, a degradação dos nutrientes pelo calor é minimizada enquanto que a digestibilidade aumenta, através da gelatinização do amido e da desnaturação das proteínas. Para além disto, permite a destruição de algumas enzimas indesejáveis (como as lipases), de microrganismos e de componentes anti-nutricionais como os inibidores da tripsina, hemaglutininas e o gossipol;
- g) **produção de novos alimentos** – através da extrusão é possível modificar as proteínas vegetais, amidos e outros componentes de uma grande variedade de materiais crus; as diferentes combinações destes possibilitam a produção de um elevado número de novos produtos alimentares;
- h) **não produz efluentes.**

Para MEUSER e WIEDMANN (1989) a extrusão tem ainda duas outras vantagens, relacionadas com a qualidade do produto final: há maior qualidade em termos sensoriais e de higiene, permitindo ainda a destruição de esporos termofílicos.

3.3 – EVOLUÇÃO DA EXTRUSÃO-COZEDURA EM TECNOLOGIA ALIMENTAR

A utilização da extrusão em contínuo no processamento dos alimentos é uma tecnologia relativamente recente e que teve duas origens distintas (MERCIER e CANTARELLI, 1986):

- por um lado, deriva de uma alteração que ocorreu em meados do século XIX na produção tradicional de massas alimentícias em pequena escala, e que consistiu na substituição do processo de laminagem pela moldagem em extrusoras descontínuas;
- por outro lado, e já mais recentemente, deriva do processo de moldagem térmica de polímeros plásticos sintéticos, o qual contribuiu fortemente para o desenvolvimento dos mecanismos de extrusão em contínuo.

As primeiras aplicações da extrusão em alimentos datam de meados do século passado, com a produção de salsichas e o processamento de carnes (HARPER, 1980). No entanto, só a partir dos anos 30 ocorreu a substituição das antigas extrusoras (mecânicas ou hidráulicas) que eram utilizadas na produção de massas alimentícias, por extrusoras de funcionamento em contínuo. Para HAUCK e HUBER (1989) esta foi a primeira grande aplicação comercial de uma extrusora de parafuso simples na indústria alimentar. Estas extrusoras foram usadas inicialmente para dar forma e moldar produtos alimentares tais como macarrão e cereais prontos a comer ("ready-to-eat cereals") Nestas operações, havia um aquecimento ou uma cozedura relativamente pequenos dentro da extrusora (HARPER, 1986). Fazia-se a conversão de semolinhas ou farinhas em massas alimentícias por moldagem a frio, aplicando baixas tensões tangenciais e baixas temperaturas.

Nesta década começaram a produzir-se, em Itália e Inglaterra, fibras têxteis artificiais a partir de proteínas fibrilares, tendo-se nos anos 60 a adaptação com êxito deste método para as proteínas de soja como processo de texturização no fabrico de alimentos (MERCIER e CANTARELLI, 1986).

Só no fim dos anos 40 surgiram extrusoras que além de fazerem a moldagem do material proporcionavam a sua cozedura (DZIEZAK, 1989). Foi nesta altura que se iniciou a comercialização dos primeiros produtos alimentares obtidos por extrusão-cozedura em extrusoras de parafuso simples – os aperitivos de milho. Aqui, o material era suficientemente aquecido no interior da extrusora para se dar a gelatinização completa do amido. Dadas as condições de humidade e de temperatura que se verificavam durante o processamento, dava-se uma expansão exotérmica do material depois de sair da extrusora, resultando um produto leve e estaladiço (HANCK e HUBER, 1989). Alguns anos mais tarde, a introdução de sistemas de aquecimento e arrefecimento externos na barra da extrusora permitiu a produção de cereais pré-cozidos e de misturas de oleoginosas para a alimentação de animais (ANON, 1966).

No final dos anos 60 descobriu-se que se podia obter a texturização de proteínas vegetais pela reorientação e quebra das ligações de biopolímeros por extrusão-cozedura (ATKINSON, 1970).

Os anos 80 trouxeram a rápida comercialização dos mais variados tipos de alimentos extrudidos para alimentação humana e animal, tendo-se verificado por exemplo, um grande crescimento na produção, por esta via, de alimentos para espécies aquáticas.

O facto da extrusão ser muito versátil e constituir um processo HT-ST, para além de outras vantagens, faz com que ela ofereça várias alternativas relativamente às

tecnologias convencionais. Actualmente, uma vasta e variada gama de produtos é produzida por este processo incluindo amidos e farinhas pré-gelatinizadas, xaropes, produtos de confeitaria, produtos de humidade intermédia e alimentos proteaginosos texturizados.

A aplicação específica da extrusão em alimentos baseia-se na gelatinização e quebra das moléculas de amido, na formação de complexos, na modificação e texturização de proteínas, na expansão, etc..

Apesar do desenvolvimento que tem havido nesta área, a produção industrial de géneros alimentícios por extrusão, quer a efectuada a altas temperaturas, quer a frio, tem sido desenvolvida sobretudo empiricamente (MERCIER e CANTARELLI, 1986). No entanto, tem-se intensificado a investigação com o objectivo de tentar perceber as modificações bioquímicas, fisico-químicas, reológicas, microbiológicas e nutricionais que ocorrem nos vários substratos (principalmente amiláceos e proteaginosos) durante o processamento, assim como definir as condições de operação mais adequadas para os diferentes produtos.

Têm-se também feito estudos sobre a geometria das extrusoras e as suas condições de operação com o fim de obter a optimização do processo em termos da qualidade do produto final (aceitabilidade, valor nutricional, capacidade de conservação, padrões de higiene, etc.), do consumo energético, da produtividade e dos custos de instalação e manutenção do equipamento (MARTINS, G., 1990).

3.4 – PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA EXTRUSORA

Apresenta-se na Figura 1 o esquema geral de uma extrusora de parafuso simples, estando indicadas as três secções em que consiste o parafuso: zona de alimentação, zona de transição ou de mistura e zona de cozedura.

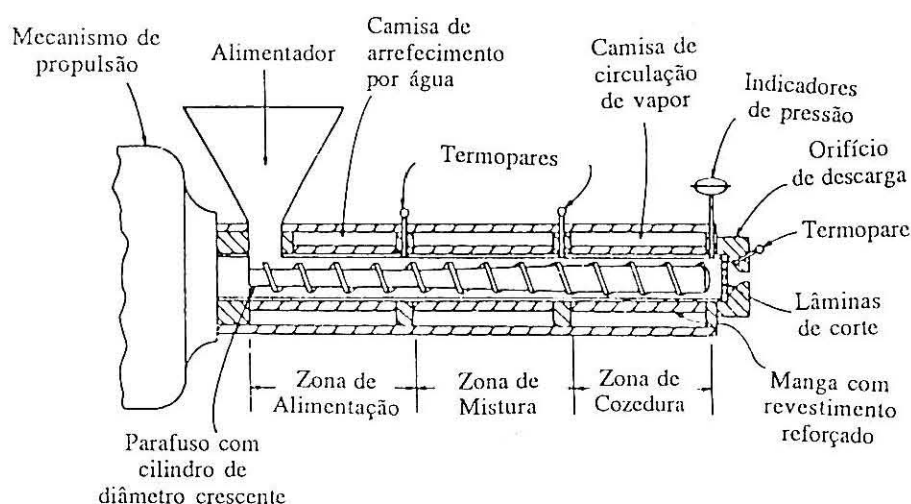


Figura 1 – Secção transversal de uma extrusora de parafuso simples.

Fonte: HARPER, 1986.

Existem modelos que incluem um pré-condicionador para aentar o tempo de residência, reduzir o consumo de energia e/ou aumentar a sua capacidade.

A breve descrição das componentes de uma extrusora que se faz a seguir é baseada em MUELENAERE (1989).

3.4.1.- MECANISMO DE PROPULSÃO

O movimento de rotação do parafuso da extrusora é produzido por um motor eléctrico. Existe um redutor cuja função é reduzir proporcionalmente a velocidade de rotação do parafuso a qual, dependendo do grau de sofisticação da extrusora, pode ser fixa ou variável.

3.4.2.- PARAFUSO DA EXTRUSORA

O parafuso, girando dentro de uma manga ajustada molda e conduz o material até ao orifício de descarga. O tipo de trabalho que a extrusora vai executar é definido por vários parâmetros entre os quais a configuração, comprimento, geometria e velocidade do parafuso.

Configuração do parafuso

Existem vários tipos de configuração entre os quais:

- 1) **Parafuso de Arquimedes:** é o parafuso mais elementar, consistindo num cilindro à volta do qual existe uma hélice; a profundidade e o passo da hélice permanecem constantes ao longo de todo o comprimento do cilindro;
- 2) **Parafuso com cilindro de diâmetro constante e passo decrescente:** à medida que o passo vai diminuindo vai-se dando um acréscimo de pressão pois a distância entre os elementos da hélice é cada vez menor;
- 3) **Parafuso de passo constante e cilindro de diâmetro crescente:** origina um efeito semelhante ao do parafuso anterior;
- 4) **Parafuso com passo constante e cilindro de diâmetro constante mas com restrições:** as restrições evitam que o produto seja empurrado para trás, em direcção à entrada, devido à pressão que se gera antes do orifício de descarga.

Velocidade do parafuso

A velocidade do parafuso que é escolhida depende do tipo de produto que se quer obter podendo variar desde 30 rotações por minuto (r.p.m.) no caso da extrusão contínua de massas alimentícias (tendo como objectivo a mistura dos ingredientes e/ou

um processo de moldagem a frio), até 300 r.p.m. nos processos de extrusão-cozedura em que se pretendam desenvolver elevadas tensões tangenciais com o fim de maximizar as transferências de calor e as alterações moleculares dos constituintes do produto.

Parafuso de cilindro oco

Existem extrusoras em que o cilindro do parafuso é oco, permitindo a circulação no seu interior de um fluido que faz o aquecimento ou o arrefecimento do material a ser extrudido.

3.4.3. – MANGA DA EXTRUSORA

A manga da extrusora é uma estrutura cilíndrica que contém o parafuso. A superfície interna da manga pode ser lisa ou ter estrias superficiais, paralelas ao comprimento da manga ou então dispostas em hélice com uma direcção oposta à da rotação do parafuso. Estas estrias ajudam o parafuso a impulsionar o material contra a pressão que se desenvolve durante o processo de extrusão.

Nos casos em que a taxa de compressão é muito elevada, a manga está subdividida em segmentos ligados entre si os quais podem ser aquecidos ou arrefecidos. Segundo HARPER (1978), camisas de aquecimento ou arrefecimento envolvendo a manga permitem um controlo mais fácil e uma maior flexibilidade da operação. Geralmente, a secção de alimentação é envolvida por uma camisa de arrefecimento enquanto que à saída da extrusora é de aquecimento, para aumentar o grau de cozedura e a capacidade de extrusão.

Nas camisas podem circular fluidos como vapor, óleo aquecido ou um líquido refrigerante, embora o aquecimento dos vários segmentos possa também ser eléctrico.

3.4.4. – ALIMENTAÇÃO DA EXTRUSORA

Um dos factores mais importantes para que se tenha um controlo conveniente do processo de extrusão consiste numa alimentação constante do material a extrudir.

Enquanto que para líquidos existem alimentadores que funcionam por bombeamento, para materiais soltos e secos podem usar-se alimentadores vibratórios, de sonda ou de pás para uma medição volumétrica do fluxo de material.

3.4.5 – PRÉ-CONDICIONADOR

Consiste numa câmara à pressão atmosférica na qual os ingredientes granulares, e na sua forma nativa, são uniformemente humedecidos e/ou aquecidos através do contacto com água ou vapor, antes de entrarem na extrusora. Os pré-condicionadores pressurizados têm a vantagem de poderem atingir temperaturas de descarga mais

elevadas. É ainda muito importante que um pré-condicionador envie para o alimentador da extrusora os ingredientes uniformemente tratados (HARPER, 1986).

3.4.6 – SAÍDA DA EXTRUSORA

Quando atinge a extremidade do parafuso o material encontra um espaço vazio antes de ser forçado a atravessar a cabeça da extrusora. É nesta altura que o produto atinge a temperatura mais elevada. Também a pressão a que está sujeito alcança o seu valor máximo, ao ser empurrado contra o prato do molde.

Prato do molde

O prato do molde tem vários orifícios podendo ser inserido em cada um deles um molde com o formato desejado.

A área total dos orifícios dos moldes e a quantidade de produto que é obrigada a atravessar o prato do molde é que vão definir a pressão total exercida pela extrusora.

A forma do produto final vai ser definida principalmente pela configuração dos orifícios juntamente com o comportamento do fluido à saída e com as lâminas de corte.

A direcção da expansão do produto é definida pelo desenho interno da parte do molde que está inserida no prato.

3.4.7 – LÂMINAS DE CORTE

Se o produto estiver suficientemente seco à saída da extrusora pode ser cortado em pedaços através de um conjunto de lâminas que giram num plano paralelo ao da face do molde. O comprimento dos pedaços é controlado pelo número e velocidade das lâminas de corte.

3.5 – CLASSIFICAÇÃO E FUNCIONAMENTO DAS EXTRUSORAS ALIMENTARES

Existem várias formas de classificar as extrusoras. HARPER (1981), por exemplo, classificou as extrusoras tendo por base:

a) características funcionais relacionadas con o tipo de produto que produzem:

- extrusoras de massas alimentícias;
- extrusoras de alta pressão;
- extrusoras de moderada tensão tangencial;
- extrusoras “collet”;
- extrusoras de elevada tensão tangencial.

b) considerações termodinâmicas:

- extrusoras autogénas
- extrusoras isotérmicas
- extrusoras politrópicas

c) o teor de humidade dos materiais a serem extrudidos.

No entanto, a classificação mais vulgar divide as extrusoras em:

- I. extrusoras de parafuso simples.
- II. extrusoras de parafuso duplo.

I. EXTRUSORAS DE PARAFUSO SIMPLES

Estas extrusoras foram desenvolvidas por volta de 1940 com o objectivo de produzirem aperitivos expandidos a partir de farinhas ou “grits” de cereais. Desde então, surgiram uma grande variedade de máquinas tendo-se feito alterações mecânicas de modo a aumentar a flexibilidade e a capacidade do processo de extrusão-cozedura (HARPER, 1986).

Estas extrusoras podem produzir uma vasta gama de alimentos, sendo de destacar as massas alimentícias, os aperitivos expandidos produzidos a partir de milho e aromatizados com óleos e aromas doces ou picantes, e os C.P.A. (cereais de pequeno-almoço) feitos a partir de uma grande variedade de cereais, sendo geralmente aromatizados, adoçados e enriquecidos com vitaminas e minerais. Outros produtos importantes são as bases para sopas e bebidas, o amido pré-gelatinizado e a proteína de soja texturizada.

Pelo facto de terem uma capacidade de mistura relativamente pequena, este tipo de extrusora é geralmente usada com materiais que já tenham sido previamente misturados e/ou condicionados (DZIEZAK, 1989).

O parafuso da extrusora, girando dentro de uma manga muito bem ajustada, conduz, aquece e trabalha os ingredientes de modo a formarem um material plástico contínuo (HARPER, 1986). A única força que impede a rotação do material juntamente com o parafuso, obrigando-o por isso a avançar, é a fricção contra as paredes da manga; assim, o transporte do material depende das forças de fricção e da viscosidade da massa (FICHTALI e VAN DE VOORT, 1989).

À medida que o material se desloca passa de um estado granular para um estado de massa viscoamorfa, chegando finalmente a um produto com propriedades específicas. Estas alterações no produto ocorrem em zonas específicas do parafuso na extrusora:

– **na zona de alimentação** dá-se a recepção e condução do material no interior da extrusora. A hélice do parafuso é bastante profunda de modo a assegurar um conveniente enchimento dos canais por onde passa o fluxo. Nesta zona o material apresenta baixa densidade (devido ao ar nele contido e à sua natureza granular) sendo o ar expelido à medida que o material é levemente comprimido. É ainda frequente fazer-se a

injecção de vapor de água para alterar o desenvolvimento da textura e da viscosidade do material, assim como para aumentar a transferência de calor por condução.

A relação entre a área de escoamento na zona de alimentação e a das zonas posteriores é definida como a taxa de compressão, a qual pode variar de 1:1 até 5:1 (HARPER, 1989);

– **na zona de mistura ou de transição** a profundidade da hélice e o passo do parafuso vão diminuindo gradualmente, o que origina uma considerável compressão e mistura. A taxa de compressão aumenta rapidamente dando-se a dissipação da maior parte da energia mecânica, o que causa o aumento rápido da temperatura dos ingredientes e a transformação do material para um estado tal que se torna uma massa contínua plasticizada (HARPER, 1986). Ao atravessar esta zona o material vai-se transformando num fluido de massa mais íntegra, atingindo o estado de compactação máxima;

– **na zona de cozedura** a hélice é pouco profunda e as restrições que existem imediatamente antes da saída do material, vão provocar uma tensão tangencial muito elevada e uma mistura interna sob alta pressão. A temperatura e a pressão aumentam rapidamente e, se não for feito um arrefecimento, atinge-se a temperatura mais elevada do sistema; o material está transformado numa massa amorfa viscosa. O tempo de residência nesta área é muito curto.

A textura, densidade e propriedades funcionais desejadas no produto final irão resultar da pressão, temperatura e viscosidade do fluido ao sair pelo orifício de descarga.

O escoamento do material através deste tipo de extrusora resulta da combinação de três tipos de escoamento que ocorrem no sistema (LEVINE, 1988) :

– **escoamento por arrastamento** – é o fluxo de material que é bombeado para a frente como resultado do movimento relativo entre o parafuso e a manga. O relevo da hélice do parafuso conduz o material ao longo da barra, o qual não roda juntamente com o parafuso devido à reduzida inclinação da parede da barra;

– **escoamento por pressão** – é o fluxo que ocorre devido à existência de um gradiente de pressão entre a zona inicial do parafuso e a zona de descarga da extrusora. Este escoamento tem geralmente sentido oposto ao anterior devido à pressão ser mais elevada antes do orifício de saída relativamente à da zona inicial do parafuso;

– **escoamento por laminagem** – tem também origem num gradiente de pressão, escoando-se o fluido nos espaços que existem entre a hélice do parafuso e a parede interna da manga. Tal como o escoamento anterior, este também tem um sentido que reduz o “output” da extrusora.

Durante o processo de extrusão, o calor que é fornecido ao produto provém de várias fontes: 1) da dissipação viscosa da energia mecânica usada para girar o parafuso; 2) do calor transferido através da manga e 3) do calor latente do vapor injectado directamente sobre os ingredientes no pré-condicionador (HARPER, 1989).

II. EXTRUSORAS DE PARAFUSO DUPLO

As extrusoras de parafuso duplo diferem das de parafuso simples devido a serem constituídas por dois parafusos que funcionam em paralelo, podendo ou não interligar-se.

Este tipo de extrusoras inclui uma grande variedade de máquinas que se diferenciam na sua capacidade, características mecânicas e características de processamento, podendo ser classificadas de várias formas, sendo o critério mais frequente a direcção de rotação de cada um dos parafusos (DZIEZAK, 1989).

Os aparelhos co-rotativos, cujos parafusos rodam na mesma direcção, têm sido os mais utilizados na indústria alimentar uma vez que a sua capacidade de produção é superior, o que é devido a um maior espaço vazio entre os parafusos e à maior velocidade a que estes operam. Já as extrusoras contra-rotativas devem ser usadas quando se pretende uma forte acção de condução positiva, baixas taxas de tensão tangencial e pequenos tempos de residência, como é o caso dos materiais termicamente sensíveis (FICHTALI e VAN DE VOORT, 1989).

Segundo HARPER (1986), o interesse das extrusoras de parafuso duplo reside nas suas maiores capacidades operacionais e numa mais vasta gama de aplicações. Assim, para além de poderem produzir os alimentos que geralmente são obtidos em extrusoras de parafuso simples, as de duplo parafuso podem ser utilizadas no fabrico de produtos de confeitaria, incluindo caramelos, bombons, rebuçados e também em bases feitas com cereais expandidos que depois são utilizadas na produção de bombons e chocolates. Mais ainda, têm potencialidades para substituir as linhas de cozedura na produção de pequenos bolos e de bolachas, tendo como resultado uma redução nos custos com equipamento e na energia utilizada.

As extrusoras de duplo parafuso têm sido alvo de um interesse crescente que se deve sobretudo à sua grande flexibilidade no controlo do produto e dos parâmetros do processo. Estas extrusoras possibilitam um processamento mais estável que as de parafuso simples uma vez que conseguem reduzir as flutuações de pressão junto à zona de descarga, sendo 1,5 a 2 vezes mais caras que as de parafuso simples. Este custo adicional é devido à maior complexidade mecânica, associada a um aumento na capacidade de transferência de calor. Esta última característica expande a sua aplicação ao aquecimento e arrefecimento de pastas viscosas e soluções (HARPER, 1986).

Nas extrusoras de parafuso simples, uma das limitações mais evidentes consiste precisamente na sua incapacidade para transportar convenientemente materiais que na sua forma original são viscosos e/ou gomosos. Outra das limitações reside na dificuldade que por vezes existe em manter o processo estável; a instabilidade do processo manifesta-se pelo modo como o produto sai da extrusora, por modificações que ocorrem na densidade, por variações no tamanho do produto final e por alterações na sua cor (HAUCK e HUBER, 1989). No entanto, a operação e manutenção destas extrusoras é mais fácil e económica que as de parafuso duplo, sendo os seus custos de capital inicial também mais baixos (DZIEZAK, 1989).

4 – O AMIDO

4.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os alimentos que têm como base da sua composição o amido contribuem de forma importante, desde há muito tempo para a dieta humana. Para além disso, outras utilizações lhe são conhecidas.

Os antigos egípcios já utilizavam o amido devido à sua adesividade e o uso de amido como cola de papel data de 300 anos A.C. na China. Por volta do século XIV o amido começou a ser utilizado na Europa como goma. Foi ainda usado no branqueamento de cabelo e noutros cosméticos. A produção e o uso do amido continuou a crescer ao longo dos anos e hoje em dia constitui uma das maiores indústrias químicas e agro-alimentares do mundo.

A fácil obtenção do amido e as suas vantagens económicas devem-se à presença em muitas plantas em elevada quantidade. Por exemplo, nos cereais, o amido constitui de 50 a 80% do seu peso em base seca, nos legumes 25 a 50% e nos tubérculos 60 a 95% (base seca).

As propriedades do amido variam consideravelmente, em muitos casos de espécie para espécie, e mesmo de variedade para variedade dentro da mesma espécie. Este facto perspectiva uma maior variedade de aplicações, o que não aconteceria no caso dos amidos serem todos iguais (MEDCALF, D.G., 1973).

Actualmente o amido pode ser usado industrialmente, entre outras formas, como espessante.

4.2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

A formação do amido ocorre no interior de organelos citoplasmáticos, os plastídeos. Vários tipos são comuns nas células vegetais incluindo cloroplastos, onde a fotossíntese tem lugar, e amiloplastos, onde se constitui a reserva do amido formado (MEDCALF, 1973).

O amido industrial provém essencialmente de sementes de gramíneas, como o milho e outros cereais, e de raízes e tubérculos como a batata. Nestes sistemas o amido constitui a maior reserva alimentar para a planta. Como se pode ver no Quadro VII, o constituinte em maior proporção nos grãos de cereais é o amido, que se localiza sobretudo no endosperma do grão (MEDCALF, 1973).

O amido isolado, puro, é uma substância sólida, branca, e relativamente insípida não possuindo odor e sendo insolúvel em água fria (KNIGHT, 1969).

Na natureza, o amido encontra-se normalmente sob a forma de grânulos. Os grânulos de amido podem apresentar-se com forma e dimensão diversas, sendo

Quadro VII – Teor de amido^(a) no grão e no endosperma de vários cereais.

Cereal	% de Amido	
	No grão inteiro	No endosperma
Milho	72	88
Trigo	65	79
Arroz	81	90
Sorgo	74	83
Centcio ^b	60	77
Avicia ^b	45	70

Fonte: Medcalf, 1973 a – Valores médios de diversas variedades

b – Espécies descascadas

frequentemente características da espécie a partir da qual o amido é isolado (BANKS, W., GREENWOOD, C.T. & MUIR, D., 1973). A Figura 2 mostra o aspecto diverso que os grânulos de amido podem apresentar.

Segundo MEDCALF (1973), o diâmetro dos grânulos de amido varia normalmente entre 5 e 100 μ .

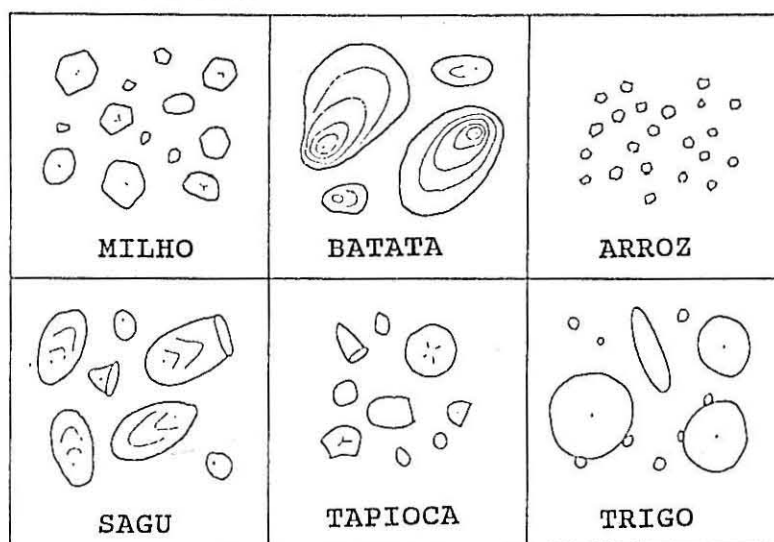


Figura 2 – Aspecto de vários grânulos de amido quando vistos ao microscópio.

Fonte: Shoch, T.J., 1965

O exame microscópico do amido isolado a partir de uma planta, revela várias propriedades, duas das quais com especial interesse (BANKS, GREENWOOD & MUIR, 1973):

- os grânulos de amido tendem a possuir simetria radial e frequentemente exibem anéis ou lamelas bem definidas;
- quando observados sob luz polarizada os grânulos são opticamente anisotrópicos e apresentam um padrão de birrefringência bem definido – o padrão típico da “cruz de maltose”, com uma localização central. O hilo, ponto original a partir do qual ocorre o crescimento do grânulo, é o centro da

cruz. Como o amido se encontra parcialmente cristalino e birrefringente, surgem por vezes confusões entre estas duas propriedades que podem não estar necessariamente relacionadas. A birrefringência implica apenas um elevado grau de orientação molecular não se referindo a nenhuma forma cristalina particular (LINEBACK & RASPER, 1988).

Já MEDCALF (1973) atribuía a propriedade de birrefringência à organização das moléculas poliméricas dentro do grânulo.

A intensidade da birrefringência do amido varia largamente entre as cultivares, e entre variedades mutantes da mesma planta. Amidos com um teor de amilose relativamente elevado são usualmente menos birrefringentes (BANKS, GREENWOOD & MUIR, 1973).

O grânulo de amido cresce por via contínua decorrente da deposição de polissacáridos na superfície do grânulo em crescimento.

Muitas vezes os grânulos de amido mostram anéis de crescimento que representam conchas concêntricas em camadas alternadas de alto e baixo índice refractivo, densidade, cristalinidade e resistência ou susceptibilidade ao ataque químico e enzimático (Figura 3).

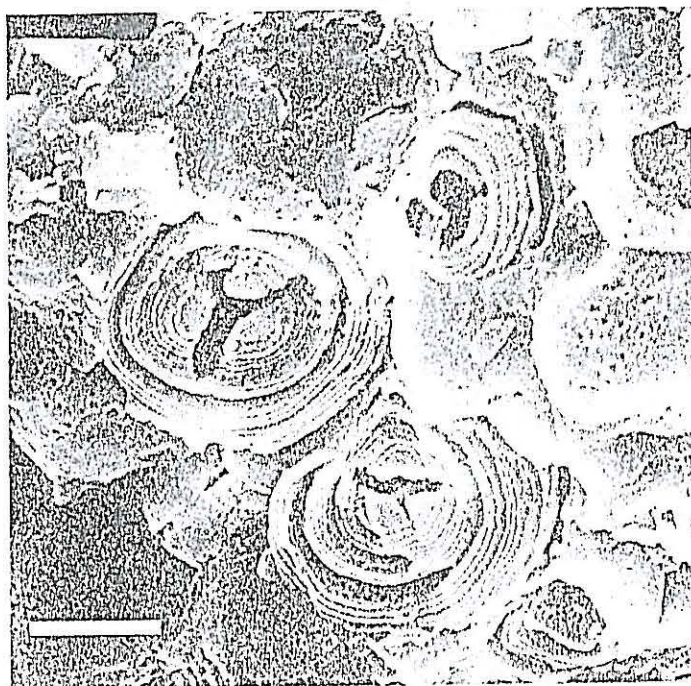


Figura 3 – Fotografia que revela os anéis de crescimento dos grânulos de amido de trigo.

Fonte: Hosney, R.C., 1986.

As regiões entre os anéis densos são aparentemente mais amorfas (menos organizadas) e mais susceptíveis à acção dos ácidos e enzimas.

Os anéis de crescimento são paralelos à superfície externa do grânulo e as moléculas de polissacáridos (amilose e amilopectina) estão orientadas radialmente ao hilo,

isto é, os eixos moleculares são perpendiculares à superfície do grânulo e aos anéis de crescimento.

A Figura 4 representa o modelo de aglomeração da estrutura da amilopectina, com a de amilose confundindo-se na estrutura da amilopectina, tendo ambas uma orientação radial.

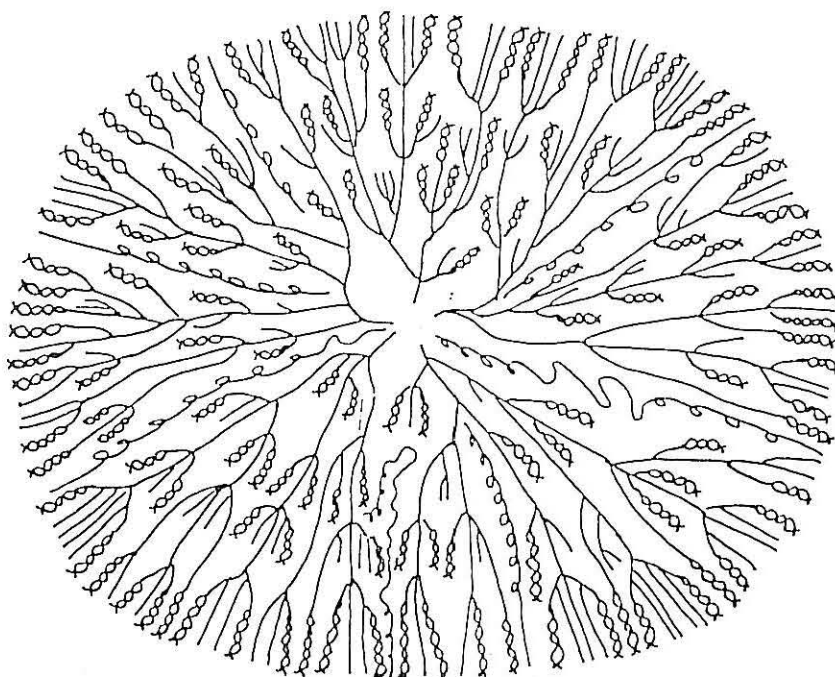


Figura 4 – Esquema da organização estrutural do grânulo de amido.
Fonte: Lineback & Rasper, 1988.

A amilopectina é muito provavelmente a principal componente cristalina do grânulo. As cadeias externas da amilopectina existem possivelmente como duplas hélices. Tem também sido proposta a formação de duplas hélices envolvendo amilose-amilose, amilose-amilopectina e amilopectina-amilopectina.

A superfície externa do grânulo pode ser uma região fronteira, com porções de cadeias de diferentes comprimentos estendendo-se através da fronteira, isto é, o grânulo pode assemelhar-se a uma “bola de bilhar coberta de pêlos” (LINEBACK & RASPER, 1988).

A superfície de muitos grânulos de amido, particularmente os grânulos isolados e secos, apresenta variados tipos de fendas e cavidades (WHISTLER, R.L. *et al.*, 1958), podendo também ser encontradas em grânulos de amido de células vivas (MELCHIOR, H. 1954). Segundo MEDCALF (1973), estas fendas, podem influenciar significativamente propriedades como a digestão enzimática, a consistência e as características de gelatinização.

O conhecimento acerca dos grânulos de amido é ainda incompleto e muito mais tem de ser conhecido antes da sua organização estar claramente entendida. No entanto, as

propriedades do grão de amido devem ser relacionadas com a combinação da sua constituição química e organização física.

4.3 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FUNCIONAL

4.3.1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O amido é constituído essencialmente por glucose. Contém ainda, em menor quantidade, outros constituintes que podem afectar as suas propriedades. Estes constituintes menores do amido são essencialmente fósforo e azoto (HOSENEY, 1986). Segundo MEDCALF (1973), o fósforo pode encontrar-se sob a forma de ésteres de fosfato que tenham permanecido nalgumas moléculas poliméricas durante a síntese do amido, ou sob a forma de fosfolípidos. Já o azoto provém de lípidos e proteínas (provavelmente resíduos de proteínas envolvidas na síntese do amido).

O amido é basicamente um polímero de α -D-glucose. Quimicamente existem dois tipos distintos de polímeros: a amilose (que é essencialmente linear) e a amilopectina (altamente ramificada), sendo a sua proporção no amido geralmente de 75% de amilopectina e 25% de amilose (HOSENEY, 1986). No entanto, esta distribuição é bastante variável, existindo amidos “cerosos” (“waxy starches”) com cerca de 1% de amilose e amidos de “alto teor de amilose” (“high-amylose starches”) que têm um teor de amilose superior a 80%, como se pode observar no Quadro VIII.

Quadro VIII – Proporção relativa ^(a) de amilose e amilopectina em alguns tipos de amido.

Origem do amido	Amilose, %	Amilopectina, %
Milho	24	76
Milho “ceroso”	1	99
Milho “high-amylose”	75	25
Trigo	25	75
Arroz	18	82
Arroz “ceroso”	1	99
Sorgo	25	75
Sorgo “ceroso”	1	99

Fonte: Medcalf, 1973 (a) – valores médios de diversos tipos de amido

Os amidos “cerosos” são amidos constituídos essencialmente por amilopectina pura.

WOLF *et al.*(1948) demonstraram que o teor de amilose aumenta com o grau de maturação do grão dos cereais.

Amilose

A amilose é considerada como sendo um polímero linear cujas unidades estruturais são α -D-glucopiranosose que se encontram unidas por ligações α -1,4-glicosídicas (Figura 5).

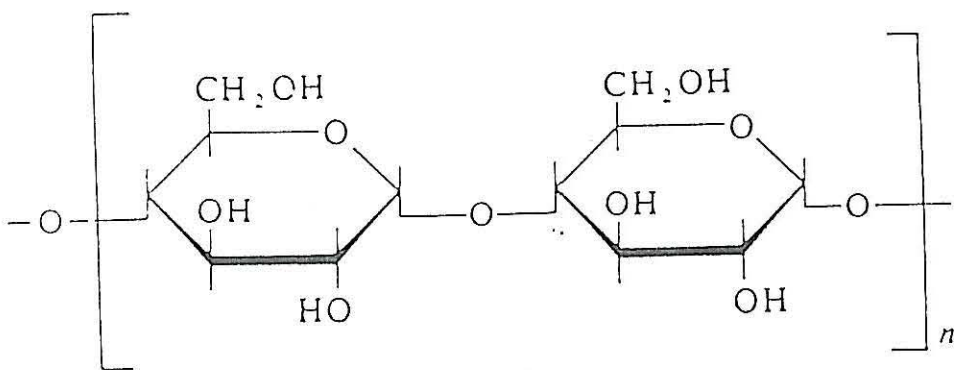


Figura 5 – Unidade de repetição da amilose.

Fonte: Medcalf, 1973.

Actualmente considera-se que a amilose, embora ramificada, age como uma entidade linear visto as ramificações serem poucas e muito longas (HOSENEY, 1986).

Na literatura vários autores fazem referência ao grau de polimerização da cadeia da amilose, adiantando no entanto valores muito diferentes (entre 240 e 3800 unidades). Isto poderá ser explicado, em parte, pelos diferentes métodos de fraccionamento utilizados (KNIGHT, 1969).

O peso molecular da amilose varia não só entre as espécies, mas também na mesma espécie, dependendo ainda da fase de maturação da planta (HOSENEY, 1986).

A natureza linear das longas cadeias de amilose conferem-lhe propriedades únicas, como por exemplo, a capacidade de formar complexos com o iodo, álcoois orgânicos ou ácidos. O álcool e a amilose formam um complexo insolúvel cuja natureza é similar à formada pelo iodo com a amilose (HOSENEY, 1986).

Em soluções diluídas, a amilose adopta uma forma irregular disposta em espiral, e com a adição de uma série de vários agentes complexantes como lípidos, iodo ou álcoois alifáticos, forma-se uma estrutura helicoidal com 6 ou 7 resíduos de glucose por volta, ocupando as moléculas complexadas a cavidade central da hélice (BANKS, GREENWOOD & MUIR, 1973). A bem conhecida cor azul originada pelo iodo e amido pensa-se ser devida a iões poliodídicos na zona central da hélice de amilose (HOSENEY, 1986).

É também referida por vários autores a formação de complexos amilose-lípidos em simultâneo com a extrusão e solubilização de amido. A formação desta nova estrutura, que ocorre em grânulos onde estejam presentes amilose e lípidos, tem sido observada em

estudos feitos com difracção de raios-X, parecendo ser semelhante à estrutura V-amilose detectada pelo mesmo método em amido de milho. Este complexo entre a amilose e a fracção de lípidos do amido tem, provavelmente, a forma de uma hélice com 6 e/ou 7 resíduos de glucose por volta. Esta estrutura não surge, por exemplo, na extrusão de amido de batata (que não tem lípidos), ou na extrusão de amido de milho "ceroso" (que não tem praticamente amilose). A presença de complexos butanol-amilose tem sido detectada em amidos de cereais extrudidos pensando-se que a formação deste tipo de complexos indisponibiliza a amilose, impedindo a sua quebra em oligossacáridos. Como a amilose de amido de batata não é complexada pela extrusão, é óbvio que é mais afectada por este tratamento do que a amilose dos cereais (BLANSHARD & MITCHELL, 1979).

Para MEUSER *et al.* (1987), os lípidos com cadeias de ácidos menos saturados são complexadas em menor extensão.

Parece estar estabelecido que a formação de complexos entre a amilose e os diversos agentes complexantes previne a lixiviação da amilose durante a gelatinização, inibe a dilatação dos grânulos de amido aquecidos em água, e reduz a capacidade do amido de se ligar com a água (ELIASSON, 1985).

Quando a amilose é sujeita à acção da pululanase e da β -amilase é convertida em maltose numa percentagem de 97 a 98%. Uma baixa conversão em maltose será devida provavelmente à retrogradação, pelo que a amilose se torna insolúvel durante a desramificação com pululanases (LINEBACK & RASPER, 1988).

Amilopectina

Constitui a fracção do amido composta por polímeros altamente ramificados, estando ainda pouco caracterizada. A amilopectina contém ligações glicosídicas α -1,4, tendo periodicamente ligações α -1,6 (Figuras 6 e 7).

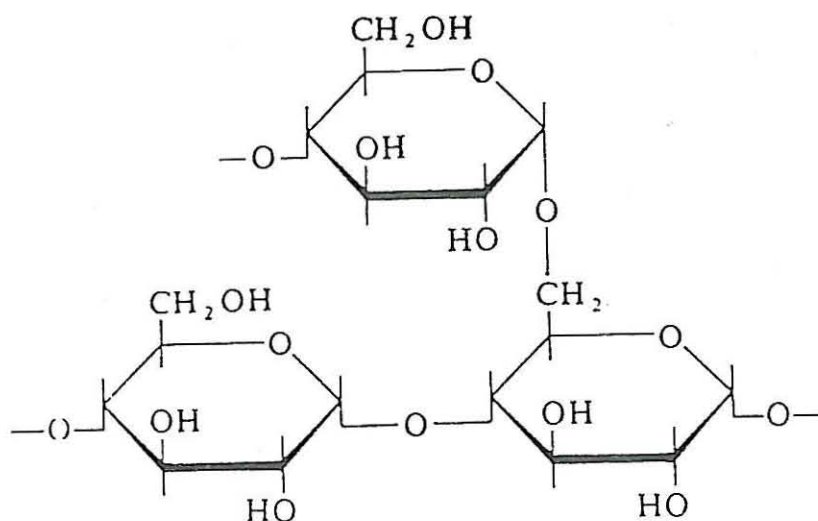


Figura 6 – Ligações glicosídicas básicas presentes na amilopectina.

Fonte: Medcalf, 1973

Na molécula de amilopectina, o comprimento médio dos troços lineares com ligações α -1,4 é de cerca de 20-30 unidades de D-glucose (MANNERS, D. J., 1968), e o peso molecular da molécula crê-se ser superior a 1,000,000 (MEDCALF, 1973). KNIGHT (1969) adianta mesmo pesos moleculares da ordem de 1,450,000 acrescentando ainda que esta fracção não apresenta praticamente poder de redução. Estes factos, segundo o mesmo autor, podem ser mais uma prova de que a amilopectina tem uma estrutura altamente ramificada.

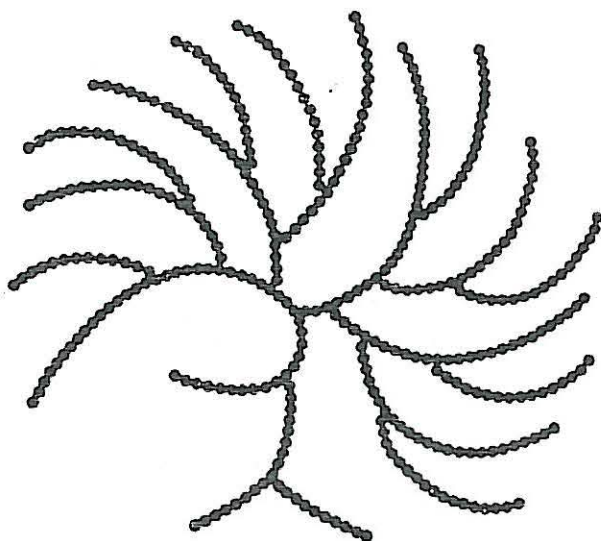


Figura 7 – Representação esquemática da molécula ramificada de amilopectina.

Fonte: Medcalf, 1973

A amilopectina apresenta tendência a formar, por retrogradação, material cristalino, incluindo complexos. A capacidade para formar estes complexos é, contudo, mais limitada do que no caso da amilose (BANKS; GREENWOOD & MUIR, 1973).

BLANSHARD (1986) sugeriu um modelo para a organização das moléculas de amido dentro dos grânulos, que é apresentado na Figura 8.

Segundo ele, as moléculas de amilose e de amilopectina estão dispostas radialmente em direcção à superfície do grânulo.

As estruturas da amilose e da amilopectina que foram apresentadas são as que geralmente são aceites como sendo as que compõem o amido. Contudo, é duvidoso que estas duas estruturas sejam as únicas componentes do amido, existindo provavelmente moléculas intermédias.

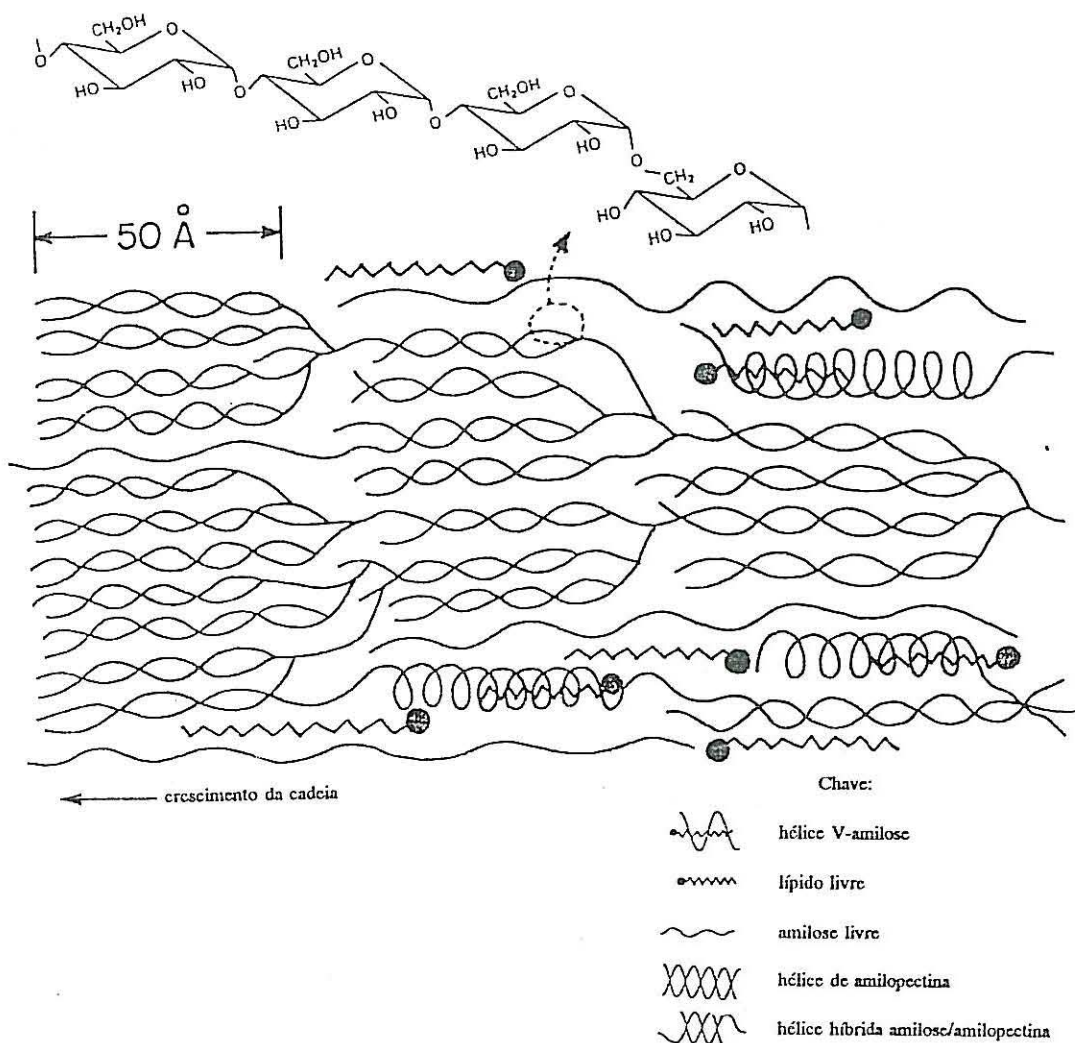


Figura 8 – Organização molecular dos constituintes do amido (amilose, amilopectina, lípidos monoacil) nos grânulos.

Fonte: Blanshard, 1986

É ainda de assinalar que quer a amilose, quer a amilopectina não são absolutamente idênticas nos diferentes amidos. Variações no comprimento das cadeias, no peso molecular e no grau de ramificação são exemplos das diferenças encontradas (KNIGHT, 1969).

4.3.2 – GELATINIZAÇÃO, EMPASTAMENTO E RETROGRADAÇÃO DO AMIDO

Embora os grânulos de amido sejam completamente insolúveis em água fria, quando uma solução de amido é aquecida têm lugar uma série de alterações, designadas no seu conjunto por *gelatinização* e *empastamento*. Estas modificações são responsáveis pelas propriedades do amido utilizado nos produtos alimentares, das quais se salientam a

reactividade, a susceptibilidade ao ataque enzimático e a formação de geis ou pastas (LINEBACK & RASPER, 1988).

Existem várias definições para gelatinização e empastamento, mas as que geram maior consenso são as que se expõem a seguir:

- *gelatinização* é a ruptura da ordem molecular dentro do grânulo de amido acompanhada de alterações irreversíveis em propriedades tais como a dilatação granular, a fusão cristalina, a perda de birrefringência, o desenvolvimento de viscosidade, e a solubilização do amido. O início da gelatinização e a sua extensão dependem da concentração de amido, do método de observação, do tipo de grânulo e da heterogeneidade da população de grânulos que está sob observação;
- *empastamento* é o fenómeno imediatamente posterior à gelatinização, na dissolução do amido. Envolve a dilatação dos grânulos, a exudação (ou lixiviação) de componentes moleculares a partir do grânulo, e eventualmente, a ruptura total dos grânulos.

Quando há um aquecimento progressivo, em água, de grânulos de amido, estes não alteram a sua aparência até se atingir uma determinada temperatura – temperatura de gelatinização. Esta temperatura varia consoante a origem do amido (Quadro IX) e é em larga medida controlada pela fracção de amilopectina.

Quadro IX – Temperatura de gelatinização de alguns amidos.

Origem do amido	Temperatura de Gelatinização (°C)
Milho	62-72
Milho “ceroso”	63-72
Trigo	52-63
Arroz	61-78
Arroz “ceroso”	55-65
Sorgo	69-75
Sorgo “ceroso”	68-74

Fonte: Leach, H.W., 1965

Quando se atinge a temperatura de gelatinização, os grânulos aumentam irreversivelmente de volume (entumescem) e a propriedade de birrefringência é perdida. Para KNIGHT (1969), isto é sinal de que a hidratação se inicia no hilo, progredindo para a periferia do grânulo.

A dilatação é causada pela quebra das ligações de hidrogénio entre as moléculas poliméricas e pela sua hidratação crescente (MEDCALF, 1973).

A propriedade de dilatação (“swelling property”) deve-se ao contributo e interacção de três características do amido: à sua natureza altamente “hidroxidável” (devida às moléculas de D-glucose); ao elevado tamanho molecular dos polímeros que o constituem e à própria forma granular em que se encontra (MEDCALF, 1973).

De acordo com LEACH (1965), a dilatação do amido depende da força e do carácter da rede micelar dentro do grânulo. Isto, por sua vez, depende de razão entre a amilose e a amilopectina, do tamanho das moléculas e da presença de componentes que não sejam hidratos de carbono.

O aumento de volume começa nas zonas mais desorganizadas, amorfas e intercrystalinas dos grânulos. À medida que estas zonas dilatam, exercem uma tensão nas regiões cristalinas adjacentes, que se tendem a distorcer (Figura 9) (LINEBACK & RASPER, 1988).

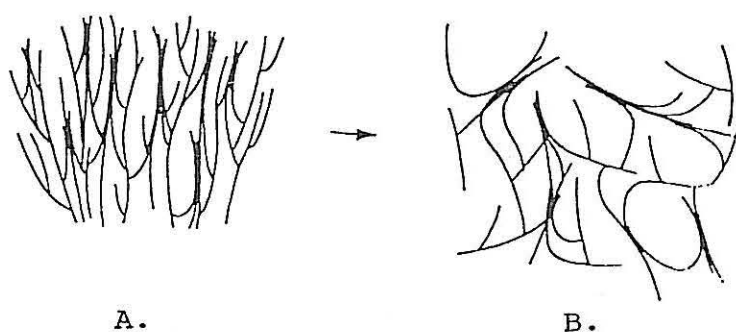


Figura 9 – Representação esquemática da dilatação de um grânulo de amido. A – segmento não dilatado; B – segmento dilatado. As zonas mais escuras representam áreas cristalinas no grânulo.

Fonte: Medcalf, 1973

À medida que aumenta a temperatura do sistema, a hidratação é maior, estendendo-se às regiões menos cristalinas do grânulo. Este dilata, constituindo-se uma rede micelar expandida no seu interior, como mostra a Figura 9B.

O aquecimento faz com que algumas regiões da dupla hélice se desenrolem, dando-se a quebra da estrutura cristalina da amilopectina. As cadeias que se encontram libertas ficam hidratadas e entumescem lateralmente rompendo a estrutura cristalina. As moléculas de amido não são capazes de sofrer dilatação longitudinal, pelo que tendem a contrair-se formando uma estrutura enrolada ao acaso, impedindo assim a dilatação na direcção da cadeia. A hidratação e o aumento da mobilidade molecular permitem uma redistribuição das moléculas, ocorrendo a difusão para o meio de moléculas de amilose (LINEBACK & RASPER, 1988). Há como que uma lixiviação de moléculas de amilose a partir dos grânulos de amido (WANISKA & GOMEZ, 1992).

HOSENEY *et al.* (1986) sugere mesmo que a gelatinização do amido se processa desde o centro em direcção à superfície do grânulo, como já referira anteriormente KNIGHT (1969).

Com o crescente aquecimento e hidratação, os grânulos deixam de resistir a tensões mecânicas e térmicas, perdendo a sua integridade (LINEBACK & RASPER, 1988).

O gel forma-se quando a pasta de amido é arrefecida. À medida que a pasta arrefece, as cadeias tornam-se menos energéticas e as pontes de hidrogénio mais fortes resultando um gel firme.

Com o envelhecimento do gel ou devido a fenómenos de congelação-descongelação, as cadeias de amido tendem a interagir fortemente e a água é forçada a abandonar o sistema, designando-se este fenómeno por *sinéresis*.

Devido aos longos períodos de armazenamento podem ocorrer mais interacções entre as cadeias de amido e, eventualmente, a formação de cristais. Estes acontecimentos são colectivamente descritos pelo termo *retrogradação* e correspondem à cristalização das cadeias de amido no gel.

Pelo facto das áreas cristalinas diferirem no seu índice de refacção, o gel torna-se mais opaco à medida que se dá a retrogradação. Consequentemente torna-se mais rígido e emborrachado, em parte devido à cristalização e em parte devido à interacção das cadeias (HOSENEY, 1986).

Pensa-se que a retrogradação tenha uma grande influência na textura, digestibilidade e na aceitação pelo consumidor de produtos com base em amido (BILIADERIS, 1992).

A retrogradação do amido ocorre em dois passos cineticamente distintos: (1) rápida gelificação da amilose por reassociação das moléculas e (2) lenta recristalização de cadeias curtas de amilopectina (BILIADERIS, C., 1992). Enquanto a amilose usualmente gelifica fora dos grânulos de amido imediatamente após a gelatinização (HOOVER e HADZIYEV, 1981), a amilopectina permanece normalmente dentro do grânulo dilatado, onde recristaliza lentamente (MORRIS, 1990). BILIADERIS e ZAWISTOWSKI (1990) acrescentam ainda que a gelificação da amilose depende muito pouco da temperatura de armazenamento, ao passo que a gelificação da amilopectina é um processo muito mais sensível à temperatura, requerendo elevada concentração de polímeros.

Há alimentos, que têm como base o amido, que durante ou após o processamento são bombeados, agitados, arrefecidos, envelhecidos e embalados. No decorrer destas operações moléculas lineares do amido podem ser parcialmente lixiviadas dos grânulos dilatados e formar associações moleculares entre si ou com outros constituintes como por exemplo lípidos, sais, ácidos, açúcares e proteínas. Os grânulos de amido dilatados podem quebrar-se em fragmentos, microgeis e moléculas pois estão mais susceptíveis à acção mecânica (LEACH, 1965).

Existe um método útil para seguir a gelatinização do amido, que consiste no registo num gráfico, das alterações da consistência quando uma suspensão de amido em água é aquecida, aumentando a temperatura a uma taxa constante. O instrumento normalmente usado para este propósito é um viscosímetro especial – *amilógrafo Brabender*. Este, representa graficamente as alterações da consistência durante a gelatinização.

Quando o amido é posto em água e esta penetra nos grânulos, o volume altera-se e a absorção de água é irreversível. No entanto, à medida que se aumenta a temperatura entre 50 e 75°C a consistência aumenta, coincidindo este facto com a perda de birrefringência.

Continuando o aquecimento os grânulos de amido começam a ficar distorcidos e alguns são solubilizados. O amido solúvel continua a reter água, aumentando a

consistência. Estas alterações que se verificam após a gelatinização do amido (perda de birrefringência) são designadas por *empastamento*.

Durante o tempo de espera a 92-95°C muito poucas alterações ocorrem no amido não dissolvido, pelo que a solubilização não aumenta e verifica-se a diminuição da consistência. Este facto é causado pela orientação das moléculas solúveis no sentido do escoamento. Este fenómeno é designado por *reofluidificância* e constitui uma importante propriedade das pastas de amido.

Em seguida, o amilógrafo procede a um arrefecimento controlado (1,5°C/minuto) até 50°C, verificando-se um aumento na consistência e, eventualmente, a formação de um gel semi-sólido. Isto deve-se à diminuição da energia do sistema, permitindo assim o estabelecimento de mais pontes de hidrogénio (HOSENEY, 1986). A sua causa é a reassociação de moléculas de amido (retrogradação), incluindo polímeros que foram lexiviados dos grânulos durante a cozedura (MEDCALF, 1973). Esta fase é também designada por "set-back" (Figura 10) e a pasta de amido exhibe comportamento tixotrópico (ATWELL, W. A., 1986).

Normalmente a consistência da pasta aumenta rapidamente até um valor máximo (o qual é uma medida do poder espessante), e a quebra que se segue é uma medida da capacidade dos grânulos inchados na pasta do amido de resistir ao "adelgaçamento" resultante do aquecimento prolongado e da acção de corte mecânico (KNIGHT, 1969).

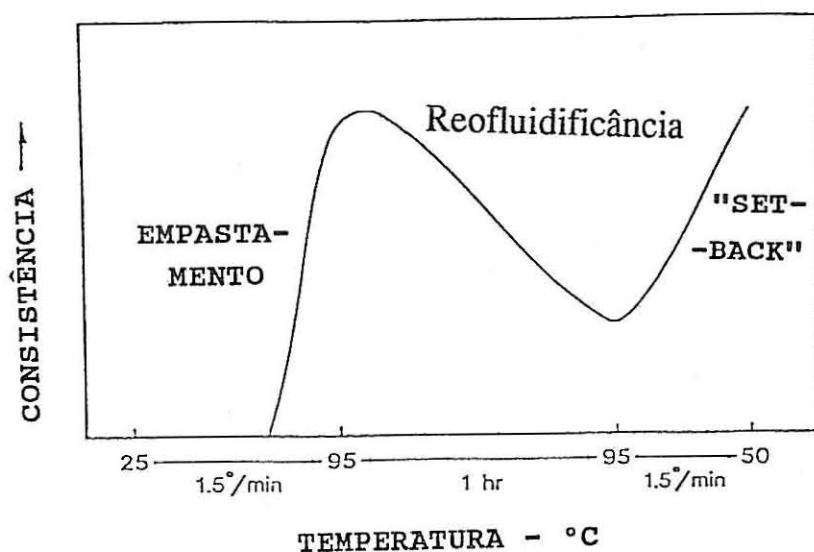


Figura 10 – Amilograma tipo para um sistema de amido-água mostrando os fenómenos de empastamento, reofluidificância e "set-back".

Fonte: Hosenev, 1986

Para ATWELL (1986), os principais factores que influenciam a consistência de uma suspensão de amido são a concentração, o peso molecular ou tamanho, a temperatura, o tempo a uma tensão de deformação constante e os diferentes tipos de associações entre os polímeros do amido.

4.3.3 – AS TRANSIÇÕES DE FASE NO AMIDO

Para DONOVAN (1979), as transições de fase no amido seguem dois mecanismos: gelatinização e fusão. A elevados teores de humidade, a dilatação das regiões amorfas do grânulo de amido favorecem a transformação das regiões cristalinas pelo afastamento dos cristais durante o processo de gelatinização. A baixos teores de humidade, os cristais fundem a temperaturas significativamente elevadas. A partir dos resultados das suas experiências, DONOVAN (1979) concluiu que, para o amido sofrer gelatinização tem de haver uma estequiometria de 14 moléculas de água por unidade de glucose (WANG *et al.* 1991).

SLADE e LEVINE (1987) usaram um modelo de “micela com franjas” (Figura 11) para conceptualizar uma rede tri-dimensional do amido composto por regiões microcristalinas que ligam covalentemente regiões amorfas de segmentos flexíveis de cadeias. Num polímero parcialmente cristalino como o amido, três transições características são possíveis:

- uma transição vítrea, à temperatura T_g (glass transition temperature), para o componente amorfo;
- uma transição de fase, à temperatura T_m (melting temperature), para o componente cristalino;
- uma transição de cristalização, à temperatura T_d (denaturation temperature), para o componente completamente amorfo mas que é cristalizável, como se mostra na Figura 12.

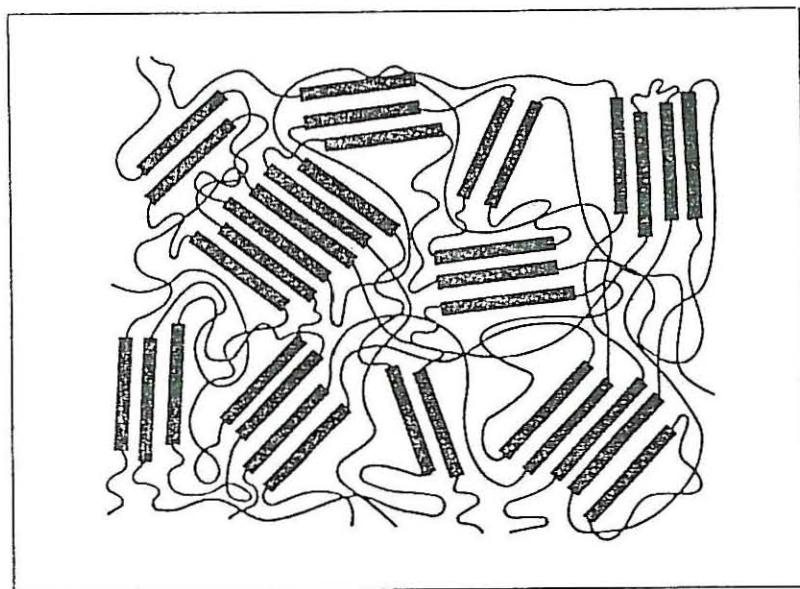


Figura 11 – Modelo da “micela com franjas” da estrutura cristalina – amorfa dos polímeros parcialmente cristalinos.

Fonte: Slade & Levine, 1987

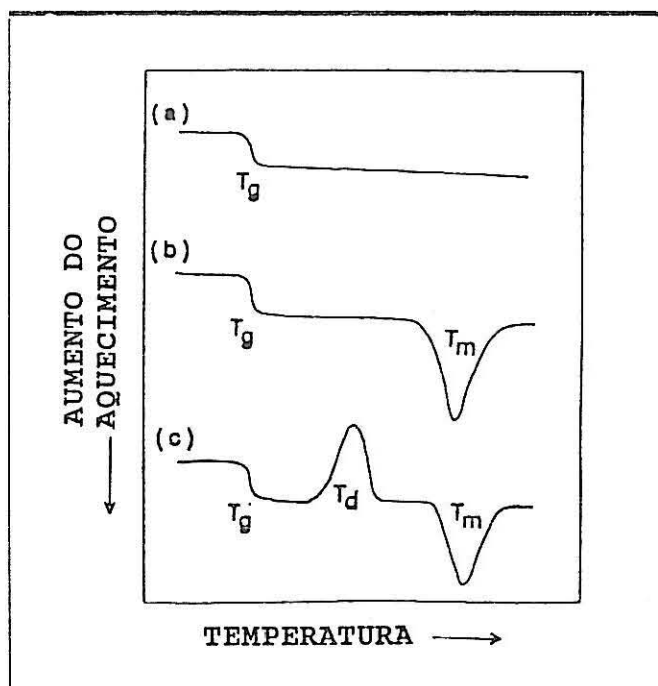


Figura 12 – Curvas DSC (differential scanning calorimetry), mostrando (a) T_g para material completamente amorfo; (b) T_g e T_m para material parcialmente cristalino; (c) T_d entre T_g e T_m para um material completamente amorfo mas cristalizável, durante o reaquecimento seguido de fusão e rápido arrefecimento.

Fonte: Slade *et al.*, 1988

Quando a concentração de água é limitada como é o caso da extrusão-cozedura, a completa gelatinização não ocorre para a gama habitual de temperatura. Mas à medida que a temperatura aumenta, os grânulos de amido tornam-se progressivamente mais móveis e as regiões cristalinas eventualmente fundem. O amido poderá então mostrar o seu habitual comportamento viscoelástico conferido pelo material fundido termoplástico, como se mostra na Fig. 13.

Modificações na estrutura do amido como a fusão, gelatinização ou fragmentação, são afectadas por factores, tais como a razão água/amido, a temperatura, taxa de aquecimento, a morfologia, a razão amilose/amilopectina, a deformação ou corte, a distribuição do tamanho dos grânulos, a adição de açúcares, sais, proteínas, lípidos e outros factores (DONOVAN, 1977; 1979; BILIADERIS *et al.*, 1980; LAI e KOKINI, 1991). Estes factores também afectam as resultantes propriedades viscoelásticas do amido (KOKINI *et al.*, 1992).

De todas as transições de fase até aqui referidas, a transição vítrea no amido é aquela que é mais referida na literatura, merecendo também neste trabalho um destaque especial.

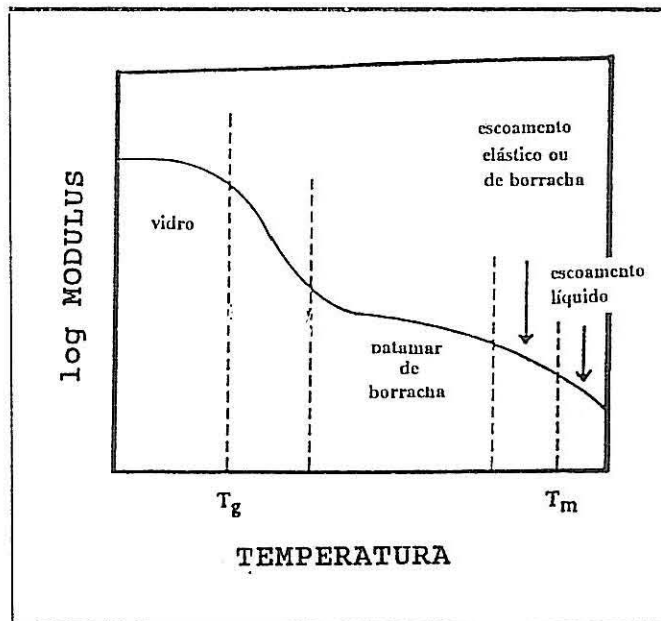


Figura 13 – Curva do módulo como uma função da temperatura, ilustrando as 5 regiões de comportamento viscoelástico característico dos polímeros sintéticos parcialmente cristalinos.

Fonte: Levine & Slade, 1990

A Transição Vítrea no Amido

O amido é, como já se viu, um polímero semicristalino composto por moléculas de amilopectina (ramificadas) e moléculas de amilose (essencialmente lineares), sendo respectivamente os componentes cristalinos e amorfos (aparentemente) do grânulo. É geralmente aceite que as regiões cristalinas num grânulo de amido estão distribuídas numa fase contínua amorfa ou fase gel (BANKS & GREENWOOD, 1975; FRENCH, 1984). Um polímero perfeitamente cristalino funde a uma temperatura definida. A acompanhar a fusão ocorrem alterações descontínuas no volume e na entalpia, que são variáveis termodinâmicas primárias. Assim, a fusão é uma transição de 1ª ordem. Num polímero amorfo a baixas temperaturas, o movimento molecular das cadeias poliméricas está “congelado” numa conformação ao acaso, tornando-se vítreo e imóvel. Quando se aplica energia térmica, inicia-se o movimento molecular e as moléculas ficam com energia suficiente para deslizarem uma após outra (LEVINE, 1983). Neste ponto, o polímero torna-se viscoso, emborrachado e flexível. Esta alteração física reflecte o aumento do movimento dos maiores segmentos (20-50 carbonos) da “espinha dorsal” do polímero e é chamada transição vítrea. Na transição vítrea há uma mudança descontínua na capacidade de aquecimento (1ª derivada da entalpia com respeito à temperatura) e no coeficiente de expansão térmica (razão da variação do volume em relação à temperatura). Embora a transição vítrea seja associada a alterações nestas variáveis de 2ª ordem, considera-se um fenómeno cinético (EISENBERG, 1984). O amido, sendo um polímero semi-cristalino, deverá exhibir ambas as transições.

O movimento molecular do polímero, que define a temperatura de transição vítrea (T_g), é contrariado por forças coesivas ao longo da cadeia e entre cadeias. Cadeias rígidas requerem temperaturas elevadas para que se atinja o nível de movimento molecular necessário à transição vítrea. Vários investigadores constataram que a presença de grupos laterais volumosos ou ligações cruzadas ("cross-links") entre as cadeias diminuem a mobilidade da cadeia e aumentam T_g , enquanto que grupos laterais flexíveis fazem diminuir T_g (ARMENIADES & BAER, 1977). É também sabido que a água e outros solventes de baixo peso molecular têm um efeito plasticizante em muitos polímeros e diminuem T_g (FUZEK, 1980). JIN *et al.* (1984) sugeriram também que as regiões cristalinas actuam como ligações físicas cruzadas conferindo rigidez às regiões amorfas, tendo um efeito semelhante ao das ligações químicas cruzadas.

Todos estes factores influenciam T_g , pela alteração da geometria molecular, flexibilidade, ou forças entre as cadeias do polímero. Muito deste trabalho foi levado a cabo em polímeros sintéticos, mas deverá ser aplicável a biopolímeros como o amido.

MAURICE *et al.* (1985) examinaram amido de milho "ceroso" por DSC (differential scanning calorimetry) e concluíram que ocorre uma transição vítrea mesmo antes da fusão e que a água actua como plasticizante, baixando ambas as transições térmicas. Também BILIADERIS *et al.* (1986) registaram recentemente evidências semelhantes para uma transição vítrea em amido de arroz.

Quando o amido é aquecido em excesso de água (>67%) há uma clara transição endotérmica representando a fusão dos cristais do amido. Contudo, T_g é reversível, e por conseguinte, um polímero vítreo pode ser aquecido, arrefecido abaixo do seu ponto vítreo, e exibir uma transição vítrea durante um segundo aquecimento.

De acordo com a literatura, à medida que o teor de humidade diminui, há um concomitante aumento em T_g . Pela Figura 14 verifica-se que houve um progressivo aumento na temperatura de transição vítrea com a diminuição dos níveis de humidade, dando uma curva típica T_g vs. humidade.

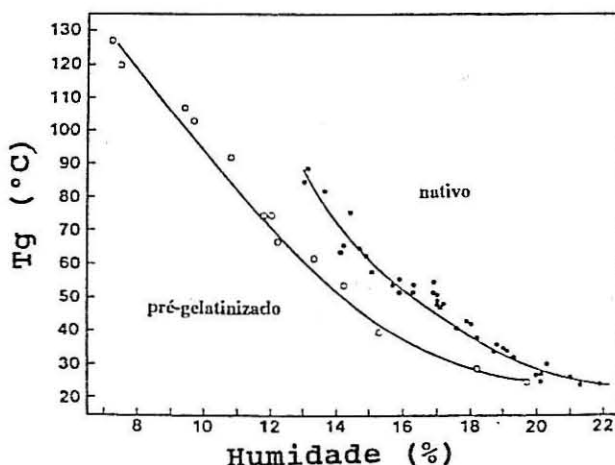


Figura 14 – Curva da resposta da temperatura da transição vítrea (T_g) aos diferentes teores de humidade em amido de trigo nativo e pré-gelatinizado.

Fonte: Zeleznak & Hosoney, 1987

Para níveis de humidade superiores a 22%, Tg ocorreu abaixo da temperatura ambiente. Isto indica claramente que uma transição vítrea ocorre no amido.

Estudo feitos em polímeros semi-cristalinos sintéticos mostram que à medida que o grau de cristalinidade aumenta, a Tg também aumenta (JIN *et al.*, 1984). Assim, à medida que a razão entre as regiões cristalinas e as regiões amorfas aumenta, Tg deverá diminuir. ZELEZNAK & HOSENEY (1987) investigaram a transição vítrea de amido de trigo pré-gelatinizado e compararam com a de amido de trigo nativo (Figura 14). A diferença no Tg aparentemente reflecte a diferença no grau de cristalinidade entre os dois amidos. O amido pré-gelatinizado não era cristalino, enquanto que o amido nativo tinha 15 a 35% de material cristalino (BANKS & GREENWOOD, 1975). Os resultados para o amido são consistentes com aqueles que têm sido observados com polímeros sintéticos, isto é, que Tg é elevado pelo aumento de cristalinidade.

Claramente, o amido sofre uma transição vítrea a temperaturas consideravelmente mais baixas do que as temperaturas de início da fusão. Isto contraria os recentes registos de MAURICE *et al.* (1985) e de BILIADERIS *et al.* (1986).

De acordo com a literatura sobre polímeros, existe uma ampla diferença entre Tg e To (temperatura de início da fusão) para qualquer polímero semi-cristalino. Sabe-se também que estes polímeros podem ser maleabilizados, isto é, podem-se tornar maleáveis, flexíveis. A maleabilização dos cristais ocorre no intervalo de temperaturas entre Tg e To. Vários pesquisadores documentaram a ocorrência de maleabilização de cristais no amido (YOST & HOSENEY, 1986).

BILIADERIS *et al.* (1986) usaram TMA (thermomechanical analysis) para apoiar a ideia que Tg ocorre mesmo antes da fusão dos cristais. É sabido que a curva volume vs. temperatura se altera à medida que o material atravessa a transição vítrea. Contudo, sabe-se também que existe uma alteração descontínua no volume à medida que os cristais fundem. Eles inferiram que To e Tg são coincidentes, mas ZELEZNAK & HOSENEY (1987) refutam claramente isto. Para estes últimos autores, parece que há uma alteração descontínua de volume, típica da fusão de cristais. A alteração de volume resultante da dilatação (intumescência) das regiões amorfas à temperatura Tg tem já ocorrido. Após este acréscimo inicial de volume, há um patamar seguido por outro claro aumento no volume, a cerca de 100°C. O segundo aumento parece coincidir com a fusão do complexo amilose-lípidos, enquanto que BILIADERIS *et al.* (1986) sugeriram que se deve à fusão de cristais.

Em amido "ceroso", a expansão de volume começa a To, e não ocorre qualquer patamar intermédio, continuando a aumentar rapidamente através da gelatinização. Como BILIADERIS *et al.* (1986) explicaram, isto apoia a teoria que diz que a amilose tem um papel estabilizador na estrutura gel do amido. Também apoia a interpretação do segundo aumento no volume como correspondendo à dissociação do complexo amilose-lípidos (ZELEZNAK & HOSENEY, 1987).

4.3.4 – EFEITOS DA EXTRUSÃO NO AMIDO

As características das matérias-primas a ser extrudidas têm um efeito marcado nas propriedades do extrudido. O efeito de variáveis tais como o tamanho das partículas, o teor de lípidos e de proteínas e a razão amilose/amilopectina do amido têm sido referidas por vários autores (CONWAY e ANDERSON, 1973; MERCIER e FEILLET, 1975; BRESSANI *et al.*, 1978; FAUBION & HOSENAY, 1982a, 1982b). A progressiva deformação da forma dos grânulos de amido com o aumento da temperatura de processamento foi observada para farinha de trigo (KIM & ROTTIER, 1980). Também a solubilidade na água, após extrusão, a absorção de água e a consistência da pasta têm sido usadas para caracterizar as alterações químicas e estruturais nos produtos extrudidos (ANDERSON *et al.*, 1969; PATTON & SPRATT, 1978; MERCIER e FEILLET, 1975).

Os amidos extrudidos constituem, ao que parece uma fase amorfa contínua, possivelmente contendo, a espaços, regiões cristalinas constituídas por complexos amilose-lípidos. A cristalização destes complexos ocorre durante o arrefecimento do material fundido (“melt”). A baixa temperatura (temperatura ambiente), os movimentos das cadeias poliméricas são “congelados” numa conformação ao acaso, conduzindo a extrudidos de amidos sólidos e vítreos. Quando a temperatura aumenta, iniciam-se movimentos moleculares que facilitam a passagem das moléculas de um estado a outro. Neste ponto, o polímero torna-se viscoso, emborrachado e flexível (temperatura de transição vítrea, Tg). Acima da Tg, a maleabilidade dos cristais de amido ou a cristalização dos complexos amilose-lípidos pode ocorrer, durante o arrefecimento do material fundido. Durante o armazenamento, todos os produtos extrudidos podem apresentar uma lenta reassociação de macromoléculas no estado semi-desidratado, conduzindo a um aumento das ligações de hidrogénio detectáveis por difracção de raios X (modelo tipo-B) e por DSC (calorimetria diferencial de varrimento). Estas alterações processam-se durante meses, conduzindo a uma baixa solubilidade na água (KONÉ & LAUNAY, 1987). Pelo facto de a água actuar como agente plasticizante (BILIADERIS *et al.*, 1985), o resultante decréscimo de Tg tanto pode ser considerada vantajosa como desvantajosa dependendo do produto que se pretenda.

Para CHIANG e JOHNSON (1977), os danos ou prejuízos que o amido sofre com a extrusão definem-se, como sendo qualquer alteração estrutural que resulte na redução da resistência à acção de amilases e/ou à dispersão térmica.

Dependendo do tipo e grau de tratamento térmico, os produtos extrudidos podem ser caracterizados pela sua estrutura macroscópica, coesividade, forma e/ou textura. Após moagem, os produtos extrudidos apresentam alguma solubilidade, conduzindo a um comportamento espessante e a uma elevada susceptibilidade à acção da amilase. No entanto, estas propriedades dependem bastante do tipo de amido e das condições de processamento (COLONNA, TAYEB e MERCIER, 1989). Factores como a velocidade do parafuso, a temperatura e o teor de humidade (DAVIDSON *et al.*, 1984), assim como o tipo de amido usado (KOKINI *et al.*, 1992) influenciam a fragmentação do amido.

Também tem sido estudada a relação entre a gelatinização do amido e o seu comportamento na extrusora para caracterizar as alterações estruturais nos produtos extrudidos. Em geral, os resultados parecem sugerir a existência de dois mecanismos de escoamento distintos para os extrudidos no interior de uma extrusora: escoamento empastado ("plug flow") e escoamento pseudoplástico (ou reofluidificante). Saber-se qual destes mecanismos é dominante, dependerá da secção da extrusora considerada, da matéria-prima e das condições de processamento usadas (CRAWSHAW & OTUN, 1986).

GUY & HORNE (1988) estudaram as alterações físicas que ocorrem na fracção amilácea da farinha de trigo e de "grits" de milho com a extrusão cozedura. Segundo estes autores, a matéria-prima (em pó) é conduzida até à zona de cozedura da extrusora (também chamada zona de tensão tangencial), sem sofrer modificações físicas significativas. A porção da hélice do parafuso completamente preenchida que precede esta zona, bombeia fortemente o material, comprimindo-o numa massa densa no espaço compreendido entre a parede da manga e a hélice do parafuso. À medida que o parafuso vai girando, as partículas do material são comprimidas e sujeitas à tensão tangencial, o que provoca o seu aquecimento por fricção e danos mecânicos. Os efeitos de fricção estão dependentes da concentração do amido, diminuindo rapidamente à medida que o sistema se torna mais diluído, por se aumentar o teor de humidade.

Durante a extrusão, a tensão distorcional dilacera parte dos grânulos de amido permitindo uma rápida transferência de água para o interior das moléculas de amido (BURROS *et al.*, 1987). A perda de cristalinidade durante a extrusão não é causada pela penetração de água mas pela ruptura mecânica das ligações moleculares devida à intensa acção de distorção dentro da extrusora (WEN *et al.*, 1990). Por conseguinte, sob extrusão a baixo teor de humidade, existem simultaneamente pequenas quantidades de amido gelatinizado, amido fundido e também fragmentos de amido (KOKINI, *et al.*, 1992).

A fragmentação do amido durante a extrusão é evidenciada pela destruição parcial ou completa da estrutura cristalina do grânulo de amido crú, visível nos modelos de difracção por raios X (CHINNASWAMY *et al.*, 1989). A quebra ou a dilatação da superfície dos grânulos aparece nas amostras de extrudido analisadas por microscopia electrónica de varrimento (OWUSU – ANSAH *et al.*, 1983; CHINNASWAMY *et al.*, 1989).

A extrusão-cozedura conduz a uma degradação macromolecular da amilose e da amilopectina por quebra das cadeias ao acaso, que se reflecte nas curvas de consistência das pastas. À medida que o tamanho molecular médio diminui, a consistência final da pasta também diminui. De forma semelhante, um aumento na fracção de menores pesos moleculares resulta num aumento da solubilidade dos extrudidos na água (DIOSADY, 1986).

A quantidade de amido solubilizado aumenta com o aumento da temperatura de extrusão e com o decréscimo do teor de humidade do amido antes da extrusão (MERCIER, CHARBONNIERE, GALLANT & GUILBOT, 1979).

Na extrusão-cozedura de materiais ricos em amido, o amido não é somente gelatinizado mas também degradado em dextrinas solúveis, por fricção entre os grânulos de amido.

GOMEZ & AGUILERA (1984) propuseram um modelo da degradação do amido durante a extrusão (Figura 15).

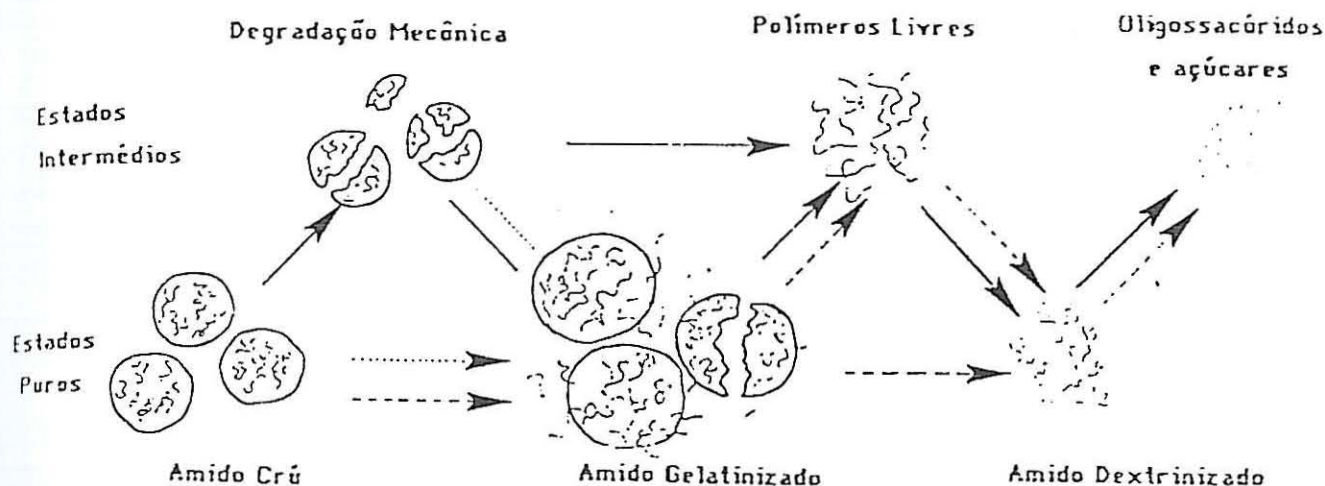


Figura 15 – Modelo proposto para a degradação do amido durante a extrusão:

→ tensão tangencial; → calor; → humidade.

Fonte: Gomez e Aguilera, 1984

Este modelo assume a existência de três estados puros para o amido: crú, gelatinizado e dextrinizado; mas o que se verifica na prática é que há uma degradação contínua na sequência crú → gelatinizado → dextrinizado, podendo também existir estados intermédios: grânulos danificados mecanicamente, polímeros livres e oligossacáridos e açúcares.

Estes autores explicam a presença simultânea, nos extrudidos, de amido nos três estados puros e nos vários estados intermédios: em condições limitadas de água é natural que a humidade que é absorvida pelo grânulo fique retida no interior das zonas mais amorfas. As outras zonas do grânulo, com menores teores de humidade, podem permanecer inalteradas (cruas) ou serem dextrinizadas, consoante forem as condições tempo/temperatura no interior da extrusora.

A tensão distorcional (ou tangencial) provocada pelo parafuso a baixas temperaturas, apenas quebra a microestrutura. Contudo, pode ocorrer dextrinização mesmo abaixo dos 150°C e para teores de humidade de 12%, como foi provado por TAKAHASHI *et al.*, (1982).

Segundo HARPER (1986), as ligações que se estabelecem entre as moléculas de amido que são degradadas pelo processo de extrusão são hidrofóbicas, pelo que a estrutura final e a textura dos produtos extrudidos ricos em amido poderão ser em alguma escala afectados na presença de água.

Alterações a Nível Molecular no Amido com a Extrusão-Cozedura

Durante os últimos anos foram feitos vários estudos para compreender as alterações que ocorrem no amido, a nível molecular, durante a extrusão. Os trabalhos de MERCIER *et al.* em França, PATON, DIOSADY *et al.* no Canadá e de outros autores, indicam que a degradação mecânica das moléculas de amido em fragmentos macromoleculares deve ser tida em conta em muitas das alterações observadas nas propriedades macroscópicas dos amidos extrudidos.

Na extrusão, o amido não só é aquecido, mas também sujeito à tensão tangencial contribuindo para além da energia térmica, para as alterações a nível molecular e influenciando ainda as transferências de massa. A acção da tensão tangencial na extrusão é uma função da viscosidade aparente do sistema, o qual por si só é uma função da temperatura (DIOSADY, 1986).

Reconhece-se já há algum tempo que as condições dentro da extrusora podem modificar a estrutura das cadeias poliméricas. Contudo, as dificuldades na caracterização do amido com larga variação de pesos moleculares e a mistura de moléculas lineares com outras altamente ramificadas desencorajou estudos mais detalhados sobre a distribuição dos pesos moleculares nos amidos extrudidos (DIOSADY, 1986).

Inicialmente pensava-se que a quebra macromolecular ocorria por ruptura das ligações próximas das extremidades das cadeias poliméricas, assim resultando a reacção de produtos com baixo peso molecular. MERCIER e FEILLET (1975) analisaram os produtos de baixo peso molecular resultantes da quebra, pela extracção com etanol e água de amido extrudido. A ausência de uma fracção de amido solúvel numa solução aquosa de etanol indicou que não se formaram moléculas de baixo peso molecular, mono ou oligossacáridos, tendo posteriormente concluído que o amido solubilizado consistia em macromoléculas (DIOSADY, 1986).

A avaliação do grau de fragmentação do amido pode também ser feita através de medições directas, como pela cromatografia de filtração sobre gel. Investigadores como COLONNA *et al.* (1984), DAVIDSON *et al.* (1984) e CHINNASWAMY e HANNA (1990) observaram por este método um decréscimo no material de elevado peso molecular e um correspondente aumento em polissacáridos de baixo peso molecular (WEN *et al.*, 1990).

A extrusão diminui a viscosidade intrínseca indicando a degradação das moléculas de amido. Esta observação foi também confirmada por G.P.C.. O peso molecular médio das fracções de amilose e amilopectina diminui significativamente. O amido degradado produz macromoléculas com baixo peso molecular médio, indicando à quebra da cadeia ao acaso.

O estudo detalhado das alterações moleculares no amido é dificultado por problemas de ordem experimental. A técnica de cromatografia de filtração sobre gel (G.P.C.) consome muito tempo visto que as fracções de elevado peso molecular apenas podem ser analisadas em geis muito frágeis. Este método tem uma precisão limitada visto não haver padrões analíticos disponíveis na variação de pesos moleculares da maioria das moléculas de amilopectina. A exclusão pelo tamanho e a viscosidade intrínseca são técnicas que têm a ver, primeiramente, com o tamanho molecular, e visto que a amilose é

linear enquanto que a amilopectina é uma molécula ramificada, os pesos moleculares médios obtidos por estes métodos são algo incerto (DIOSADY, 1986). Estas dificuldades e limitações da técnica de cromatografia de filtração sobre gel foram também por nós sentidas. Contudo, pensamos que dos resultados obtidos, e tendo em consideração o que atrás já foi dito, se podem tirar conclusões satisfatórias.

5 – A TEXTURA NOS PRODUTOS EXTRUDIDOS

5.1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

A extrusão-cozedura HT-ST (high temperature-short time) é comumente usada na indústria agro-alimentar na produção de aperitivos tipo “snack”, cereais de pequeno-almoço e “dry pet foods”. A popularidade destes produtos resulta, em parte, da sua textura crocante, a qual deriva da estrutura tipo “favo de mel” adquirida pelo material durante a extrusão. Estes produtos são geralmente de muito baixa densidade, extremamente porosos e de estrutura claramente celular. As paredes das numerosas células que possuem são quebradas durante a deformação (ou mastigação). GIBSON e ASHBY (1988) propuseram modelos para o comportamento resultante da compressão de sólidos com estrutura celular que incluíam: uma região elástica linear na qual a força é proporcional à deformação; uma região estacionária durante a qual a força permanece a um nível regularmente constante devido à ruptura das paredes das células; e a região de densificação, na qual a força aumenta rapidamente devido à compactação da estrutura. Os materiais porosos plásticos e elásticos têm curvas de compressão regulares, enquanto que nos materiais com estrutura porosa e quebradiça as curvas são como que denteadas, o que resulta da fractura brusca das paredes das células. Também BARRETT *et al.* (1992a) analisaram curvas de compressão, no caso, de extrudidos de milho tendo verificado que o comportamento de deformação altera-se de plástico para quebradiço, de acordo com os modelos de GIBSON-ASHBY, à medida que o nível de humidade armazenado diminui (BARRETT E PELEG, 1992).

Em geral, a qualidade dos alimentos expandidos é julgada pela seu caracter quebradiço o qual por sua vez é função do seu volume expandido. O volume expandido dos cereais e amidos é normalmente regulado por parâmetros de extrusão-cozedura tais como a temperatura da câmara, a velocidade do parafuso, o diâmetro do orifício de saída e o teor de humidade do material de alimentação (MERCIER E FEILLET, 1975 ; MEUSER *et al.*, 1982; DAVIDSON *et al.*, 1985; OWUSU-ANSAH *et al.*, 1983; CHINNASWAMY E HANNA, 1987), assim como do teor de proteínas (FAUBION *et al.*, 1982c), lípidos (MERCIER *et al.*, 1980; COLONNA E MERCIER, 1983), e amido (ANDERSON *et al.*, 1969b, 1970; MERCIER E FEILLET, 1975; KIM E ROTTIER, 1980) do material inicial.

5.2 – FACTORES DETERMINANTES DA TEXTURA

5.2.1 – NATUREZA DO MATERIAL

5.2.1.1 – AMIDO

O poder de expansão dos cereais diminui com o aumento do teor de proteínas (FAUBION *et al.*, 1982; PERI *et al.*, 1983) ou de lípidos (MERCIER *et al.*, 1980; LINKO *et al.*, 1981) no material de alimentação, mas aumenta com o acréscimo do teor de amido

(LINKO *et al.*, 1981). De acordo com CONWAY (1971), o teor mínimo de amido para a expansão é de 60-70%. Posteriormente verificou-se que de entre os diferentes tipos de amido, alguns tipos expandem melhor que outros (MERCIER E FEILLET, 1975), aparecendo assim não só o teor de amido mas também o tipo de amido (razão amilose/amilopectina) a influenciar as propriedades de expansão. Segundo FELDBERG (1969), o milho com elevado teor de amilopectina (“waxy corn”) favorece a expansão, conduzindo a um produto extremamente leve e frágil, podendo-se segundo este autor, usar a relação amilose/amilopectina no controlo da textura do produto extrudido. MERCIER E FEILLET (1975) confirmaram-no acrescentando ainda que este tipo de extrudidos apresenta uma textura homogénea, com uma superfície externa lisa e adesiva; pelo contrário, amido com elevado teor de amilose (“high-amylose”) dá origem a extrudidos duros e menos expandidos. MATZ (1976) recomenda amido com 5 a 20% de amilose para se obter extrudidos com “crispness” apropriada e uma textura aceitável.

CHINNASWAMY E HANNA (1988a) determinaram o efeito de diferentes temperaturas (130-160°C) e teores de humidade (13-14%) na taxa de expansão de amidos de milho com teores de amilose variáveis (0-70%), tendo registado a taxa de expansão mais elevada a 150°C e em amido com 50% de amilose. Estes autores adiantaram ainda a possibilidade de a estrutura e a massa molecular da amilopectina poderem estar também envolvidas no grau de expansão que é obtido no extrudido para além do teor de amilose do amido. Concluíram ainda que, em amidos pouco “expansíveis”, a taxa de expansão não pode ser melhorada alterando o teor de humidade.

5.2.1.2 - GORDURA

Também o teor de gordura da matéria-prima a ser extrudida é importante para a qualidade do produto. Nos vários estudos feitos até agora não tem havido unanimidade quanto ao seu efeito na textura. Num dos estudos verificou-se que a extrusão de farinha de aveia (que possui cerca de 6% de gordura), é bastante difícil, resultando um produto extrudido muito duro, que sai da extrusora em pequenos pedaços compactos. Constatou-se também um aumento incontrolável da temperatura durante o processo de extrusão. Pelo contrário, nas farinhas de milho e de trigo, fáceis de extrudir e com um teor de gordura de 1,5%, verificou-se um ligeiro aumento do grau de expansão quando foi adicionado 10% do óleo de milho. Já anteriormente DE LA GUÉRIVIÈRE (1976) tinha afirmado que a expansão aumenta para teores de gordura até 5%, diminuindo rapidamente a partir deste valor. Apesar de tudo parece ser evidente que os lípidos podem ser usados nos produtos extrudidos que contêm amido com o fim de controlar a textura (LAUNAY E LISCH, 1983)

5.2.1.3 - HUMIDADE

O teor de humidade do material de alimentação da extrusora afecta significativamente a expansão dos extrudidos sendo considerada uma das variáveis mais importantes deste processo (SEILER *et al.*, 1980). GONZALEZ *et al.* (1987) estudaram a

expansão de farinha de milho numa extrusora de parafuso simples tendo concluído que de entre a velocidade do parafuso, a temperatura da barra e o teor de humidade, era este último factor aquele que mais influenciava as propriedades do material. Já anteriormente GOMEZ E AGUILERA (1984) tinham estudado o efeito do teor de humidade (14,2-32,9%) na expansão de amido de milho, tendo verificado que a diminuição do teor de humidade leva a um aumento da expansão dos extrudidos. Estes constataram, através de microfotografia, que à medida que se caminhava dos extrudidos feitos de material com maior percentagem de humidade para os extrudidos feitos a partir de material com menor teor de humidade, a estrutura variava gradualmente de densa e macia, com alguns pequenos orifícios, para uma estrutura altamente expandida, caracterizada por paredes muito finas e ásperas, e com superfícies internas em lascas na maioria dos extrudidos dextrinizados (que surgiram sobretudo a partir do material de alimentação com menor teor de humidade). Os extrudidos que apresentavam amido gelatinizado de forma extensiva (feitos a partir de material com maior teor de humidade) mostravam uma parede pouco densa e uma superfície rugosa bem como marcas de pressão, provavelmente causada pela força expansiva de um "flash" de vapor após a passagem através do orifício de saída.

A quebra progressiva das paredes em estruturas semelhantes a flocos ocorria em maior extensão nos extrudidos que eram mais dextrinizados. Consequentemente, existe um paralelismo entre o estado dos grânulos de amido, a fragmentação dos produtos e a microestrutura dos extrudidos. Apenas os grânulos que tenham sido degradados através da gelatinização podem participar na formação de uma estrutura expandida estável (GOMEZ E AGUILERA, 1984).

Como já foi dito atrás, a expansão total de um extrudido é consequência da expansão das bolhas de vapor de água que existem no fluido numa fase contínua extensível de amilopectina e amilose. Quando as bolhas se rompem no ponto de extensibilidade máxima das paredes dos alvéolos, a estrutura criada pode-se quebrar sob a acção do seu próprio peso e possivelmente através de alguns efeitos elásticos, a menos que a viscosidade do fluido que constitui as paredes dos alvéolos seja suficientemente elevada para equilibrar estas forças.

Assim, para teores de humidade elevados, a concentração dos polímeros é demasiado baixa para conferir a força mecânica necessária nas paredes celulares no momento de ruptura; por isso a estrutura porosa tende a contrair-se até que eventualmente estabiliza. Apesar de existir uma excessiva quantidade de vapor de água para a expansão do fluido, esta está limitada pela extensibilidade e pela capacidade de concentração de gás das paredes celulares das bolhas.

HAYTER *et al.* (1987) verificaram que o aumento do teor de humidade de "grits" de milho conduz à diminuição do tamanho dos poros. Isto é característico dos produtos extrudidos tipo cereais de pequeno almoço, os quais hidratam mais lentamente que os produtos tipo "snack" (aperitivos), mantendo a desejada "crispness" por mais tempo quando consumidos com leite. Se o extrudido é demasiado húmido, pode expandir significativamente após atravessar o orifício de saída mas contrai-se antes de arrefecer e solidificar, criando uma textura muito dura (GUY E HORNE, 1988). O processamento a

baixo teor de humidade e a uma temperatura de extrusão relativamente elevada conduzem ao máximo de "crispness" (COLONNA, TAYEB e MERCIER, 1989).

5.2.2 – PARÂMETROS DE EXTRUSÃO

5.2.2.1 – TEMPERATURA

Uma outra variável da extrusão que afecta a expansão é a temperatura da câmara: à medida que esta temperatura aumenta, a viscosidade do material de alimentação diminui, resultando uma expansão fácil e apresentando o extrudido uma aparência muito mais ligeira (MAGA E COHEN, 1978). CHEN *et al.* (1991) também consideraram que a densidade de extrudidos de milho é significativamente afectada pela temperatura da barra durante a extrusão e pela interacção entre a temperatura e a velocidade do parafuso. A baixas temperaturas, a diminuição da velocidade do parafuso aumenta a densidade dos extrudidos enquanto que a elevadas temperaturas, o decréscimo da velocidade do parafuso conduz à diminuição da densidade. Para estes investigadores isto pode ser o resultado da viscosidade do material durante a extrusão. A baixas temperaturas, o decréscimo da velocidade do parafuso conduz a uma maior exposição ao calor e aparentemente há mais alterações de viscosidade, reduzindo a expansão do produto à medida que sai da extrusora. Surge assim um produto mais denso. A elevadas temperaturas, um decréscimo na velocidade do parafuso (v.p.) aumenta o tempo para as transferências de calor e reduz a viscosidade, a qual aumenta a expansão do produto na zona terminal da extrusora para produzir um produto menos denso.

A dureza dos extrudidos de milho, definida como a força necessária para trincar os extrudidos com os dentes incisivos, é influenciada primeiramente pela temperatura, seguida da v.p. e da interacção entre a temperatura e o teor de humidade. Para um dado teor de humidade, à medida que a temperatura se eleva, aumenta a dureza pois temos um produto muito mais expandido, portanto, mais fácil de ser quebrado (CHEN *et al.*, 1991).

5.2.2.2 – VELOCIDADE DO PARAFUSO

Relativamente ao efeito da velocidade do parafuso na expansão, têm-se chegado às mais variadas conclusões. LUE *et al.* (1991) afirmaram que a velocidade do parafuso tem uma grande influência na expansão do produto: um acréscimo na velocidade do parafuso causa um maior alongamento, diminuindo a expansão radial. Contudo há um aumento da expansão volumétrica (volume específico). Elevadas velocidades de parafuso (da ordem das 300 r.p.m.) irão resultar em instabilidade na superfície do extrudido. Ainda segundo estes autores as células de ar são mais pequenas quando o produto é processado a elevadas velocidades de parafuso.

CHINNASWAMY E HANNA (1988b), trabalhando com amido de milho numa extrusora de parafuso simples, demonstraram que há um aumento considerável na taxa de expansão radial quando a velocidade do parafuso sofre um acréscimo de 80 para 150 r.p.m., mas que posteriores acréscimos na velocidade do parafuso reduzem a expansão

radial. Adiantaram ainda que elevadas velocidades de parafuso conduzem a tempos de residência muito curtos, diminuindo o grau de gelatinização devido à incompleta cozedura.

FLETCHER *et al.* (1985), em estudos feitos com "grits" de milho extrudido concluiu que a expansão radial e a expansão axial alteram-se da mesma forma quando a velocidade do parafuso é alterada na gama 150-430 r.p.m.. Este efeito foi atribuído ao decréscimo da viscosidade do material fundido, muito mais até do que à distribuição da humidade, e também ao aumento da elasticidade da massa cozida que se verifica quando a velocidade do parafuso aumenta.

Ainda segundo um outro autor (HARPER, 1984), aumentando a velocidade de deformação através do orifício de saída, a textura de "grits" de cereais expandidos pode ser alterada: partindo de uma estrutura celular aberta e dura chega-se a um produto macio e com elevada capacidade de absorção de água.

5.2.2.3 – DIMENSÃO DO ORIFÍCIO DE SAÍDA

Outros factores ainda, podem influenciar as propriedades de expansão, como por exemplo o comprimento e o diâmetro do orifício de saída (CHINNASWAMY E HANNA, 1987), o teor em fibra dietética e a velocidade do parafuso. Aparentemente, numa extrusora de parafuso simples, um orifício de saída pequeno implica um aumento na taxa de expansão (VAN ZUILICHEN *et al.*, 1975). Num trabalho de investigação levado a cabo por LUE *et al.* (1991) concluiu-se que um aumento no teor de fibra dietética do material de alimentação tem como resultado a diminuição do diâmetro e o aumento do comprimento do produto final. Já em estudos anteriores se tinha observado que a expansão radial diminuía com o aumento do teor de fibra dietética (ANDERSON *et al.*, 1981; LAWTON *et al.*, 1985).

PARK (1976) sugeriu que a expansão dos extrudidos resulta da vaporização de água sobreaquecida à medida que o extrudido sai pelo orifício da extrusora. A explosão do vapor de água sobreaquecido expande o material amiláceo, resultando uma estrutura porosa semelhante a uma esponja, no interior do produto extrudido. O grau de expansão do extrudido está intimamente ligado ao tamanho, número e distribuição das células de ar que constituem a matriz do extrudido (LUE *et al.*, 1990). Assim, à medida que a expansão radial decresce, o tamanho das células de ar diminui.

LUE *et al.* (1991) fazem referência ao efeito de um outro factor: o tamanho das partículas de fibra. Assim, diminuindo o tamanho destas partículas favorece-se a expansão do produto. Existem duas explicações para isto: 1) as partículas de fibra mais grosseiras retardam o desenvolvimento das bolhas de ar, e as bolsas de gás rebentam ainda antes de atingirem o óptimo de expansão; 2) as partículas mais finas, devido à sua maior capacidade de ligação com a água, fornecem mais sítios de nucleação para a vaporização da água, favorecendo a expansão pelo aumento do número de células de ar.

5.2.3 – ADITIVOS

Sabe-se ainda que a presença no material de alimentação dos mais variados ingredientes, influencia as propriedades físicas e de textura dos extrudidos. Por exemplo LAI *et al.* (1989) observaram que o bicarbonato de sódio (que liberta CO₂) provoca um aumento no número de células e uma diminuição no tamanho das células de extrudidos de amido de trigo. No mesmo tipo de extrudidos, FAUBION e HOSENEY (1982b) registaram um decréscimo na expansão radial após a adição de glúten. A acidificação de massas de farinha aumenta a despolimerização do amido durante a extrusão (KIM e HANDY, 1987) tendo HARPER (1981) sugerido ser esta uma forma de se poder alterar a textura e as propriedades físicas. O fosfato tricálcico não é comumente empregue na formulação da extrusão mas é usado como um agente de escoamento inerte para fermentos secos podendo fornecer locais de nucleação para as células durante a expansão (BARRETT e PELEG, 1992).

A sacarose em quantidades superiores a 15%, aumenta a expansão, e o efeito é duplicado com a inclusão de 5% de cloreto de sódio (GREBAUT *et al.*, 1978).

Outros exemplos ainda são a adição de monoglicéridos (com o fim de controlar a expansão) e a adição de água durante a extrusão, a qual conduz a alterações nas propriedades sensoriais dos produtos: a estrutura torna-se mais aberta com células largas, a cor torna-se mais clara, a dureza diminui e a adesividade aumenta.

6 – PARTE EXPERIMENTAL

6.1 – MATERIAIS

Os materiais utilizados foram:

- “grits” de milho, adquirido no comércio, que passámos por um crivo de 0,71mm para obtermos a granulometria desejada;
- castanha pilada (mistura de várias variedades), também adquirida no mercado, e que sofreu moagem e crivagem de acordo com o ponto 6.2.1.

6.2 – MÉTODOS DE PREPARAÇÃO E ANÁLISE

6.2.1 – EXECUÇÃO DA MOENDA

As farinhas de castanha utilizadas na extrusão foram obtidas após moenda num moíno Armfield (cat. ref. FT2) utilizando um crivo com 0,71mm de malha. O mesmo moíno foi utilizado para moer os extrudidos mas com um crivo de malha mais apertada (0,42mm).

As farinhas assim obtidas foram depois guardadas em recipientes estanques.

6.2.2 – MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

6.2.2.1 – DETERMINAÇÃO DA HUMIDADE

A humidade das matérias-primas (farinha de castanha e farinha de milho) e dos produtos extrudidos, foi determinada por gravimetria após dessecação em estufa à temperatura de 100-105°C, até se atingir peso constante (Método AOAC, 1970).

6.2.2.2 – DETERMINAÇÃO DA CINZA

Foi efectuada por calcinação em mufla (a 600°C) até peso constante.

6.2.2.3 – DETERMINAÇÃO DA GORDURA BRUTA

Por extracção com éter etílico num extrator Soxhlet (Método AOAC, 1970).

6.2.2.4 – DETERMINAÇÃO DA PROTEÍNA BRUTA

Para esta determinação multiplicou-se por 6.25 a percentagem de azoto total obtido pelo método de Kjeldhal, usando como catalizador o sulfato de cobre saturado.

6.2.2.5 – DETERMINAÇÃO DA CELULOSE BRUTA

Foi feita por hidrólise ácida durante meia hora, seguida de hidrólise alcalina durante o mesmo período de tempo (Método AOAC,1970).

6.2.2.6 – AVALIAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS EXTRACTIVAS NÃO AZOTADAS

Chegou-se ao seu valor pela diferença entre 100 e a soma das substâncias acima citadas.

6.2.2.7 – DETERMINAÇÃO DOS AÇÚCARES TOTAIS

Determinou-se o total de açúcares redutores expresso em açúcar invertido, após hidrólise nas condições descritas na Norma Portuguesa nº 1420 de 1987.

6.2.2.8 – DETERMINAÇÃO DO AMIDO

Foram feitas determinações do teor de amido nas farinhas de castanha e de milho bem como nas farinhas obtidas pela moagem dos extrudidos. Para tal, utilizou-se o método polarimétrico de Lintner (Método Oficial AOAC de 1990). Os valores finais foram obtidos da seguinte forma:

$$\% \text{ de amido} = \text{Leitura polarimétrica em graus} \times 10$$

6.2.3 – MÉTODOS FÍSICOS

6.2.3.1.– DETERMINAÇÃO DA TAXA DE EXPANSÃO

A taxa de expansão dos produtos extrudidos foi calculada através da razão entre o valor do diâmetro do orifício de saída da extrusora e o valor do diâmetro dos produtos extrudidos, medido com a ajuda de uma craveira.

6.2.3.2 – DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA

A consistência das pastas de farinha de castanha, de milho e dos produtos extrudidos foi determinada num amilógrafo Brabender Duisburg. Este aparelho é um viscosímetro de torsão que regista as variações de consistência devidas a um aumento gradual da temperatura.

Procedeu-se previamente à execução de vários ensaios com o fim de estabelecer a percentagem de amido que a suspensão a introduzir no aparelho deveria ter, por forma a que revelasse registos que fossem passíveis de leitura, isto é, que fossem significativos. O valor que se estabeleceu foi 8,5% amido.

Os ensaios foram conduzidos até 92°C, procedendo-se então ao arrefecimento, a uma taxa controlada de 1,5°C/minuto, até se atingir de novo os 20°C.

6.2.3.3 – OBSERVAÇÃO MICROSCÓPICA DOS GRÂNULOS DE AMIDO

A fim de se observar a forma, o tamanho e o aspecto geral dos grânulos de amido de castanha, de milho e dos produtos extrudidos fez-se uma preparação para observação microscópica de cada um destes tipos de farinhas.

Para tal, preparou-se uma solução de iodo com 0,2g de iodo e 2g de iodeto de potássio em 100ml de água. Esta solução foi agitada e mantida numa posição vertical durante 20 minutos para um completo desenvolvimento da cor.

Colocou-se uma gota da solução de iodo numa lâmina e, com a ajuda de uma hansa previamente esterilizada, diluiu-se uma porção de farinha nessa gota. Cobriu-se com uma lamela e observou-se ao microscópio óptico (Leitz, Dialux 22) que tinha incorporado uma câmara fotográfica VARIO-ORTHMAT 2.

Depois de se procurarem os melhores campos de observação, foram tiradas fotografias a diferentes valores de ampliação. As fotografias a cores foram então reveladas e nelas se observou a forma e o aspecto dos grânulos tendo-se determinado o seu tamanho do modo que a seguir se descreve.

Mediu-se com uma craveira o diâmetro dos grânulos que possuíam forma arredondada, e o comprimento e largura máximas daqueles que possuíam formas alongadas. Fez-se depois a conversão das ampliações para o tamanho real, seguindo o cálculo semelhante ao do exemplo seguinte:

$$(100 \times 1 \times 5) \times 0,32 = \text{ampliação do negativo}$$

$$\text{ampliação do negativo} \times 4,52 = \text{ampliação final}$$

onde

$$(100 \times 1 \times 5) - \text{ampliação microscópica para o exemplo dado}$$

$$0,32 - \text{coeficiente da máquina fotográfica}$$

$$4,52 - \text{ampliação do negativo para o positivo (fotografia)}$$

Da divisão do valor medido com a craveira pelo valor da ampliação final, resultou o valor do tamanho real dos grânulos.

Foram feitas para cada fotografia 5 medições e tomado o valor médio como valor final. No caso dos grânulos dos produtos extrudidos calculou-se a média das larguras máximas e dos comprimentos máximos uma vez que os grânulos destes produtos têm uma forma alongada.

6.2.3.4 – CROMATOGRAFIA DE FILTRAÇÃO SOBRE GEL

Para a avaliação das alterações que eventualmente tenham ocorrido no amido de castanha após a extrusão-cozedura, recorreu-se à cromatografia de filtração sobre gel (G.P.C.).

Princípio

À medida que uma solução atravessa um gel, o seu movimento depende do volume de escoamento da fase móvel e do movimento browniano das moléculas de soluto, o que causa a sua difusão pelo interior ou exterior da fase estacionária. A separação em G.P.C. depende da diferente capacidade das várias moléculas da amostra de penetrar nos poros de fase estacionária. As moléculas de maior dimensão nunca se difundem na fase estacionária, ficando confinadas à solução exterior. Já as moléculas de menor dimensão conseguem penetrar nos poros do gel, movendo-se mais lentamente através da coluna, visto que dispendem mais tempo na fase estacionária. As moléculas são pois eluídas da coluna por ordem decrescente do seu tamanho.

Execução Experimental

• Cromatografia – com base no elevado peso molecular das moléculas de amido seleccionou-se o gel Sepharose CL-2B (Pharmacia Fine Chemicals, Sweden) como o mais indicado, pelo facto de apresentar um bom poder de separação para estas moléculas e possuir um espectro de separação bastante elevado.

Como eluente usou-se uma solução 0,02% (v/v) de NaN_3 (azida de sódio) à taxa de $0,5\text{ml. min}^{-1}$. Para manter esta taxa usou-se uma bomba peristáltica LKB Bromma 2232 Microperpex S.

Uma vez conseguida uma boa coluna, determinou-se nela o volume vazio colocando uma solução padrão (dextrano) de massa molecular 12 500 000. O volume vazio foi o volume de eluente recolhido desde a introdução da solução até ao registo do pico máximo no papel.

A fim de determinar os melhores valores para a sensibilidade e a velocidade do papel, foram realizados vários ensaios prévios tendo-se estabelecido os seguintes valores no registador (LKB Bromma 2210 1 – Channel Recorder):

Sensibilidade 200

Veloc. do papel 0,5mm/min.

Todo o equipamento descrito, incluindo o detector (LKB Bromma 2138 Uvicord S) foi montado de acordo com o esquema da Figura 16.

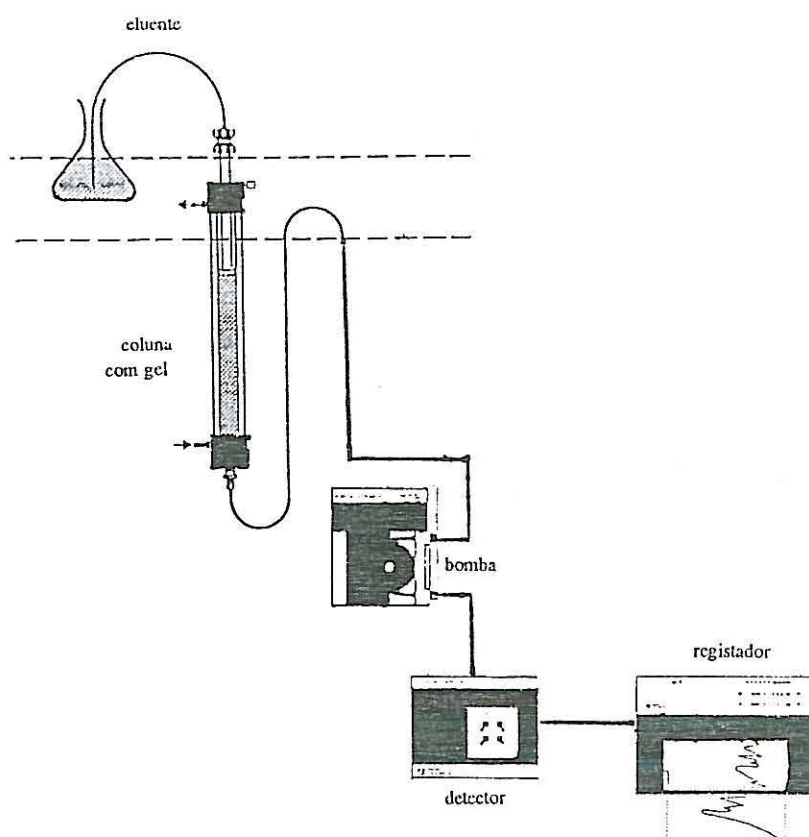


Figura 16 – Representação esquemática do equipamento usado na cromatografia de filtração sobre gel.

• Preparação da amostra – Calculou-se a quantidade de água a adicionar a 0,3g de amostra por forma a obter-se uma concentração de amido constante para todas as amostras. As amostras foram então agitadas com DMSO (dimetilsulfoxido 90% V/V) até perfazer um volume total de 10ml. Colocavam-se num banho de água a 96°C durante 1 hora, transferindo-se de seguida para um outro banho a 25°C, com agitação, onde permaneceram durante 24 horas. Retirou-se uma alíquota (3ml) da solução de amido, e misturou-se com 5ml de álcool a 95% para precipitar o amido o qual foi recolhido por centrifugação (30 minutos a 4300-4400 r.p.m.). O precipitado de amido foi então redissolvido em 5ml de água destilada e agitado durante 20 minutos. Centrifugou-se esta mistura a fim de remover os resíduos insolúveis. Finalmente, o sobrenadante (5ml) foi injectado na coluna de G.P.C..

As amostras foram então introduzidas com uma pipeta na parte superior da coluna com o devido cuidado, por forma a não danificar a superfície do gel. Cada amostra demorou cerca de 6 horas a passar na coluna. Durante este tempo mediu-se

periodicamente o caudal, e no intervalo entre as amostras a coluna foi eluída convenientemente.

Foram também cromatografadas 3 substâncias (dextranos) de massa molecular 515 000, 2 000 000 e 22 500 000. A partir dos gráficos obtidos com estes padrões calculou-se o K_{av} (coeficiente de partição) de acordo com a equação:

$$K_{av} = \frac{V_e - V_0}{V_t - V_0} \quad (1)$$

Sendo:

V_0 – O volume vazio da coluna.

V_e – O volume de eluição da amostra.

V_t – O volume total da coluna.

Com os valores obtidos construiu-se a recta de calibração que se apresenta na Figura 44.

6.2.3.5 – ANÁLISE SENSORIAL DOS PRODUTOS EXTRUDIDOS

A análise sensorial dos produtos extrudidos foi realizada com um painel não treinado de 7 elementos. Os elementos do painel foram convenientemente informados dos objectivos da análise bem como dos significados dos termos usados para apreciação dos diferentes atributos considerados na folha de prova, que se apresenta em anexos. As amostras foram dadas a cada provador em duplicado e de um modo aleatório.

O resultado para cada amostra é, pois, a média dos valores dados para cada um dos membros do painel a cada um dos 12 atributos (ver Quadros IV e V em anexo).

6.3 – MÉTODOS TECNOLÓGICOS

6.3.1 – EXTRUSÃO

6.3.1.1 – CONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS PARA EXTRUSÃO

Após a determinação da humidade da farinha de castanha (como referido em 6.2.2.1), foi calculada a quantidade de água a adicionar para se obterem as humidades estabelecidas no delineamento experimental correspondente (ver ensaios B no delineamento experimental – Quadro XIII, factor X_1). A água foi adicionada lentamente às amostras enquanto estas eram agitadas num misturador, por forma a que adquirissem uma boa homogeneização. O mesmo procedimento foi seguido para os ensaios A depois de se terem feito as misturas de castanha e milho correspondentes a estes ensaios (ver delineamento experimental – Quadro XII, factor X_1). Após este procedimento as amostras foram mantidas em contentores de plástico que, depois de devidamente selados,

foram mantidas à temperatura ambiente por um período de 24 horas antes de serem extrudidos.

6.3.1.2 – EXTRUSÃO PROPRIAMENTE DITA

Os produtos extrudidos obtiveram-se utilizando uma extrusora de parafuso simples de laboratório 20 DN da Brabender.

A cabeça é constituída por um cilindro maciço, na extremidade do qual se enroscou o prato do molde. O molde utilizado é constituído por um único orifício, com um diâmetro interno de 3mm.

O parafuso que se utilizou é um parafuso de Arquimedes do tipo 3:1 (taxa de compressão).

Com base nas informações colhidas em leituras bibliográficas e em ensaios prévios, definiram-se como constantes os seguintes factores:

Quadro X – Factores constantes na extrusão-cozedura

Factor	Valor estabelecido
Tipo de parafuso	Arquimedes
Taxa de compressão	3:1
Velocidade do alimentador	40 r.p.m.
Dimensão do orifício de saída	3mm
Temperaturas T ₁	150°C
T ₂ e T ₃	T ₂ =T ₃
Granulometria das matérias-primas	< 0,71 mm e < 0,42 mm

Os restantes factores são variáveis, e os seus limites foram estabelecidos com base nos ensaios prévios já referidos e de acordo com o delineamento experimental apresentado nos Quadros XII e XIII.

Antes de se proceder à extrusão das matérias-primas relativas às nossas amostras, ligou-se a extrusora e todo o equipamento adicional com a devida antecedência, por forma a que este estabilizasse, tendo-se iniciado a extrusão com a introdução no funil de alimentação de “grits” de milho com 20% de humidade, com objectivo de estabilizar o sistema. No intervalo das amostras, e enquanto se atingiam as condições de processamento desejadas para a amostra seguinte, para a extrusora não estar a trabalhar em vazio, introduzia-se “grits” de milho (com 20% de humidade).

Após a extrusão, os produtos extrudidos foram embalados em sacos de plástico, sob vácuo, a fim de que não sofressem alterações na sua humidade até serem moídos para posteriores determinações.

6.3.1.3 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DO PROCESSO DE EXTRUSÃO-COZEDURA

Uma vez que não sabíamos qual era o comportamento da farinha de castanha no processo de extrusão-cozedura, resolvemos definir um primeiro ensaio experimental, que incluía uma incorporação de farinha de castanha à farinha de milho, cujo comportamento na extrusora é já conhecido (variável X_3 do ensaio experimental A – Quadro XII).

Como houve resultados significativos relativamente a ensaios do plano A feitos com 100% de castanha, resolvemos construir um novo ensaio experimental – plano B, em que a variável X_3 corresponde à velocidade do parafuso e a percentagem de castanha é fixa (100%).

Quadro XI – Plano experimental formulado para 3 factores (X_1 , X_2 , X_3), com 5 níveis para cada factor (0; -1; 1; 1,68179; -1,68179) com 6 réplicas do ponto central (0).

Factores	Níveis		
	X_1	X_2	X_3
Bloco 1	-1	-1	-1
	-1	+1	+1
	+1	-1	+1
	+1	+1	-1
	0	0	0
Bloco 2	0	0	0
	-1	-1	1
	-1	+1	-1
	+1	-1	-1
	+1	+1	+1
Bloco 3	0	0	0
	0	0	0
	+1,68179	0	0
	-1,68179	0	0
	0	+1,68179	0
	0	-1,68179	0
	0	0	+1,68179
	0	0	-1,68179
	0	0	0
0	0	0	

Factores: X_1 = Humidade (%)
 X_2 = Temperatura (°C)
 X_3 = Incorporação de castanha (%) (Ensaio A)
 ou velocidade do parafuso (r.p.m.) (Ensaio B)

Níveis: 0 = ponto central
 +1,68179 = nível superior
 -1,68179 = nível inferior
 $+1 = 0 + (\Delta/2)/\sqrt{p}$
 $-1 = 0 + (\Delta/2)/\sqrt{p}$ sendo Δ a amplitude e p o número de factores

Os níveis estabelecidos para cada factor no ensaio A estão apresentados no Quadro XII.

Quadro XII – Níveis estabelecidos para cada factor (Ensaio A)

Factores	Níveis				
	-1,68179	-1	0	1	1,68179
X ₁	12	13,62	16	18,378	20
X ₂	150	164,19	185	205,8	220
X ₃	20	36,2	60	83,78	100

Factores: X₁ = Humidade (%)
X₂ = Temperatura (°C)
X₃ = Castanha (%)

Para os ensaios B, procedeu-se de acordo com o quadro seguinte:

Quadro XIII – Níveis estabelecidos para cada factor (Ensaio B)

Factores	Níveis				
	-1,68179	-1	0	1	1,68179
X ₁	10	11,6	14	16,478	18
X ₂	150	160,13	175	189,865	200
X ₃	120	155,13	170	184,865	220

Factores: X₁ = Humidade (%)
X₂ = Temperatura (°C)
X₃ = Velocidade do parafuso (r.p.m.)

Baseando-nos nos resultados dos ensaios A, resolvemos alterar os níveis relativos aos factores X₁ e X₂ para os ensaios B, como se pode observar comparando os valores dos respectivos quadros.

Na apresentação dos resultados usámos as designações seguintes:

A HR : T : C – experiência correspondente ao ensaio experimental A, em que HR é a % de humidade relativa na mistura usada para extrusão; T é a temperatura de extrusão (°C) e C é a percentagem de castanha incorporada na mistura.

B HR : T : VP – experiência correspondente ao ensaio experimental B, em que HR é a % de humidade relativa na farinha usada para extrusão; T é a temperatura de extrusão (°C) e VP é a velocidade do parafuso (r.p.m.).

Os resultados obtidos em cada um dos ensaios foram depois sujeitos às análises de regressão múltipla, utilizando para tal o método Phillip Corridan's PC Statistic Package.

6.3.2 – DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE TEXTURA

Para a determinação instrumental dos parâmetros de textura usou-se o texturómetro TAX-T2 com uma célula do tipo Warner-Bratzler.

Os parâmetros escolhidos para o teste de compressão, que se baseia na tensão à ruptura das amostras, foram os seguintes:

– Taxa de deformação (mm/ s^{-1}).....	5
– Distância de penetração (mm).....	10
– Alvo “ Trigger point” (g).....	10
– Limite de detecção de força (g).....	5
– Limite de distância “Distance threshold” (mm)	0.5
– Escala de forças “Force scaling” (g)	100
– Escala de distâncias “Distance scaling” (mm).....	10
– Pontos por segundo.....	50
– Área de contacto (mm^2)	0.8
– Força de contacto (g)	10

O texturómetro foi calibrado com um peso de 5kg e a célula foi centrada em relação ao suporte da amostra.

As amostras foram colocadas perpendicularmente ao eixo de corte da célula cujo ângulo de corte é de aproximadamente 6° .

Nestas condições, e com os parâmetros descritos obtiveram-se gráficos Força vs Distância que se mostram na Figura 2 em anexos. A partir destes gráficos foram determinados os valores relativos ao pico (N), área (N.mm), largura da base (mm), 1º gradiente (N/m), 2º gradiente (N/m) e distância de meia altura (mm), cujas médias e desvios padrões das 5 repetições de cada amostra se apresentam nos Quadros I e II dos anexos.

6.4 – MÉTODOS ESTATÍSTICOS

6.4.1 – MÉTODO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS

Os resultados da análise sensorial foram analisados pelo método das componentes principais com o auxílio do módulo de análise de dados S.P.A.D. (LEBART e MORINEAU, 1985). Com este método é possível reduzir o espaço inicial de m-dimensões (m atributos) a um espaço n-dimensional ($m \gg n$) sem perda considerável de informação (HARMAN, 1976). Vai-se pois substituir o sistema de m eixos iniciais por outro sistema em que os novos eixos são as componentes principais (MORRISON, 1967;

PIGGOTT e SHARMAN, 1986). A primeira componente apresenta a máxima correlação com todas as variáveis e explica a maior percentagem da variância global (POWERS, 1988).

Para além de permitir a representação geométrica das situações multidimensionais num espaço de pequena dimensão, este método pode permitir uma interpretação particular das componentes e, através delas, das variáveis originais (DAGNELI, 1977).

6.4.2 – MÉTODO DAS SUPERFÍCIES DE RESPOSTA

Por nos parecer o mais apropriado, em função das razões abaixo descritas, optámos pela Metodologia das Superfícies de Resposta – RSM, para o tratamento estatístico dos resultados dos amilogramas e dos resultados de textura. Os coeficientes resultantes da Regressão Múltipla são os de uma equação de 2ª grau do tipo:

$$y = a + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3$$

A Metodologia das Superfícies de Resposta é um conjunto de técnicas matemáticas e estatísticas muito úteis na análise de problemas nos quais várias variáveis independentes influenciam uma variável dependente ou resposta, sendo o objectivo a optimização desta resposta (MONTGOMERY, D.C., 1992).

7 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 – CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA E DO AMIDO DE CASTANHA

Composição Química da Castanha

Os resultados das determinações analíticas efectuadas à castanha por nós utilizada estão expostos no quadro seguinte:

Quadro XIV – Nutrientes da castanha (g/100g produto edível)

Castanha	Humidade	Cinza	Azoto	Proteína Bruta	Gordura Bruta	Celulose Bruta	Extracto não azotado	Açúcares Redutores	Amido
Polpa Original	53,00	1,22	0,53	3,31	0,92	1,45	40,1	0,64	23,00
Extracto Seco	---	2,60	1,13	7,04	1,96	3,09	85,31	1,36	48,94

A parte edível da castanha é de 83%. Da análise dos resultados verifica-se que a água é o componente que existe em maior quantidade, seguindo-se-lhe o amido, que expresso em termos de extracto seco se aproxima dos 50%. Estes resultados não se afastam muito dos valores médios já anteriormente referidos (Quadro V).

A razão amilose/amilopectina encontrada para a castanha foi de 0,75 (43% amilose e 57% amilopectina).

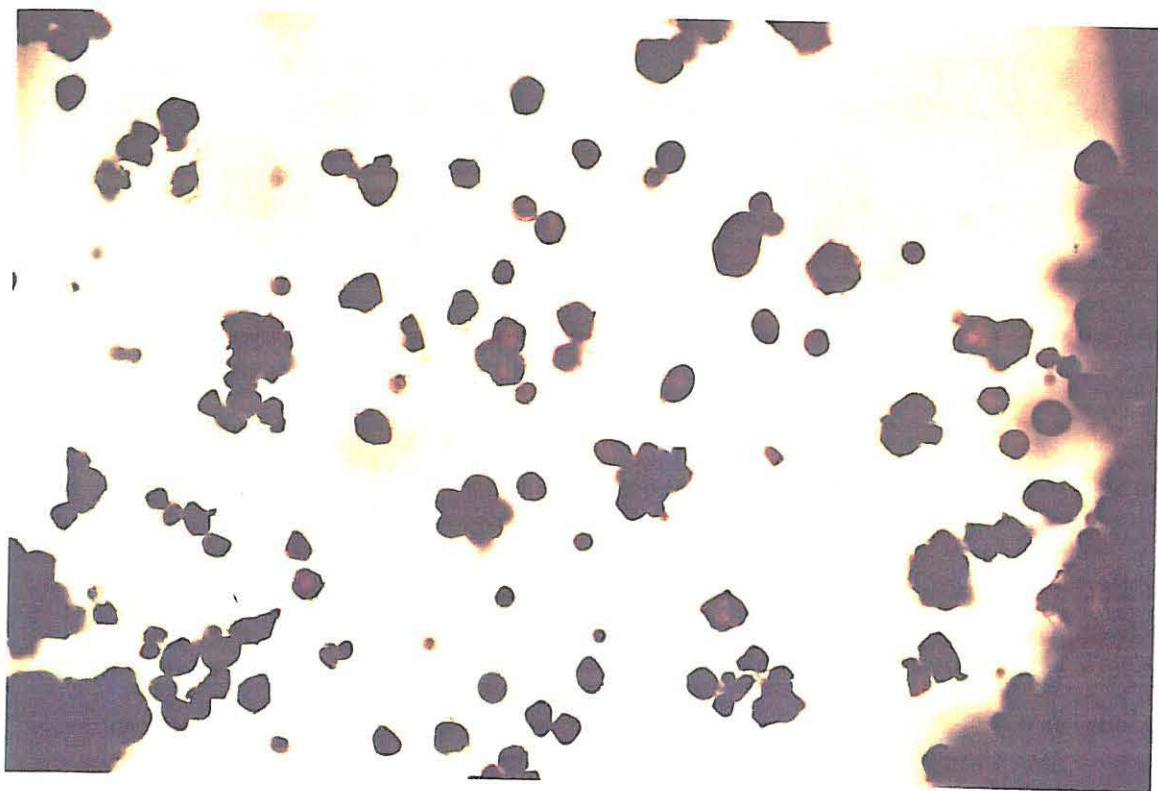
Caracterização dos Grânulos de Amido de Castanha

Neste trabalho fez-se uma caracterização sumária dos grânulos de amido de castanha tendo em conta aspectos como o tamanho, a forma e a aparência geral. Como termo de comparação optou-se pelos grânulos de amido de milho, sobre os quais há alguma bibliografia, não se tendo contudo deixado de proceder à sua observação.

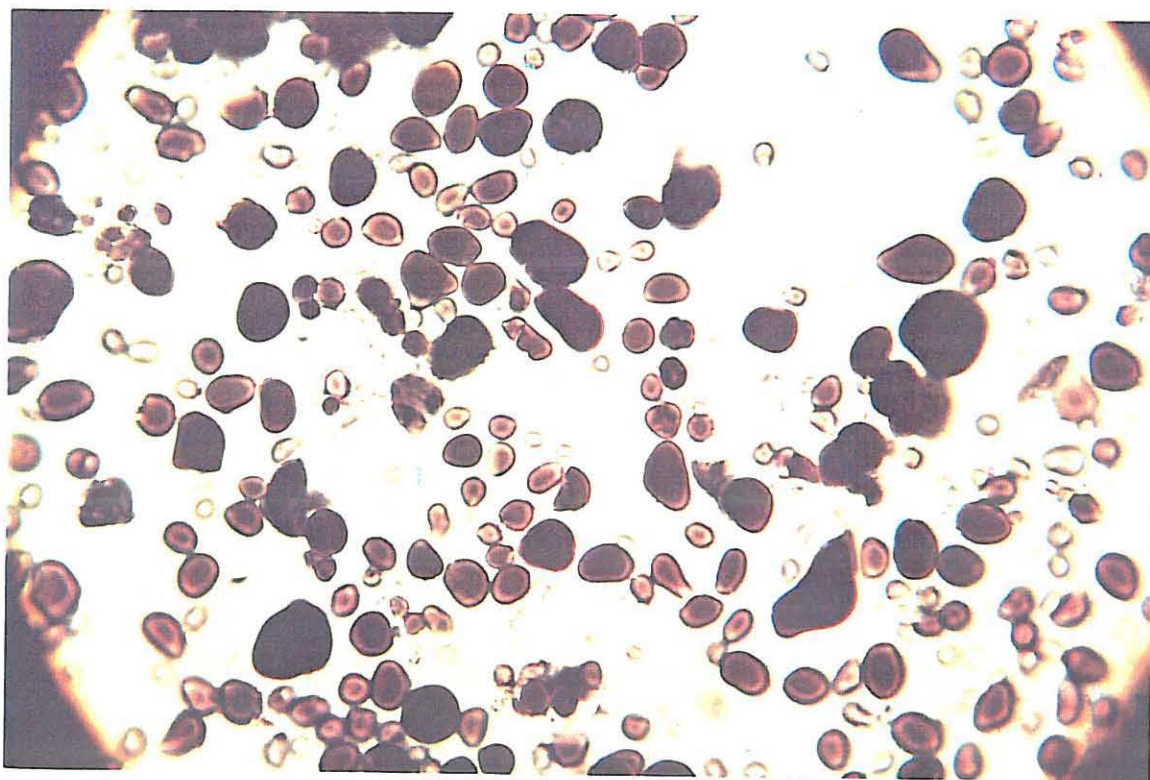
Grânulos de amido de milho

Forma: Arredondada (ovóide e esférica) e poligonal (algumas vezes têm forma geométrica semelhante a pentágonos ou hexágonos de vértices "arredondados").

Tamanho: Variável, tendo-se encontrado grânulos com tamanho a variar de 1,5 μ até 19,75 μ .



A – grânulos de amido de milho (Ampliação – 289 x)



B – grânulos de amido de castanha (Ampliação – 723 x)

Figura 17 – Fotografias dos grânulos de amido ao microscópio óptico (A, B).

Os valores encontrados para o milho estão de acordo com os referidos na bibliografia consultada, excepto no tamanho mínimo, que alguns autores dizem ser cerca de 5μ (KNIGT, 1969; MEDCALF, 1973). Há também concordância com a literatura relativamente à descrição da forma dos grânulos (Figura 17 A).

Grânulos de amido de castanha

Forma: Predominantemente ovóide aparecendo também grânulos esféricos e outros ainda com formas mais irregulares.

Tamanho: Muito variável, tendo-se registado um tamanho mínimo de $1,38\mu$ e um máximo de $17,83\mu$, embora, em média os grânulos de amido de castanha sejam de dimensão inferior aos do milho.

Não foi encontrada qualquer bibliografia que pudesse servir de apoio a estas observações, não se fazendo por isso qualquer confronto com outros autores. No entanto, parece-nos de grande interesse o seu estudo, não só em termos de conhecimento científico, mas também porque julgamos, nos vá permitir uma melhor compreensão das alterações que estes amidos sofrem no processamento em causa (Figura 17 B).

ANÁLISE DOS AMIOGRAMAS DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Início de Gelatinização

A Figura 18 mostra os perfis amilográficos obtidos a partir das diferentes matérias-primas. Pela observação dos amilogramas pode-se afirmar que, para uma mesma concentração de amido, o início de gelatinização da farinha de castanha ocorre mais cedo relativamente às outras matérias-primas (Quadro XV). O início de gelatinização vai sendo retardado à medida que a incorporação de castanha diminui e a de milho aumenta, sendo o início mais tardio na curva correspondente ao milho. É de salientar o valor da temperatura de início de gelatinização de castanha – 59°C – comparativamente com a do milho de 68°C . Esta observação vem de encontro ao que já se referiu na caracterização química quanto à relação amilose/amilopectina encontrada. De facto, iniciando-se o aumento de volume nas zonas mais desorganizadas, amorfas e intercrystalinas dos grânulos, ou seja, nas regiões onde predomina a amilose, é de esperar que o amido de castanha apresente o início mais precoce de gelatinização e que este seja antecipado à medida que aumenta a incorporação de castanha.

Consistência Máxima e Valor de Temperatura Correspondente

Pelo mesmo motivo anteriormente apresentado se compreendem os valores obtidos nos amilogramas para a consistência máxima. Eles também têm, de uma forma geral, valores decrescentes à medida que diminui a incorporação de castanha sendo

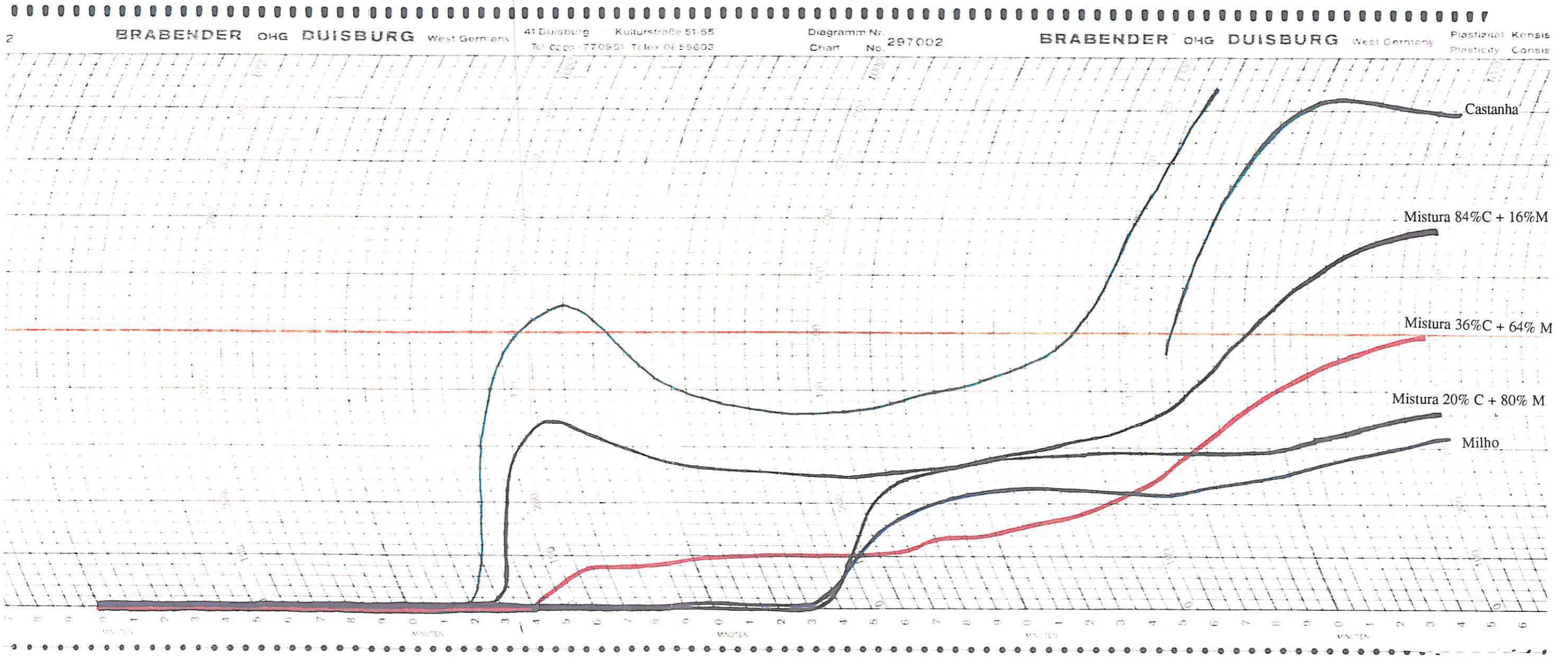


Figura 18 – Sobreposição dos amilogramas das matérias-primas usadas na extrusão

mínimo para o milho (Quadro XV). É de ter presente que todos os ensaios se realizaram a uma concentração diferente à normalmente utilizada.

Quadro XV – Temperatura de início de gelatinização, consistência máxima e respectiva temperatura para as matérias-primas.

Matérias-primas	Temp. de início de gelatinização (°C)	Consistência máxima (U.B.)	Temp. no máximo de consistência (°C)
Castanha	59	545	61
Mistura 84%C + 16%M	60	340	63
Mistura 36%C + 64% M	63	100	68
Mistura 20% C + 80% M	69	280	67
Milho	70	230	72

Há portanto um aumento do fenómeno de lixíviação das moléculas de amilose à medida que se passa de milho para incorporações crescentes de castanha. Isto também poderia ser explicado pela maior dilatação que os grânulos de amido de castanha sofrem no processo de gelatinização relativamente aos grânulos de amido de milho (Figura 17A).

Reofluidificância

Após a registo do pico verifica-se uma quebra na consistência, normalmente denominada liquefacção do amido, a qual é mais acentuada na castanha. Esta quebra, é devida à orientação das moléculas solúveis no sentido do escoamento designando-se este fenómeno por reofluidificância (Figura 18).

Retrogradação

As moléculas de amilose que foram lixiviadas dos grânulos de amido têm tendência a reassociarem-se ligando-se fortemente entre si por ligações de hidrogénio. Em soluções relativamente concentradas, como é o caso da castanha (elevado teor de amilose), isto conduz à formação de um gel “emborrachado”, e posteriormente à saída de água do gel (sinéresis) à medida que as ligações de hidrogénio aumentam e o gel se contrai.

À medida que o gel arrefece, as cadeias tornam-se menos energéticas e as pontes de hidrogénio mais fortes, resultando um gel mais firme o que se traduz por um aumento da consistência (Quadro XVI).

Como seria de esperar, face aos resultados anteriormente obtidos, também a consistência após arrefecimento, ou seja, a retrogradação do amido, é muito mais acentuada no caso da castanha já que, sendo quantitativamente menores as zonas

QUADRO XVI - Consistência no “set-back” (U.B.).

Matérias primas	Consistências no “set-back” (U.B.)
Castanha	1 380
Mistura 84%C + 16%M	685
Mistura 36%C + 64%M	495
Mistura 20%C + 80%M	360
Milho	320

cristalinas, menos importância terão estas zonas para a estrutura do gel e mais forte a libertação de água para o exterior.

7.2 - CARACTERIZAÇÃO DA TEXTURA DOS PRODUTOS EXTRUDIDOS

Apresentação e Discussão dos Valores Estatísticos

No tratamento estatístico por R.S.M. dos parâmetros de textura, utilizaram-se os valores dos quadros (I, II e III em anexo), utilizando-se os valores do pico (N) para a força de ruptura e da área (N.mm) para a energia de ruptura. Tal como fizemos para a interpretação dos valores estatísticos dos amilogramas, em função do valor de R^2 (coeficiente de correlação), fez-se uma selecção dos resultados de R.S.M. tendo sido considerados os valores:

- Resultados da taxa de expansão
 - No ensaio experimental A $R^2=0,89$
 - No ensaio experimental B $R^2=0,86$
- Resultados da força de ruptura
 - No ensaio experimental A $R^2=0,97$
 - No ensaio experimental B $R^2=0,79$
- Resultados da energia de ruptura (ensaio B)..... $R^2=0,82$

TAXA DE EXPANSÃO

Ensaio experimental A

Os valores dos coeficientes e respectivo valor de t (t-student) apresentam-se no Quadro (XVII):

Quadro XVII– Taxa de expansão (ensaio A) – coeficientes e respectivo valor de t (t-Student)

a = -0,1698858	→	valor de t = -2,683625
b = -0,2934001	→	valor de t = -4,634736
c = -0,3007888	→	valor de t = -4,751452
d = 0,02167	→	valor de t = 0,3294241
e = -0,1179992	→	valor de t = -1,793806
f = 0,129516	→	valor de t = 1,968883
g = -4,250002E-02	→	valor de t = -0,5138465
h = 0,1875	→	valor de t = 2,266969
i = -7,249998E-02	→	valor de t = -0,8765612
constante = 1,683711		

Os valores que têm significado são os correspondentes aos coeficientes **a**, **b**, **c** e **h**, resultando a equação geral:

$$Y = 1,683 - 0,1698 X_1 - 0,293 X_2 - 0,301 X_3 + 0,188 X_1 X_3 \quad (2)$$

Para $X_1 = 0$

$$Y = 1,683 - 0,293 X_2 - 0,301 X_3 \quad (3)$$

Para $X_2 = 0$

$$Y = 1,683 - 0,1698 X_1 - 0,301 X_3 + 0,188 X_1 X_3 \quad (4)$$

Para $X_3 = 0$

$$Y = 1,683 - 0,1698 X_1 - 0,293 X_2 \quad (5)$$

A taxa de expansão varia assim de uma forma inversamente proporcional com a humidade a temperatura e a % de incorporação de castanha verificando-se também uma interacção positiva entre a humidade e a % de castanha incorporada.

As equações 3, 4 e 5 são traduzidas nos diagramas das figuras 19, 20 e 21 respectivamente.

A visualização dos diagramas permite-nos afirmar que a taxa de expansão diminui à medida que aumenta a humidade, a temperatura e a % de castanha incorporada. Dito de outra forma, a expansão é maior nos produtos processados com menor teor de humidade, a temperaturas mais baixas e com menores teores de incorporação de castanha.

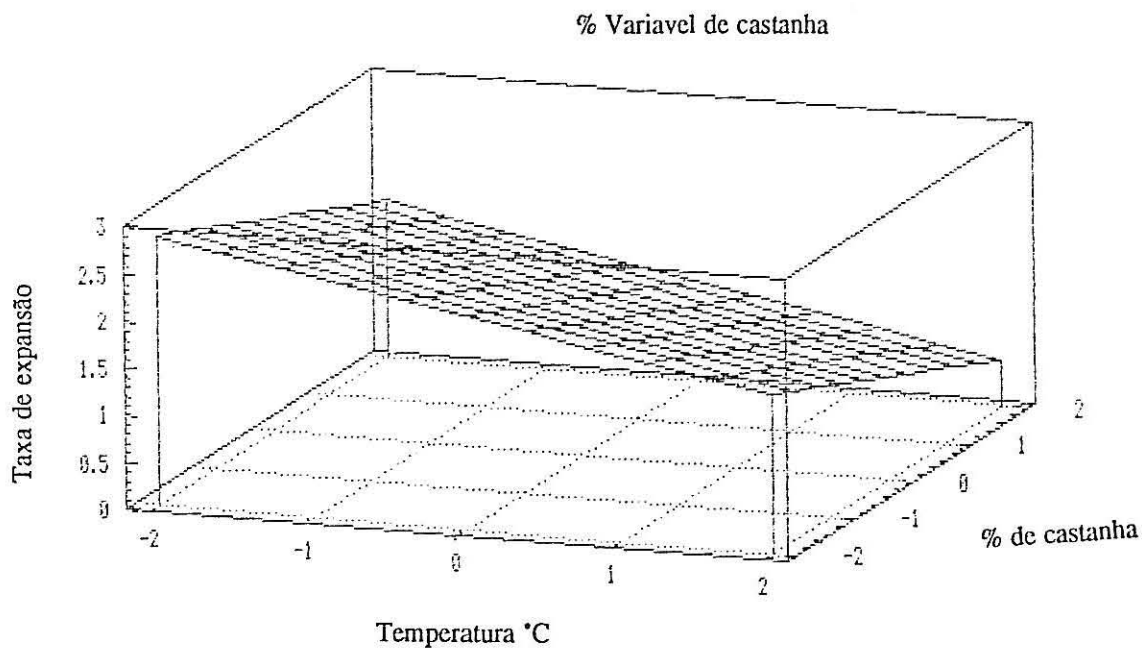


Figura 19 – Diagrama para a taxa de expansão em função da temperatura (x_1) e da % de incorporação de castanha (x_3).

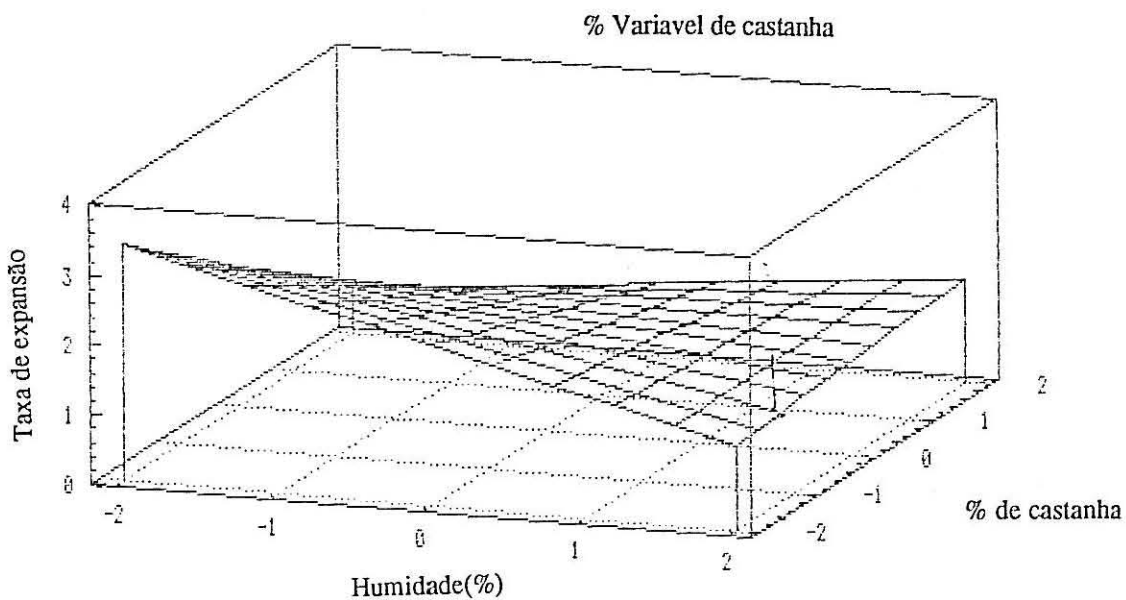


Figura 20 – Diagrama para a taxa de expansão em função da % de humidade (x_1) e da % de incorporação de castanha (x_3).

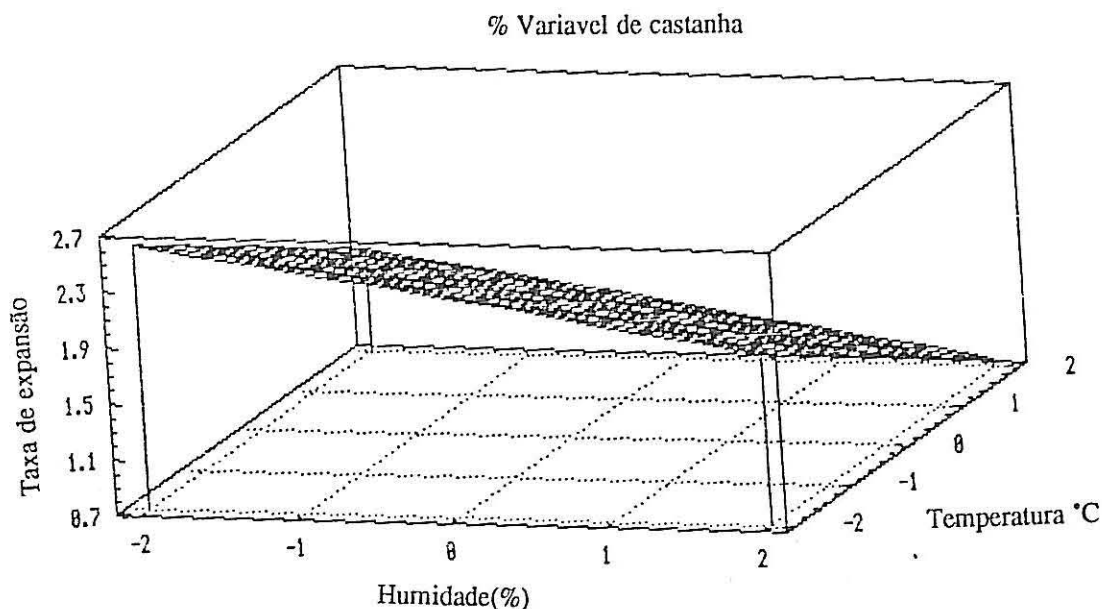


Figura 21 – Diagrama para a taxa de expansão em função da humidade (x_1) e da temperatura (x_2).

A interação positiva entre a humidade e a % de incorporação de castanha atenua o efeito negativo destas duas variáveis.

O valor mais elevado da taxa de expansão (2,33) corresponde ao extrudido processado com uma temperatura final de 206°C, com 14% de humidade e com 36% de castanha incorporada (ver Quadro III em anexos).

Ensaio experimental B

No Quadro apresentam-se os valores dos coeficientes e respectivo valor de t (t-Student):

Quadro XVIII – Taxa de expansão (ensaio B) – coeficientes e respectivo valor t (t-Student)

$a = -0,1731064$	→	valor de $t = -3,670679$
$b = -0,1657215$	→	valor de $t = -3,514085$
$c = 1.600888E-02$	→	valor de $t = 0,3394645$
$d = -0,1016163$	→	valor de $t = -1,434465$
$e = -7,332874E-02$	→	valor de $t = -1,035144$
$f = -3,089746E-02$	→	valor de $t = -0,4361638$
$g = -5,749997E-02$	→	valor de $t = -0,9332126$
$h = -0,035$	→	valor de $t = -0,5680426$
$i = -7,499993E-03$	→	valor de $t = -0,1217233$
constante = 1,683402		

Os valores que têm significado são os correspondentes aos coeficientes a e b e a equação polinomial vem reduzida a:

$$Y = 1,683 - 0,173 X_1 - 0,166 X_2 \quad (6)$$

Donde se pode ver que a taxa de expansão varia de uma forma inversamente proporcional com a % de humidade e com a temperatura não dependendo da velocidade do parafuso (X3).

A sua representação gráfica mostra-se na figura seguinte:

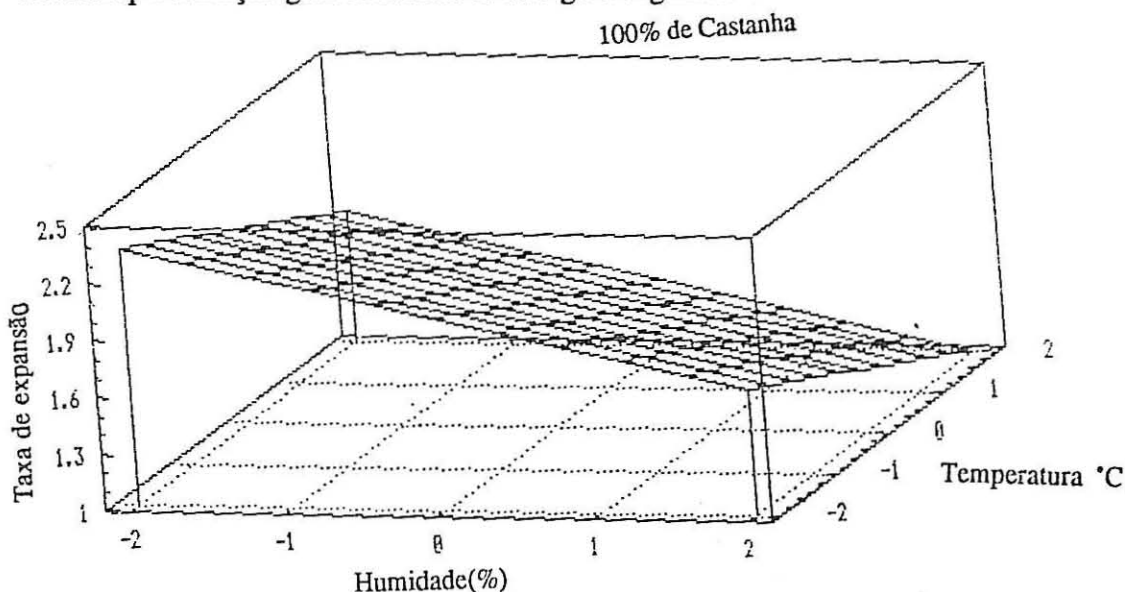


Figura 22 – Diagrama da taxa de expansão em função da humidade (x₁) e da temperatura(x₂).

A taxa de expansão atinge valores mais elevados quando o teor de humidade da materia prima é reduzido e quando a temperatura é baixa.

FORÇA DE RUPTURA

Ensaio Experimental A

Os valores dos coeficientes e respectivos valor de t (student) encontram-se no quadro:

Quadro XIX – Força de ruptura (ensaio A) – Coeficientes e respectivo valor t (t- Student)

a = 0,2173548	→	valor de t = 1,151723
b = -2,471421	→	valor de t = -13,09559
c = -0,3428309	→	valor de t = -1,816597
d = -0,3391153	→	valor de t = -1,729246
e = 0,3309458	→	valor de t = 1,687587
f = -1,226637	→	valor de t = -6,2544972
g = -0,23875	→	valor de t = -0,9682814
h = 0,11125	→	valor de t = 0,4511885
i = 0,23375	→	valor de t = 0,9480032
constante = 4,274598		

Os valores significativos correspondem aos coeficientes **b** e **f**. A equação polinomial resultante é:

$$Y = 4,274 - 2,471 X_2 - 1,227 X_3^2 \quad (7)$$

Para uma dada % de humidade a força de ruptura varia de forma inversamente proporcional com a temperatura e de forma quadraticamente inversa com a incorporação de castanha.

A equação matemática é traduzida no diagrama seguinte:

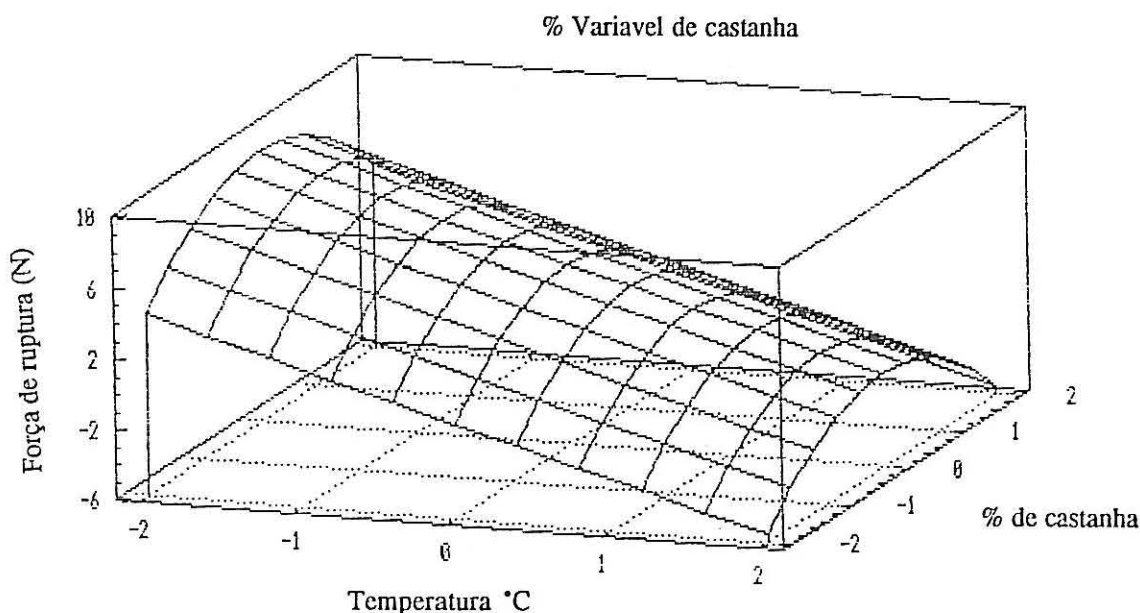


Figura 23 – Diagrama da força de ruptura em função da temperatura (x_2) e da % de incorporação de castanha (x_3).

A observação do diagrama permite-nos afirmar que para uma mesma humidade a força de ruptura é máxima para % de incorporação de castanha intermédias e temperaturas baixas.

Ensaio Experimental B

No quadro seguinte apresentam-se os valores dos coeficientes e respectivo valor de t (t-student):

Quadro XX – Força de ruptura (ensaio B) – Coeficientes e respectivo valor t (t-Student)

a = -0,8487928	→	valor de t = -2,808648
b = -0,8906463	→	valor de t = -2,94714
c = 6,739584E-02	→	valor de t = 0,2230122
d = 9,309743E-02	→	valor de t = 0,2050816
e = -5,364428E-02	→	valor de t = -0,1181714
f = 0,3635969	→	valor de t = 0,800957
g = 0,1075001	→	valor de t = 0,27226
h = -0,2	→	valor de t = -0,50653
i = 0,1375	→	valor de t = 0,3482393
constante = 2,166391		

Dado que os coeficientes significativos são a e b, a equação matemática corresponde a:

$$Y = 2,166 - 0,849 X_1 - 0,891 X_2 \quad (8)$$

Assim, a força de ruptura varia linear e inversamente com a % humidade (X_1) e com a temperatura (X_2), para uma dada velocidade de parafuso. O valor máximo da força de ruptura ocorre para os mais baixos teores de humidade e as mais baixas temperaturas, como se pode ver na Figura 24.

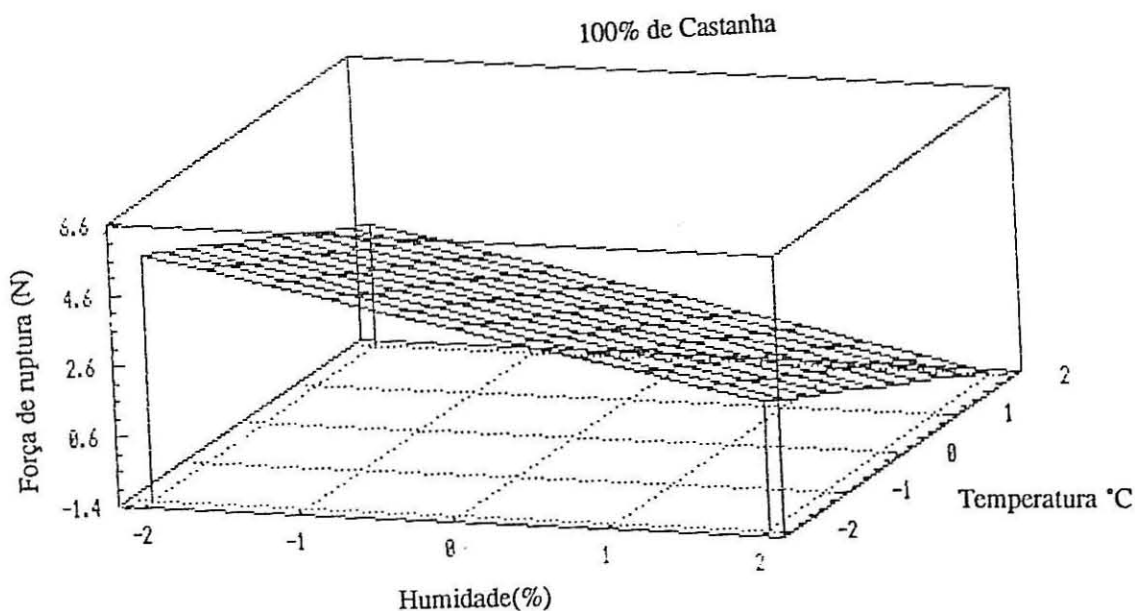


Figura 24 – Diagrama da força de ruptura em função da % humidade (x_1) e da temperatura (x_2).

O valor mais elevado para a força de ruptura (5,18 N) obteve-se no extrudido processado com uma temperatura de 175°C, com 10% de humidade e com uma velocidade do parafuso de 170 r.p.m. Esta extrudido também apresenta o maior valor para a taxa de expansão (1,9) (ver Quadros II e III em anexos).

ENERGIA DE RUPTURA

(Ensaio B)

No Quadro XXI apresentam-se os valores dos coeficientes e respectivo valor t (t-student):

Quadro XXI – Energia de ruptura (ensaio B) – Coeficientes e respectivo valor t (t-Student)

a = -4,421067E-03	→	valor de t = -2,533082
b = -6,030733E-03	→	valor de t = -3,455351
c = -3,274692E-03	→	valor de t = -1,876258
d = -4,563619E-04	→	valor de t = -1740704
e = 1,093891E-04	→	valor de t = 4,172433E-02
f = 7,458586E-04	→	valor de t = 0,2844932
g = 0,00005	→	valor de t = 2,192662E-02
h = -8,999998E-04	→	valor de t = -0,394679
i = 6,000001E-04	→	valor de t = 0,2631195
constante = 0,0148		

Os valores que têm significado são os correspondentes aos coeficientes a e b e a equação matemática vem:

$$Y = 0,0148 - 0,00442 X_1 - 0,00603 X_2 \quad (9)$$

A energia de ruptura varia linear e inversamente com a % de humidade (x_1) e com a temperatura (X_2). Ou seja, os valores mais baixos para a energia de ruptura correspondem aos valores mais elevados de % de humidade e de temperatura, como se pode observar no diagrama da figura 25.

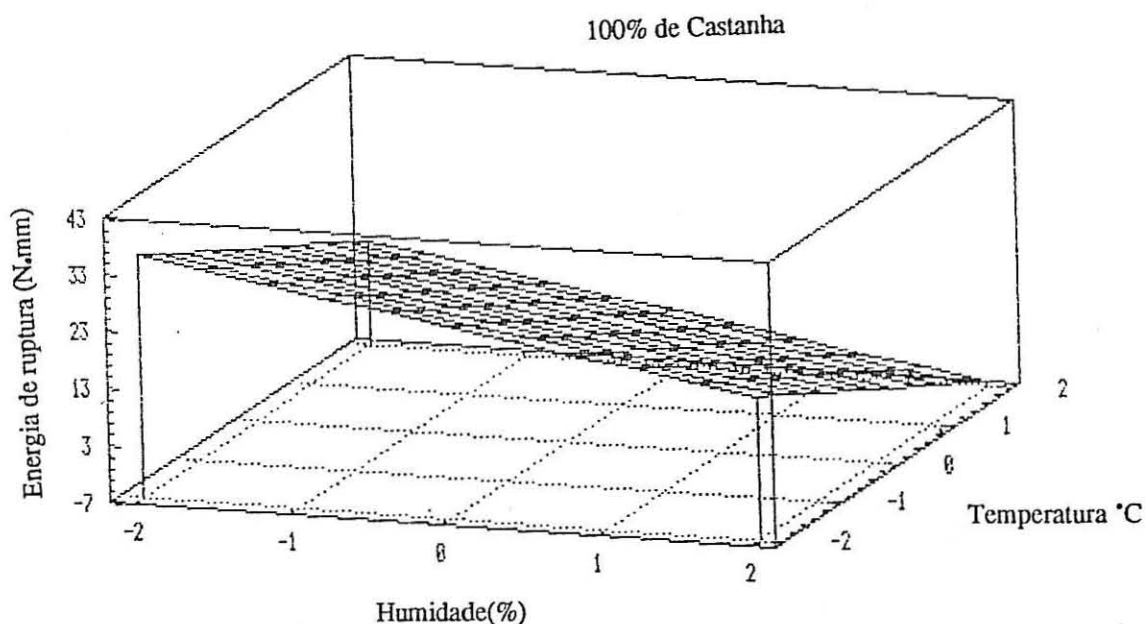


Figura 25 – Diagrama da energia de ruptura em função da % de humidade (x_1) e da temperatura (x_2).

Os resultados da textura permitem-nos verificar que as características de um bom extrudido, são genericamente, uma boa taxa de expansão, uma força de ruptura média e em equilíbrio com a energia de ruptura. Estas afirmações são confirmadas pelos resultados da análise sensorial, pois, as amostras que tiveram maior aceitabilidade em ambos os ensaios possuem estas características.

A força de ruptura média resulta das características “crocantes” do extrudido como acontece com as amostras 6 (A 16: 185: 60), 8 (A12: 185: 60), 13 (B12: 190: 185), 3 (B16: 160: 155), 6 (B 14: 175: 170) e 15 (B14:200: 170) que tiveram uma pontuação elevada no atributo estaladiço e solubilidade na boca e baixa no atributo plasticidade.

Por outro lado força de ruptura e energia de ruptura simultaneamente elevados resultam de um produto mais plástico como também se pode verificar pela comparação com os extrudidos que tiveram maior pontuação neste atributo por parte do painel de análise sensorial. (ver Quadros I, II, IV e V em anexos).

Nesta perspectiva deveremos usar uma mistura a entrar na extrusora com baixos teores de humidade e temperaturas intermédias ou compensar uma ligeira subida de humidade com um aumento de temperatura. Estas afirmações justificam-se ainda mais nos extrudidos com 100% de castanha, como se pode observar nos resultados dos Quadros em anexo.

A diminuição da taxa de expansão com a % de incorporação de castanha pode ser explicada pelo menor teor de amido desta comparativamente com o milho. A importância do teor de amido na expansão do produto final foi também constatada por LINKO *et al.*, (1986) e MERCIER et FEILLET, (1975). No entanto, apesar da castanha

possuir menor teor de amido que o milho apresenta extrudidos com uma taxa de expansão considerável, como se pode verificar pela observação do Quadro III em anexo, o que nos leva a pensar que na castanha a menor concentração de amido seja em parte compensada, para efeitos de expansão, pela sua maior concentração de amilose e pela maior massa molecular da amilopectina relativamente à da amilopectina do amido de milho, como foi por nós confirmado por cromatografia de filtração sobre gel (ver Quadro XXV). Estes dados também foram adiantados por CHINNASWAMY e HANNA (1988 a).

A diminuição da taxa de expansão com o aumento do teor de humidade foi também verificada por GOMEZ e AGUILERA (1984) e a sua explicação, que apresentamos no capítulo 5 parece-nos correcta complementada por GUY e HORNE (1988) quando afirmam que se o extrudido é demasiado húmido depois de atravessar o orifício de saída da extrusora, pode expandir significativamente, mas contrai-se antes de arrefecer e solidificar criando uma textura muito dura.

Tal como CHINNASWAMY e HANNA (1988a), também nós concluímos neste trabalho ser a quantidade e o tipo de amido mais importantes na variação da taxa de expansão do que a humidade da matéria-prima.

A diminuição da taxa de expansão com o aumento da temperatura (numa gama de temperaturas elevadas) foi também verificada por CHINNASWAMY e HANNA (1988a). Eles adiantaram ainda que a temperatura optima depende da percentagem de amilose do amido aumentando o valor da temperatura optima com o aumento da percentagem de amilose.

7.3 – APRECIACÃO SENSORIAL DOS PRODUTOS EXTRUDIDOS

Por se tratar de uma matéria-prima que nunca foi utilizada na formulação de produtos por extrusão-cozedura, procedeu-se à sua avaliação sensorial a fim de se obter uma primeira ideia sobre a aceitabilidade dos mesmos, conscientes de que, para se atingir um produto final se torna necessário uma optimização das condições de processamento e uma posterior análise sensorial com um painel treinado e com um maior número de elementos.

As condições de processamento dos diferentes extrudidos encontram-se nos Quadros XII e XIII do capítulo 6.

A interpretação dos resultados só é possível, como já se disse, recorrendo a metodologias que permitam uma redução do espaço inicial a um de menor dimensão, que possa ser visualizado pelo ser humano.

No Quadro XXII apresenta-se a matriz de correlação, entre as 12 variáveis, para ambos os ensaios.

QUADRO XXII – Matriz de correlação entre as variáveis. Ensaio A (% variável de castanha).

ICOR	1.00												
ACOR	0.87	1.00											
ASP	0.86	0.97	1.00										
DUR	-0.07	-0.29	-0.24	1.00									
PLA	0.14	0.18	0.17	0.36	1.00								
EST	-0.03	0.08	0.10	-0.51	-0.76	1.00							
SOL	-0.18	-0.05	-0.06	-0.56	-0.71	0.89	1.00						
TEXT	0.51	0.58	0.64	-0.41	-0.29	0.62	0.51	1.00					
SCAS	0.02	-0.08	-0.02	0.18	0.29	-0.04	-0.04	-0.09	1.00				
SES	0.11	0.00	-0.04	0.38	0.35	-0.34	-0.30	-0.26	-0.15	1.00			
DOCE	-0.01	-0.04	0.07	0.39	0.41	-0.24	-0.32	0.09	0.55	-0.11	1.00		
APGL	0.55	0.61	0.71	-0.17	0.03	0.42	0.24	0.76	0.46	-0.35	0.46	1.00	
	ICOR	ACOR	ASP	DUR	PLA	EST	SOL	TEXT	SCAS	SES	DOCE	APGL	

QUADRO XXII – Matriz de correlação entre as variáveis. Ensaio B (100% de castanha). (Continuação).

ICOR	1.00												
ACOR	0.87	1.00											
ASP	0.86	0.97	1.00										
DUR	-0.07	-0.29	-0.24	1.00									
PLA	0.14	0.18	0.17	0.36	1.00								
EST	-0.03	0.08	0.10	-0.51	-0.76	1.00							
SOL	-0.18	-0.05	-0.06	-0.56	-0.71	0.89	1.00						
TEXT	0.51	0.58	0.64	-0.41	-0.29	0.62	0.51	1.00					
SCAS	0.02	-0.08	-0.02	0.18	0.29	-0.04	-0.04	-0.09	1.00				
SES	0.11	0.00	-0.04	0.38	0.35	-0.34	-0.30	-0.26	-0.15	1.00			
DOCE	-0.01	-0.04	0.07	0.39	0.41	-0.24	-0.32	0.09	0.55	-0.11	1.00		
APGL	0.55	0.61	0.71	-0.17	0.03	0.42	0.24	0.76	0.46	-0.35	0.46	1.00	
	ICOR	ACOR	ASP	DUR	PLA	EST	SOL	TEXT	SCAS	SES	DOCE	APGL	

LEGENDA:

- | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 1. ICOR – Intensidade da cor | 5. PLA – Plasticidade | 9. SCAS – Sabor a castanha |
| 2. ACOR – Apreciação da cor | 6. EST – Estaladiço | 10. SES – Sabores estranhos |
| 3. ASP – Aparência | 7. SOL – Solubilidade na boca | 11. DOCE – Doce |
| 4. DUR – Dureza | 8. TEX – Apreciação geral da textura | 12. APGL – Apreciação global |

Da análise deste quadro verifica-se que para o ensaio A os atributos intensidade da cor, apreciação da cor e aparência se relacionam entre si. Também se pode observar que os atributos solubilidade na boca e estaladiço se relacionam entre si e se opõem ao atributo plasticidade. No ensaio B os atributos solubilidade na boca, estaladiço e apreciação geral da textura estão fortemente relacionados e opõem-se ao atributo plasticidade.

Relativamente ao atributo apreciação global (APG):

No ensaio A - Depende fundamentalmente do aspecto dos extrudidos e da sua textura, relacionando-se negativamente com a dureza e os sabores estranhos;

No ensaio B - Depende directamente dos atributos estaladiço, solubilidade na boca e textura e relaciona-se negativamente com a intensidade da cor, plasticidade e sabores estranhos.

No Quadro (XXIII) pode observar-se que o espaço inicial com 12 dimensões (12 atributos) pode ser reduzido a um espaço bidimensional formado pelas 3 primeiras componentes principais F1, F2 e F3. Este espaço explica 79,6% da variância contida nos dados iniciais para os ensaios A (% variável de castanha), e 82,6% nos ensaios B (100% de castanha). As restantes componentes não são consideradas por apresentarem valores próprios inferiores à unidade e, como tal, não serem significativas (DAGNELI, 1977; ENNIS et. al., 1982; FRITJERS, 1976; AISHIMA, et. al., 1978).

Quadro XXIII – Análise em componentes principais dos resultados sensoriais dos extrudidos dos ensaios A (% variável de castanha) e B (100% de castanha).

Componentes Principais	ENSAIOS A			ENSAIOS B		
	Valor próprio	Var. Expl. %	Var. Acum.	Valor próprio	Var. Expl. %	Var. Acum.
F1	4,28	35,67	35,67	6,55	54,55	54,55
F2	3,33	27,35	63,43	2,06	17,18	71,74
F3	1,93	16,12	79,55	1,3	10,58	82,62
F4	0,84	6,99	86,55	0,8	6,68	89,29

As três primeiras componentes principais podem ser interpretadas, através dos seus coeficientes de correlação com as variáveis iniciais (atributos sensoriais considerados na análise), contidos no Quadro XXIV.

Quadro XXIV – Contribuição das variáveis na definição dos novos eixos para os ensaios A (% variável de castanha) e B (100% de castanha).

COORDENADAS										
ATRIB.	DESV. PADRÃO	*	F1	F2	F3	DESV. PADRÃO	*	F1	F2	F3
ICOR	16.842	*	0.63	-0.60	-0.32	11.469	*	-0.58	-0.46	-0.34
ACOR	19.268	*	0.75	-0.53	-0.35	9.263	*	0.47	-0.51	-0.62
ASP	20.674	*	0.77	-0.56	-0.24	11.938	*	0.84	-0.28	0.06
DUR	11.665	*	-0.57	-0.44	0.17	12.588	*	0.02	-0.67	0.24
PLA	15.989	*	-0.34	-0.80	0.03	21.03	*	-0.85	-0.28	0.31
EST	22.544	*	0.66	0.65	0.18	20.636	*	0.93	0.12	-0.29
SOL	18.761	*	0.53	0.75	0.15	18.658	*	0.88	-0.12	-0.13
TEXT	18.282	*	0.90	0.01	0.06	19.866	*	0.96	0.04	-0.06
SCAS	16.186	*	0.00	-0.31	0.78	11.494	*	0.75	-0.40	0.40
SES	15.944	*	-0.36	-0.30	-0.46	9.208	*	-0.72	-0.07	-0.61
DOCE	15.992	*	-0.05	-0.52	0.73	15.216	*	0.22	-0.89	0.07
APGL	11.734	*	0.80	-0.35	0.46	18.144	*	0.95	-0.02	0.02
A						B				

LEGENDA:

- | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 1. ICOR – Intensidade da cor | 5. PLA – Plasticidade | 9. SCAS – Sabor a castanha |
| 2. ACOR – Apreciação da cor | 6. EST – Estaladiço | 10. SES – Sabores estranhos |
| 3. ASP – Aparência | 7. SOL – Solubilidade na boca | 11. DOCE – Doce |
| 4. DUR – Dureza | 8. TEX – Apreciação geral da textura | 12. APGL – Apreciação global |

Primeira componente principal (F1) - Quer nos ensaios A quer nos ensaios B é possível relacionar, positivamente e por ordem decrescente, esta componente com os atributos "textura", "apreciação global" e "aparência". Com F1, é ainda possível correlacionar positivamente, no ensaio A os atributos "estaladiço" e "solubilidade na boca" e no ensaio B, o atributo "apreciação da cor". A "dureza" apresenta correlações negativas com F1 no ensaio A, enquanto que a "plasticidade" e "sabores estranhos" se correlacionam negativamente com este eixo no ensaio B.

Assim este eixo pode ser eventualmente identificado como o eixo hedónico que traduz fundamentalmente a apreciação geral da textura e a apreciação global.

Segunda componente principal (F2) - Esta componente identifica-se fundamentalmente com o atributo doce (correlacionado negativamente) para o ensaio B e opõe os atributos solubilidade na boca e estaladiço (correlacionados positivamente) à plasticidade no ensaio A.

Terceira componente principal (F3) - A componente F3 pode ser identificada como o "eixo do sabor": em ambos os casos o "sabor a castanha", e além deste, no ensaio A o "sabor doce". No ensaio B o sabor a castanha opõe-se aos sabores estranhos.

As projecções dos diferentes atributos e amostras de extrudidos no plano definido pela 1ª e 2ª componentes principais encontram-se nas Figuras 26 (ensaio A) e 27 (ensaio B).

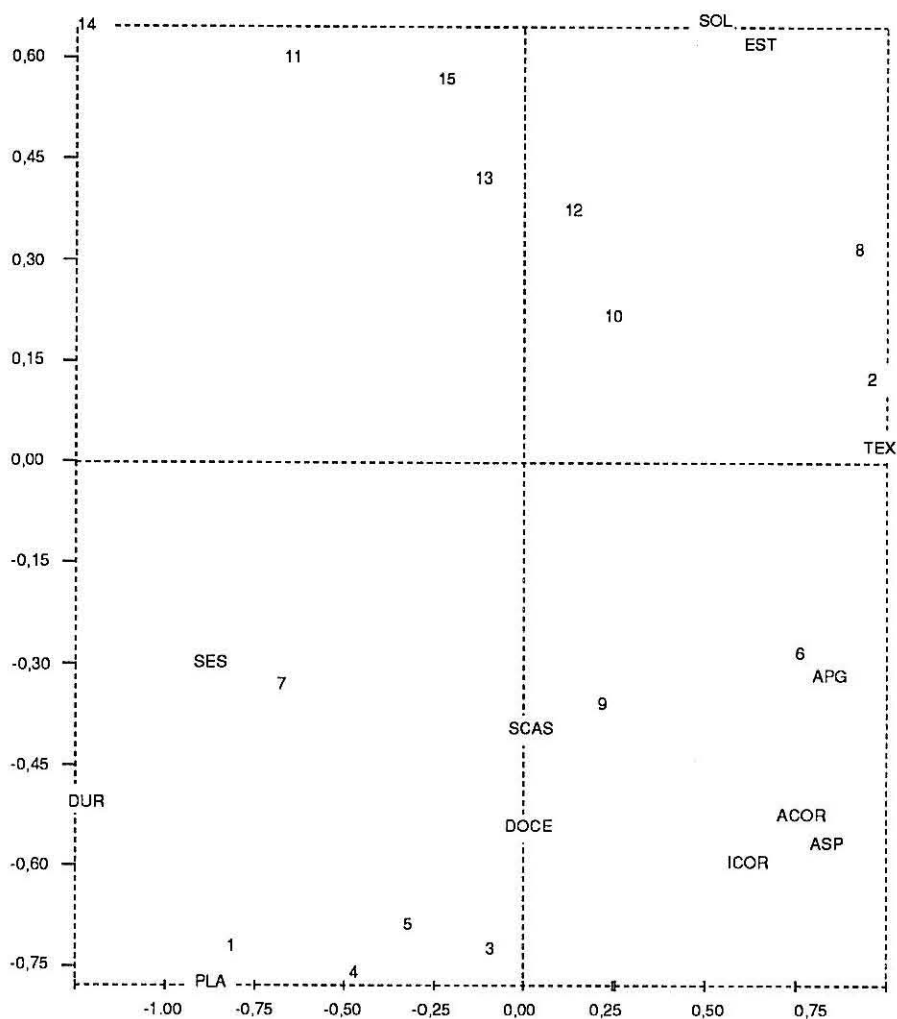


Figura 26 – Projeção dos diferentes atributos e das amostras no plano F1/ F2, constituído pelas duas 1ªs componentes principais. Ensaio A (% variável de castanha).

Este plano encerra 63,4% e 71,7% da informação contida nos dados iniciais, respectivamente para os ensaios A e B.

No ensaio A (% variável de castanha) os extrudidos mais apreciados pelos elementos do painel foram o 2(A14:164:36) e o 8(A12:185:60) (no 1º quadrante) e o 6(A16:185:60) e o 9(A16:185:100) (no 4º quadrante). A melhor aceitabilidade das amostras 2(A14:164:36) e 8(A12:185:60) deve-se essencialmente aos atributos relacionados com a apreciação da textura, enquanto que para as amostras 6(A16:185:60) e 9(A16:185:100) são os atributos mais relacionados com a cor e o aspecto que têm maior peso na sua aceitabilidade. Os extrudidos rejeitados sensorialmente foram o 14(A18:206:84),

11(A14:206:84), 7(A20:185:60) e o 1(A16:150:60) por apresentarem sabores estranhos e plasticidade elevada.

Relativamente aos ensaios B as amostras mais rejeitadas foram a 7(B18:175:170), 4(B16:160:185) (com elevada plasticidade) e a 14(B16:190:185) (que apresenta sabores estranhos). As amostras que tiveram maior aceitabilidade foram a 3(B16:160:155) a 12(B16:190:155) e a 13(B12:190:185) (4º quadrante) que possuem elevadas pontuações nos atributos relacionados com a apreciação da cor e da textura; e no 1º Quadrante a 6(B14:175:170) e a 15(B14:200:170) bem relacionadas com os atributos estaladiço, apreciação global e apreciação geral da textura. (ver também Quadros IV e V em anexo).

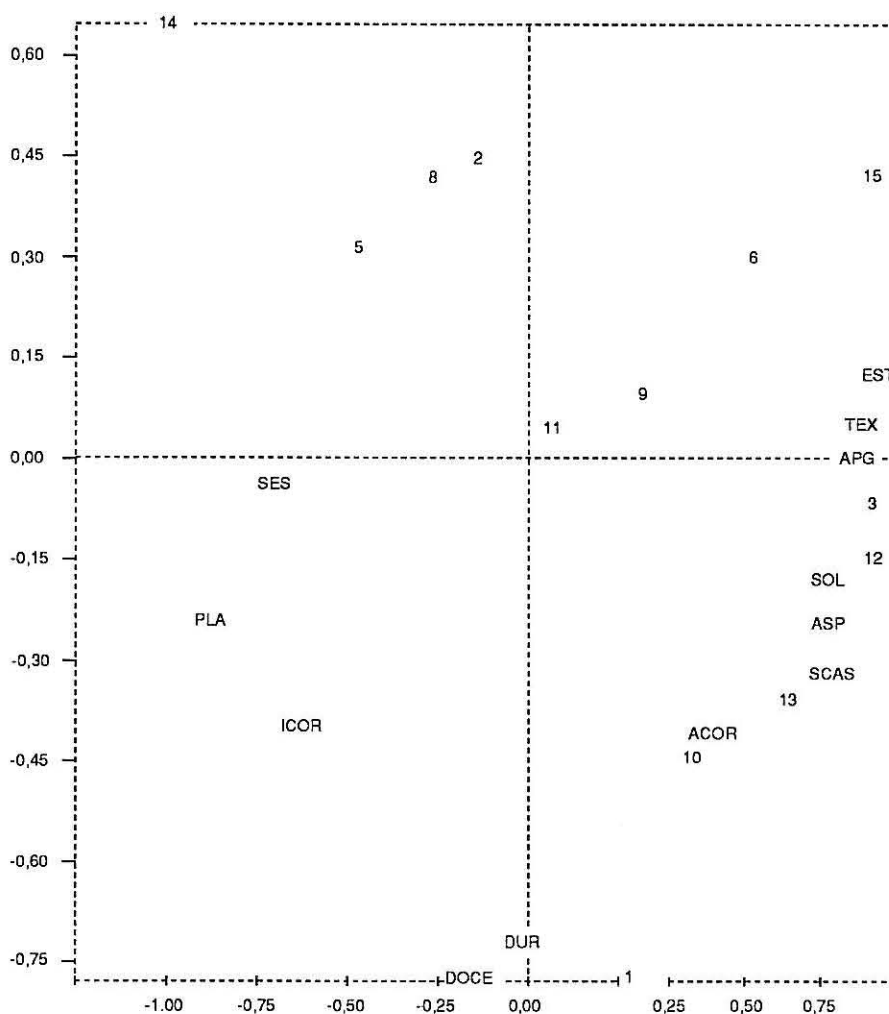


Figura 27 – Projecção dos atributos e das amostras nos planos F1/F2
Ensaio B (100% de castanha).

Como conclusão dos resultados da análise sensorial podemos afirmar que os atributos que se relacionam com a apreciação da textura são dos mais importantes na caracterização dos produtos extrudidos. Este facto é mais notório no ensaio A, pois, a presença de farinha de milho vai conferir melhores propriedades de expansão, o que é consequência do maior teor em amido, comparativamente com a farinha de castanha. Por

outro lado, as amostras do ensaio B (100% de castanha) tiveram melhor pontuação que as do ensaio A (% variável de castanha) na apreciação do sabor. Dentro do ensaio A as amostras que tiveram maior pontuação neste aspecto foram as que tinham uma maior percentagem de castanha incorporada. Ou seja, o sabor doce característico da castanha mantém-se nos produtos extrudidos, valorizando-os.

Em ambos os ensaios os produtos que tiveram maior aceitação foram, em geral, os processados com teores de humidade reduzidos e com temperaturas intermédias, ou quando a uma humidade mais elevada correspondeu uma temperatura também mais elevada.

Os extrudidos processados a baixas temperaturas e com reduzidos teores de humidade tiveram uma má aceitação por se apresentarem menos solúveis na boca e mais plásticos, logo menos estaladiços ou "crocantes".

7.4 - CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA E DO AMIDO DE CASTANHA APÓS EXTRUSÃO-COZEDURA

Grânulos de amido de uma mistura de castanha e milho após a extrusão

Seleccionámos o extrudido que apresenta proporções mais próximas de milho e castanha (ensaio A 16 : 185 : 60), e um extrudido 100% castanha (ensaio B 14 : 175 : 170) para podermos caracterizar os grânulos de amido de castanha extrudida e comparar com os grânulos de amido de milho extrudido.

Grânulos de amido do extrudido do ensaio B 14 : 175 : 170

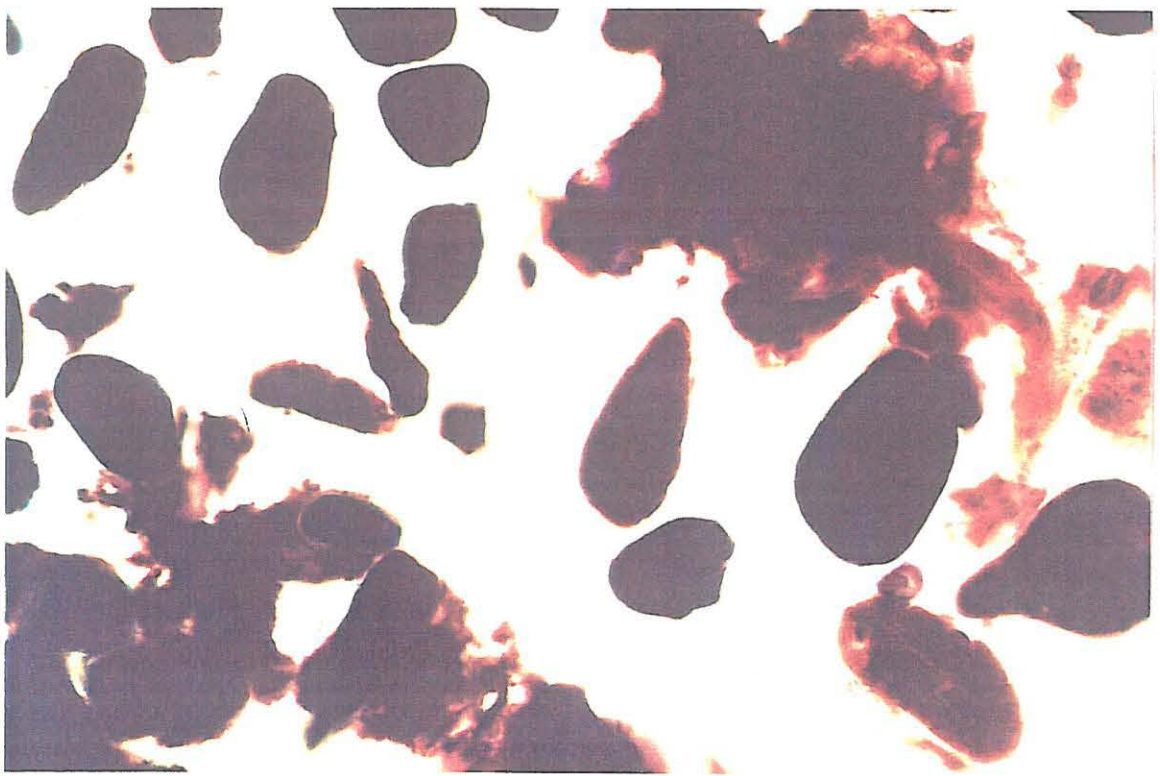
Forma: Comparativamente aos grânulos de amido da farinha de castanha, os grânulos destes extrudidos raramente aparecem sob a forma esférica, predominando a forma ovóide alongada, apresentando mesmo alguns uma forma lanceolada.

Tamanho: O comprimento médio dos grânulos de amido que se encontrou foi 75,72 μ e a largura média 43,49 μ .

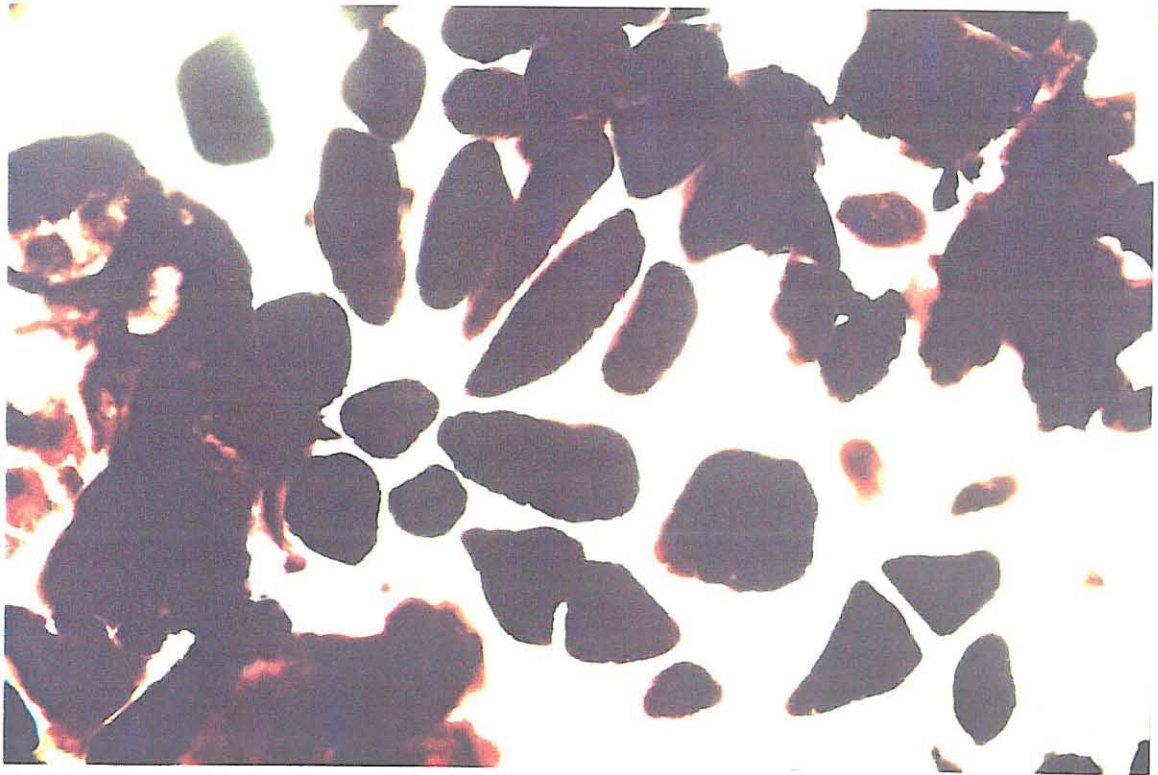
Em relação à matéria-prima, verifica-se uma dilatação, com um aumento do seu eixo maior (comprimento) a variar de 4,2 vezes até 54 vezes (Figuras 17B e 28 A).

Grânulos de amido do extrudido do ensaio A 16 : 185 : 60

Forma: Predominam duas formas diferentes de grânulos - uma já descrita para os grânulos do extrudido B 14 : 175 : 170, ou seja, ovóide alongada e lanceolada, que se julga ser o resultado da alteração dos grânulos de amido de castanha, e grânulos com uma forma irregular, por vezes poligonal (triângulos imperfeitos), e mais raramente esférica, que se pensa serem o resultado da alteração dos

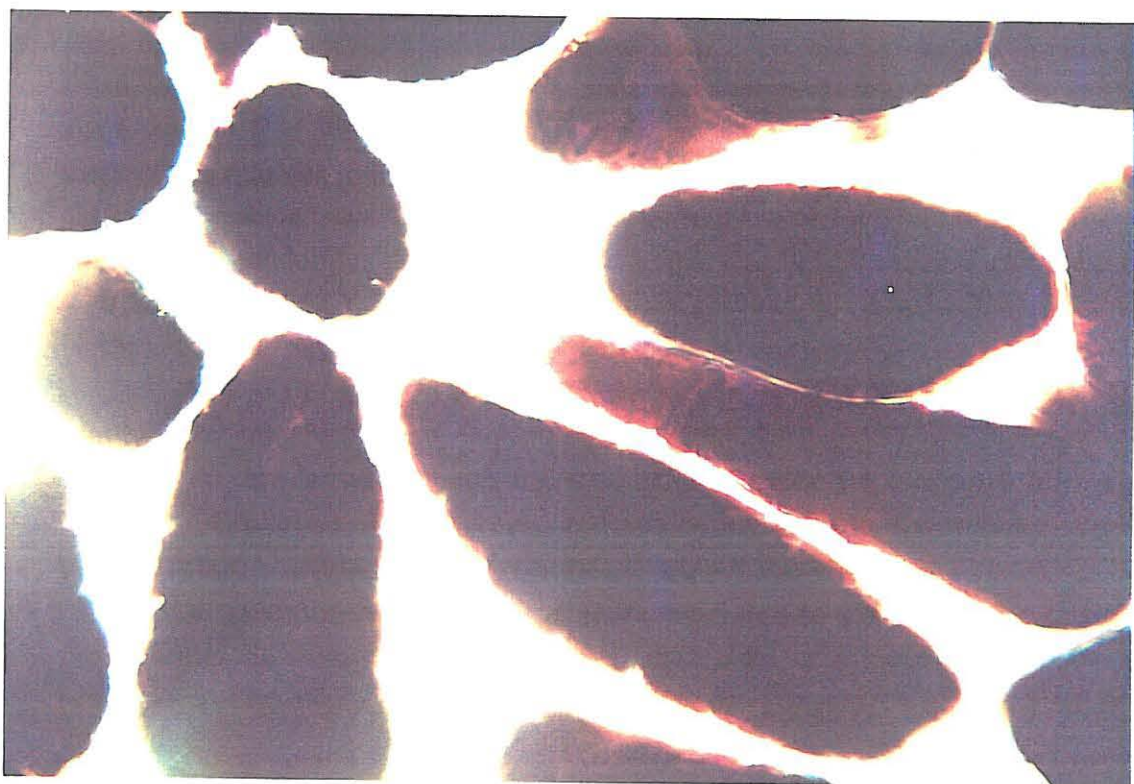


A – grânulos de amido de extrudidos do ensaio B_{14:175:170} (Ampliação – 364 ×).



B – grânulos de amido de extrudidos do ensaio A_{16:185:60} (Ampliação – 289 ×).

Figura 28 - Fotografias dos grânulos de amido de extrudidos.



C - grânulos de amido de extrudidos do ensaio A_{16:185:60} (Ampliação - 723 x).

grânulos de amido de milho que têm, como já referimos uma forma arredondada e poligonal.

Tamanho: O tamanho dos grânulos de amido de milho nos extrudidos foi por nós medido, tendo em média um comprimento de 41,83 μ e uma largura de 28,95 μ . Em relação aos grânulos de amido de milho antes da extrusão, houve um aumento no tamanho, segundo o eixo maior que variou de 2 vezes mais até 27 vezes (Figuras 17 A e 28 B e C).

Quer os grânulos de amido de milho, quer os de castanha, sofrem um significativo aumento das suas dimensões com a extrusão-cozedura devido à sua gelatinização, a qual é acelerada com o aumento da temperatura, como já foi explicado anteriormente. Este aumento de volume é muito mais acentuado nos grânulos de amido de castanha do que nos grânulos de milho. Uma provável explicação residirá no facto da castanha apresentar uma relação amilose/amilopectina superior à do milho e, visto que a amilopectina predomina nas zonas cristalinas (que têm ligações mais fortes e estáveis), logo mais difíceis de "atacar", é de esperar que os grânulos da castanha dilatem com mais facilidade do que os grânulos de amido de milho.

Quer nas Figuras 28 B e 28 C, quer na Figura 28 A, é notória a alteração de estrutura dos grânulos. Assim, enquanto que nos grânulos nativos é perfeitamente visível a deposição em camadas concêntricas e, nalguns casos até mesmo o hilo, após a extrusão, o interior dos grânulos apresenta um aspecto de massa "fundida", permanecendo a membrana na maioria dos casos quase inalterada.

Os grânulos rebentados que aparecem julga-se ser em maior quantidade provenientes do milho. É também visível uma clara orientação segundo um eixo, presumivelmente o eixo de escoamento no interior da extrusora, ou seja, paralelo ao eixo do parafuso.

ANÁLISE DOS AMILOGRAMAS DAS FARINHAS DE EXTRUSÃO

Os gráficos das Figuras 29 e 30 foram construídos a partir da sobreposição dos diferentes gráficos isolados obtidos no amilógrafo Brabender, podendo-se assim ter uma primeira visão comparativa do comportamento das diversas farinhas no amilógrafo.

A partir dos amilogramas dos produtos extrudidos retiraram-se os valores da consistência (resposta) correspondentes aos seguintes pontos:

- consistência inicial (20°C)
- consistência a 92°C
- consistência no "set-back"

Com estes valores elaboraram-se quadros de resultados para ambos os planos, A e B, que a seguir se apresentam:

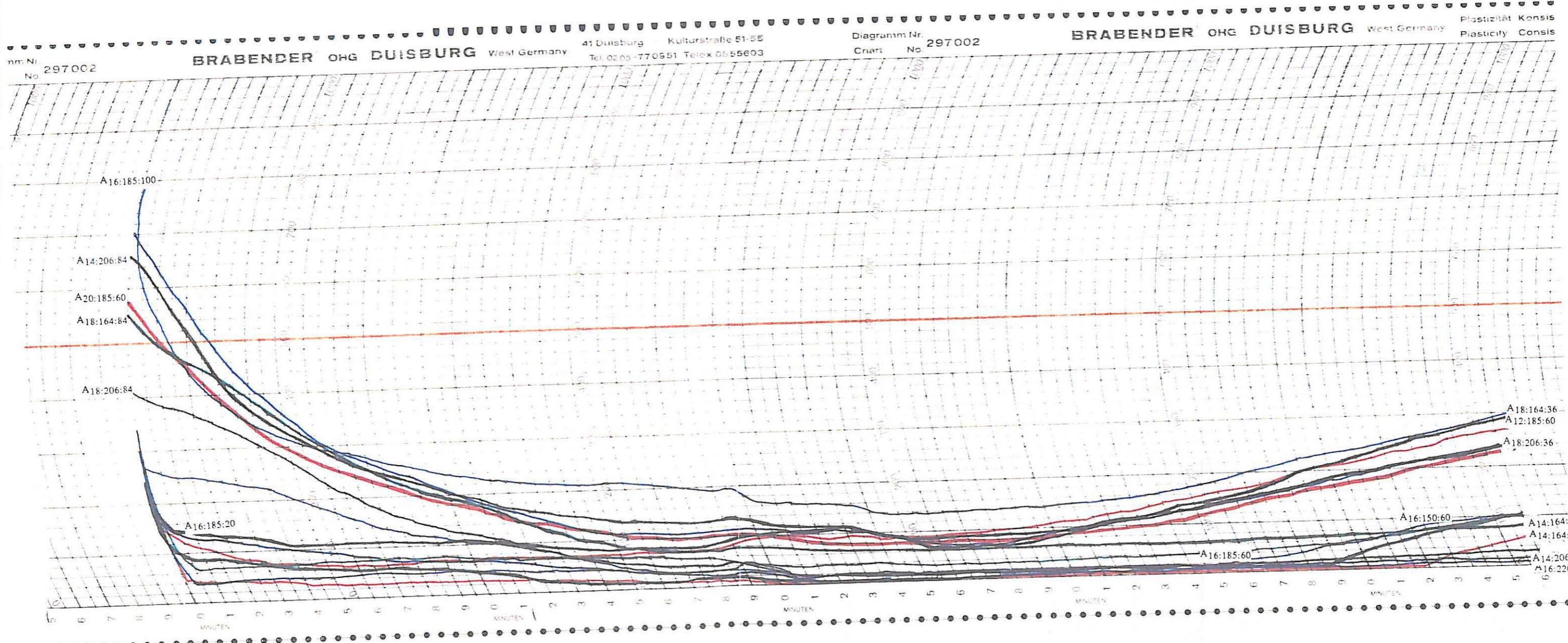


Figura 29 – Sobreposição das amilogramas das farinhas dos extrudados de milho e castanha (ensaios A).

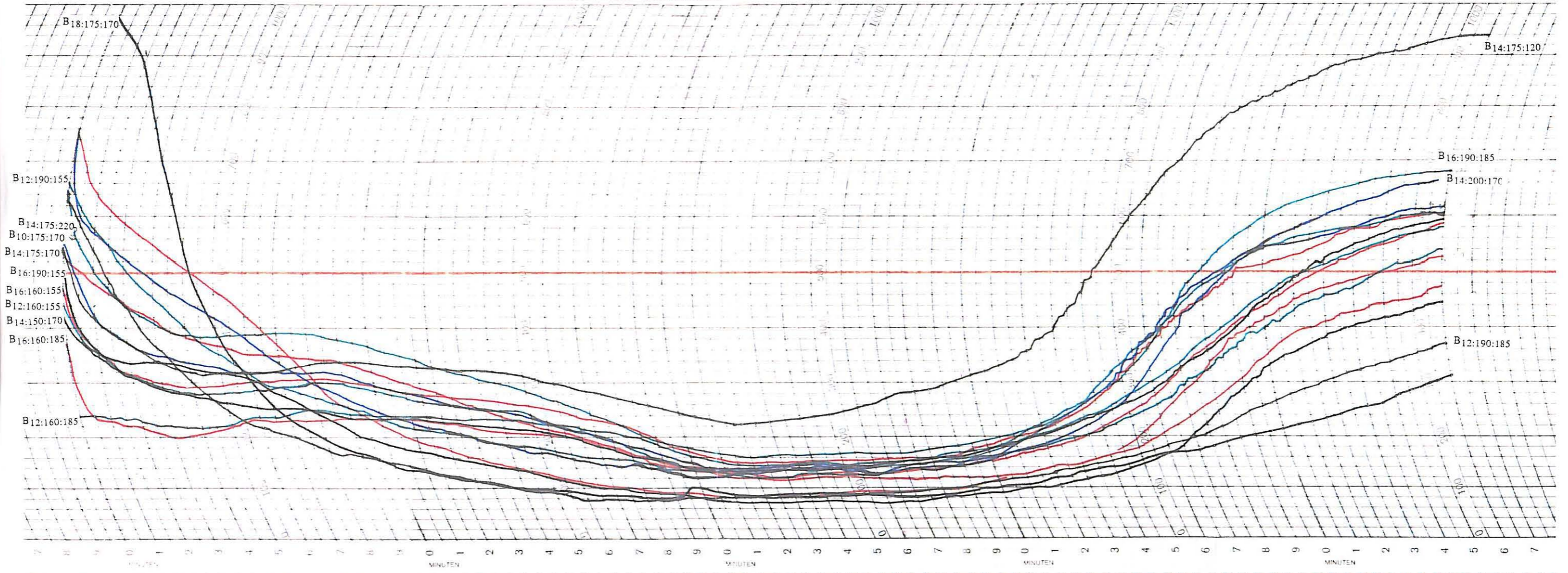


Figura 30 – Sobreposição dos amilogramas dos extrudidos de castanha (ensaios B).

Quadro XXV –Valores de consistência obtidos a partir da leitura dos amilogramas para os ensaios do plano A.

	20°C	92°C	“set-back”
A16:150:60	140	90	265
A14:164:36	560	65	80
A18:164:84	340	40	100
A14:164:84	50	0	60
A18:164:36	810	160	290
A16:185:60	300	15	120
A20:185:60	580	75	220
A12:185:60	180	85	295
A16:185:100	155	5	90
A16:185:20	660	100	235
A14:206:84	220	5	80
A18:206:36	710	115	240
A14:206:36	700	110	240
A18:206:84	400	10	30
A16:220:60	270	20	20

Quadro XXVI –Valores de consistência obtidos a partir da leitura dos amilogramas para os ensaios do plano B.

	20°C	92°C	“set-back”
B14:150:170	415	135	585
B12:160:155	330	120	470
B16:160:155	440	145	615
B16:160:185	445	130	540
B12:160:185	240	145	620
B14:175:170	560	145	620
B18:175:170	950	120	390
B10:175:170	525	125	585
B14:175:120	550	238	940
B14:175:220	655	160	680
B12:190:155	655	140	580
B16:190:155	530	80	440
B12:190:185	660	85	360
B16:190:185	775	90	520
B14:200:170	760	120	665

A observação atenta da Figura 30 permite a visualização de um pico a 60-70°C, que pensamos corresponder à existência de grânulos ainda intactos. A presença destes é notória nos extrudidos a temperaturas de 150, 160 e 175°C, sendo os picos mais pronunciados para as temperaturas de 150°C do que para 175°C. Por isso, e pelo facto de não se registarem os mesmos picos a 190 e 200°C, concluímos que à medida que a temperatura de extrusão aumenta, menos grânulos de amido permanecem intactos. Caso contrário, eles teriam gelatinizado aumentando a consistência da pasta. MASON e

HOSENEY (1986) também sugerem que os mesmos picos sejam devidos a estruturas formadas durante a extrusão. Da nossa parte, verificamos a existência destes picos nos amilogramas correspondentes aos extrudidos de castanha. A explicação para isto talvez esteja no facto dos grânulos de amido de castanha apresentarem dimensões mais diversificadas que os grânulos de amido de milho (ver Figuras 17 e 28).

É também notória na Figura 30 a existência de uma consistência inicial relativamente elevada ($B_{18:175:170}$) quando comparada com a das restantes curvas, que julgamos dever-se ao elevado teor de humidade da matéria-prima para extrusão (18% humidade). Estudos feitos com amido de milho por GONZÁLEZ *et al.* (1986) também permitiram chegar à mesma conclusão.

De uma forma geral, a consistência inicial dos extrudidos diminui com teores de humidade mais reduzidos. Contudo, este ponto do amilograma não pode ser considerado como uma resposta directa do grau de gelatinização, já que produtos de igual consistência apresentam curvas amilográficas bastante distintas. Isto é mais evidente na Figura 29 (extrudidos de milho e castanha).

Deve destacar-se, no entanto, que para uma correcta avaliação das amostras tratadas por extrusão-cozedura, é necessário dispor-se de todos os pontos do amilograma, já que a forma deste traz mais informação do que qualquer ponto isolado. Assim, e para uma completa interpretação das respostas não é suficiente uma visualização dos pontos mais significativos das curvas, principalmente porque se torna difícil o estudo da interacção entre factores, e impossível estabelecer graus de ajustamento. Para que isso fosse possível, utilizaram-se os valores dos Quadros XXV e XXVI e, uma vez definidos os parâmetros do sistema, procedeu-se à determinação da equação matemática que melhor descreve a relação entre os factores e resposta, determinando-se os coeficientes. O modelo resultante foi testado quanto ao seu grau de ajustamento, sendo a análise da superfície de resposta dada em termos da superfície mais ajustada. Em função do valor de R^2 (coeficiente de correlação) fez-se uma selecção dos resultados de RSM, tendo-se considerado.

– no ensaio experimental A

resultados a 20°C $R^2 = 0,90$

resultados a 92°C $R^2 = 0,89$

resultados no “set-back” $R^2 = 0,71$

– no ensaio experimental B

resultados a 20°C $R^2 = 0,79$

Apresentação e Discussão dos Valores Estatísticos

Ensaio Experimental A

- Consistência inicial (20°C) – Os valores dos coeficientes e respectivo valor de t (t – Student) apresentam-se no Quadro XXVII.

Quadro XXVII - Valores dos coeficientes e respectivo valor t (t.-Student)
(Ensaio A).

a = 102,7136	→	valor de t = 4,119277
b = 35,78008	→	valor de t = 1,434942
c = - 191,7995	→	valor de t = - 7,692025
d = 58,9084	→	valor de t = 2,426716
e = - 2,9706	→	valor de t = - 0,1223727
f = 68,6322	→	valor de t = 2,827287
g = - 43,75	→	valor de t = - 1,342922
h = 26,25	→	valor de t = 0,8057533
i = 23,75	→	valor de t = 0,7290149
constante = 292,9423		

Os valores de t que têm significado são os que correspondem aos coeficientes a, c, d e f, o que permite afirmar a consistência amilográfica inicial (20°C) dos extrudidos A depende linear e quadraticamente da percentagem inicial de humidade, e de uma forma quadrática e linearmente inversa da percentagem de incorporação de castanha.

A equação matemática, sob a forma de um polinómio de 2ª ordem, vem então:

$$Y = 292,94 + 102,71 X_1 - 191,80 X_3 + 58,91 X_1^2 + 68,63 X_3^2 \quad (10)$$

sendo traduzida no diagrama da Figura 31.

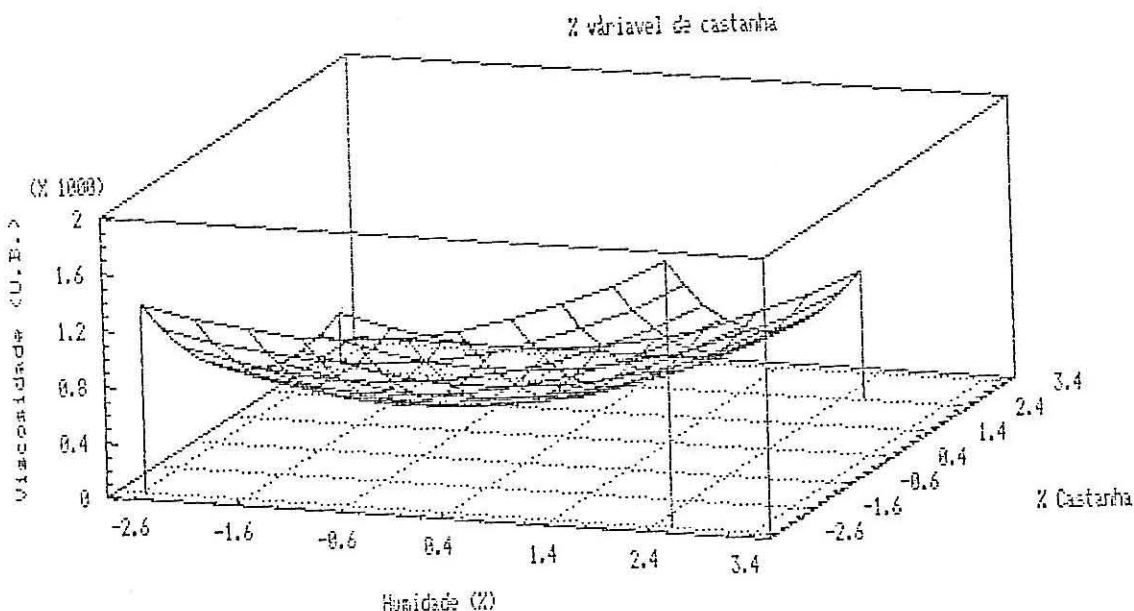


Figura 31 – Diagrama para a consistência a 20°C em função da % humidade (X₁) e da % incorporação de castanha (X₃).

Pela observação do diagrama podemos afirmar que a consistência a 20°C toma os maiores valores para humidades mais elevadas e para os menores valores de

incorporação de castanha. Os valores mais baixos de consistência registam-se para humidades intermédias e também valores intermédios de castanha incorporada. Este último dado justifica-se porque a castanha possui uma percentagem de amido muito inferior ao milho e, por outro lado, tem uma razão amilose-amilopectina superior ao milho.

É sabido também que o teor de humidade tem uma significativa influência no processo de gelatinização dos produtos extrudidos. Isso deve-se aos grânulos de amido exibirem uma maior dilatação e, conseqüentemente, maior desintegração (STANLEY, 1986).

Consistência a 92°C – Os valores dos coeficientes e respectivo valor de t (t – Student) apresentam-se no Quadro XXVIII.

Quadro XXVIII – Consistência a 92°C – Valores dos coeficientes e respectivo valor t (t - Student) (Ensaio A).

a = 9,386413	→	valor de t = 1,648927
b = - 10,45083	→	valor de t = - 1,835916
c = - 40,62333	→	valor de t = - 7,136369
d = 23,35808	→	valor de t = 4,214901
e = 14,51822	→	valor de t = 2,619773
f = 13,63423	→	valor de t = 2,46026
g = - 15,625	→	valor de t = - 2,100881
h = - 6,875	→	valor de t = -0,9243875
i = - 3,125	→	valor de t = - 0,4201761
constante = 12,57809		

Os valores que têm significado são os que correspondem aos coeficientes **c**, **d**, **e**, **f** e **g**. A consistência a 92°C varia assim quadraticamente com a temperatura, humidade e percentagem de castanha, dependendo de uma forma inversamente linear com a % castanha. Existe também uma interacção entre a % humidade e a temperatura.

As equações matemáticas resultantes são:

para $X_1 = 0$

$$Y = 12,58 - 40,62 X_3 + 14,52 X_2^2 + 13,63 X_3^2 \quad (11)$$

para $X_2 = 0$

$$Y = 12,58 - 40,62 X_3 + 23,36 X_1^2 + 13,63 X_3^2 \quad (12)$$

para $X_3 = 0$

$$Y = 12,58 + 23,36 X_1^2 + 14,52 X_2^2 - 15,62 X_1 X_2 \quad (13)$$

A equação (11) é traduzida no diagrama da Figura 32.

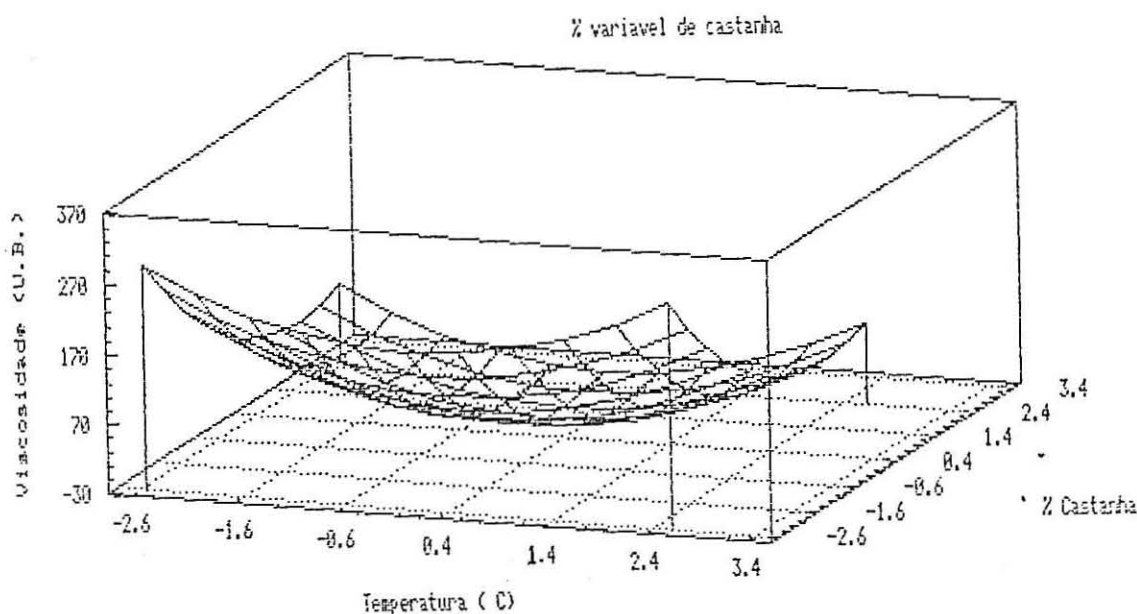


Figura 32 – Diagrama para a consistência a 92°C em função da temperatura (X_2) e da % incorporação de castanha (X_3).

Debruçando-nos sobre este diagrama podemos observar que para um mesmo teor de humidade inicial, a consistência amilográfica a 92°C toma os maiores valores para temperaturas de extrusão extremas e % incorporação de castanha mínimas, o que se compreende porque a castanha possui um teor de amido bastante inferior ao do milho. Os produtos extrudidos a elevadas temperaturas têm uma consistência a 92°C mais elevada pois o seu ponto de partida (a 20°C) é já mais elevado, porque as temperaturas elevadas provocam um maior grau de gelatinização do amido, e portanto, o perfil global da resposta é mais elevado. As temperaturas mais baixas levaram a uma menor gelatinização do amido na extrusora, de forma que a gelatinização continuou depois no amilógrafo, daí a consistência elevada para estes valores de temperatura.

Os valores mais baixos registam-se para temperaturas intermédias.

O diagrama da Figura 33 é traduzido pela equação (12).

Pela observação deste diagrama é lícito afirmar que, para uma mesma temperatura, os maiores valores de consistência amilográfica a 92°C se registam para os menores teores de castanha e para teores de humidade extremos. Facilmente se verifica que teores mais baixos de castanha correspondem a maiores teores de milho, logo, maior concentração de amido, daí a elevada consistência. Este facto levar-nos-ia a admitir que a consistência tomaria valores baixos para elevada incorporação de castanha. No entanto, tal não se verifica, o que pensamos justificar-se por uma certa compensação devida à dilatação dos grânulos de amido de castanha ser muito maior do que a dos grânulos de amido de milho (Figura 28 B). É sabido que quanto mais os grânulos dilatam, mais eles chocam uns com os outros, aumentando a consistência da pasta de amido (BANKS, GREENWOOD e MUIR, 1973).

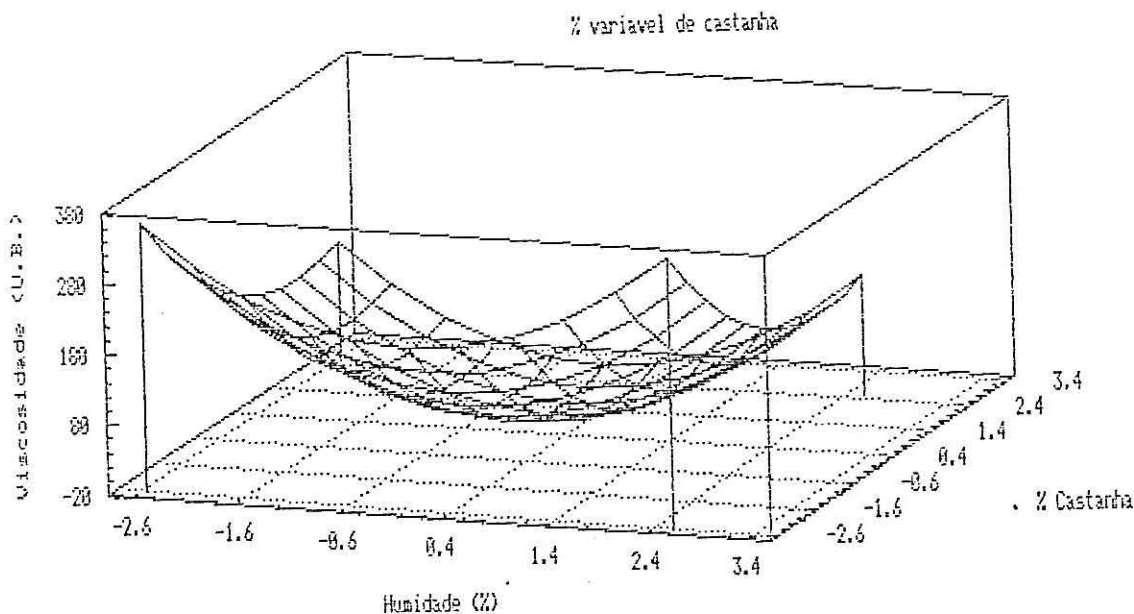


Figura 33 – Diagrama para a consistência a 92°C em função da % humidade (X_1) e da % castanha (X_3).

Os valores mais baixos situam-se em valores de humidade e de castanha intermédios.

A equação (13) é traduzida no diagrama da Figura 34.

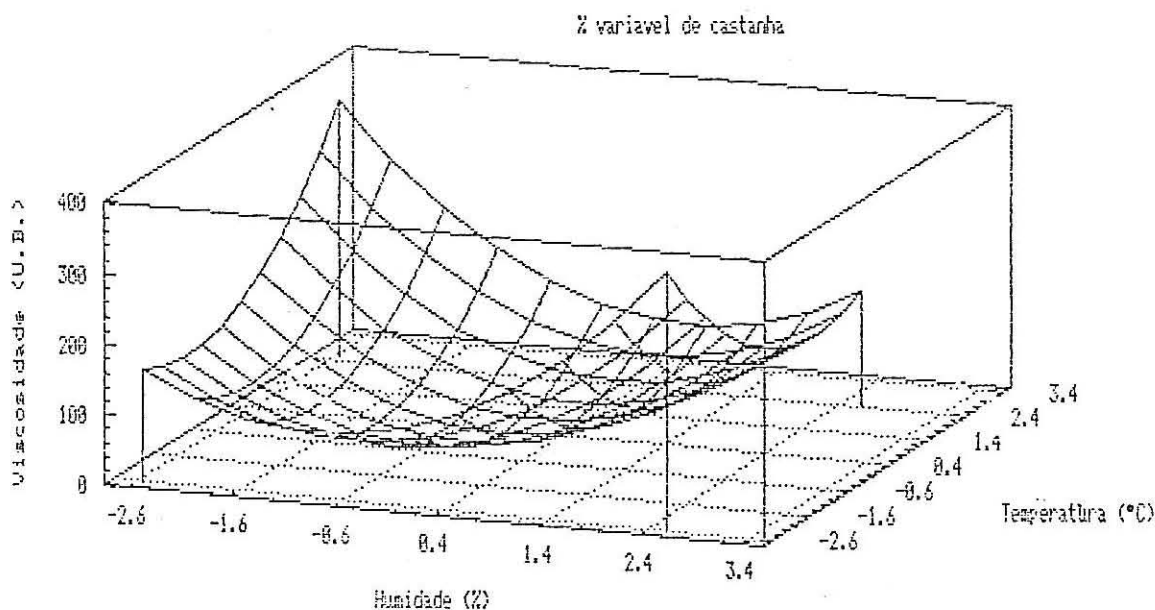
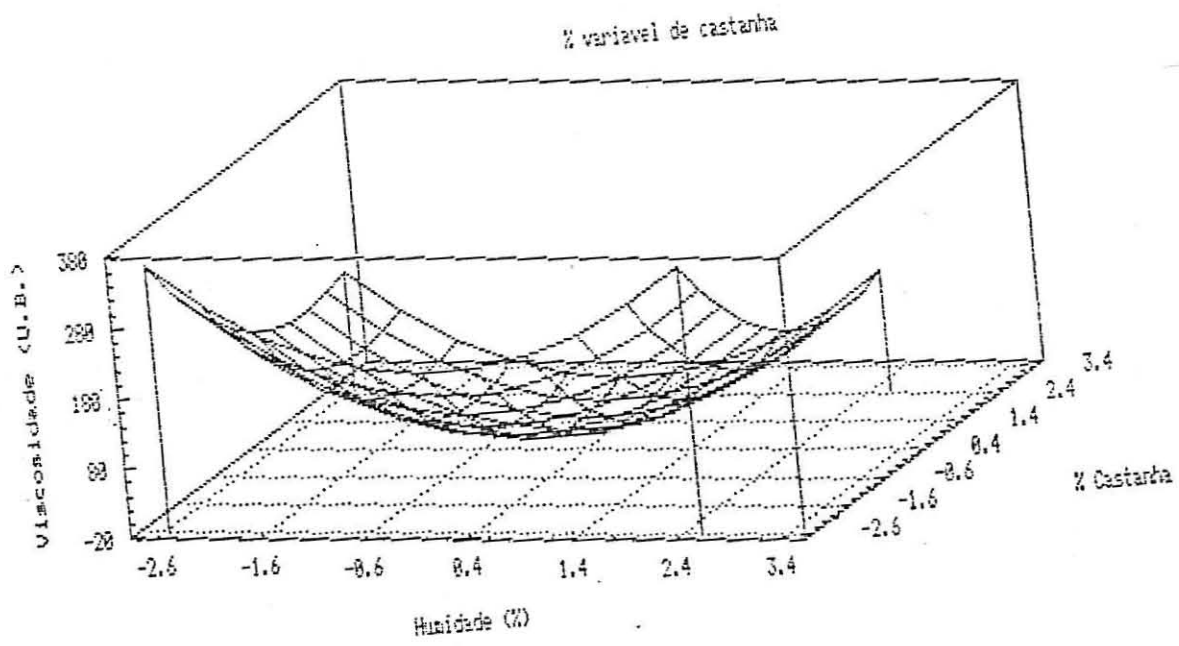


Figura 34 – Diagrama para a consistência a 92°C em função da % humidade e da temperatura (X_1 e X_2).

Para uma mesma incorporação de castanha, os valores mais elevados de consistência registam-se para temperaturas de extrusão elevadas e simultaneamente humidades baixas.



Esta tendência é já notória nos diagramas de humidade e temperatura considerados individualmente, sendo aqui reforçada pela interação entre estes dois factores, também registada na equação (13).

A consistência toma também valores consideráveis quando a matéria-prima tem humidade elevada e para temperaturas de extrusão baixas, o que vem de encontro a justificações já dadas anteriormente.

Pela sobreposição das Figuras 32 e 33, constata-se a maior importância da % humidade em relação à temperatura, na consistência a 92°C, o que é também confirmado pelos valores dos coeficientes respectivos nas equações (11) e (12).

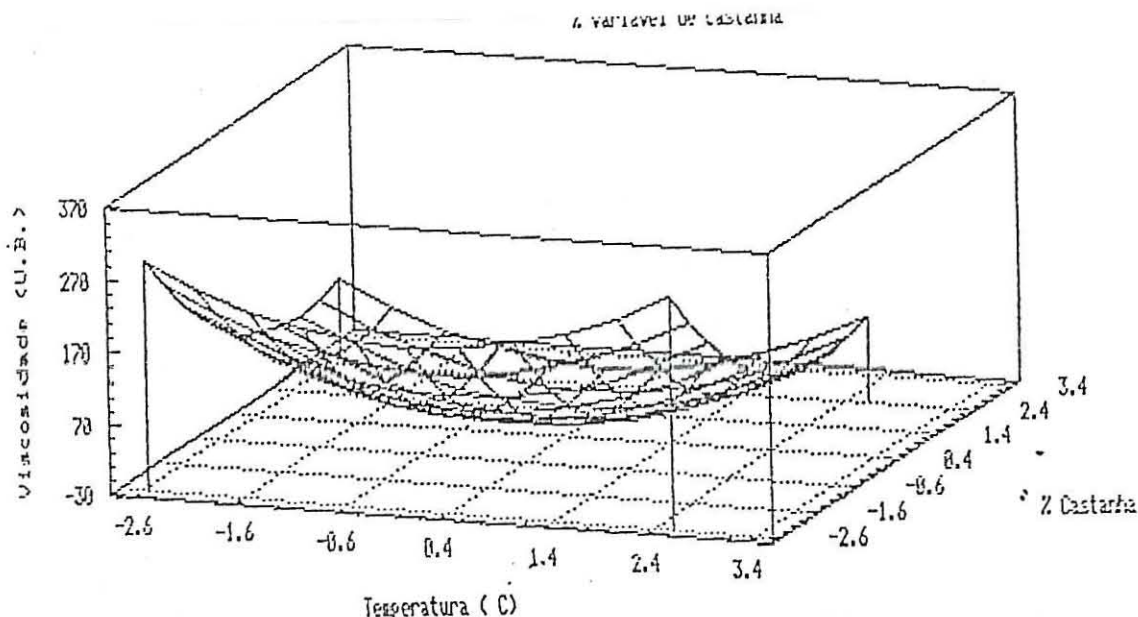


Figura 35 – Sobreposição das Figuras 32 e 33.

Consistência no “set-back” – Os valores dos coeficientes e respectivo valor de t (t – Student) apresentam-se no Quadro XXIX.

Quadro XXIX – Consistência no “set-back” – Valores dos coeficientes e respectivo valor de t (t – Student) (Ensaio A).

$a = 5,409436$	→	valor de $t = 0,3076618$
$b = -25,77699$	→	valor de $t = -1,466067$
$c = -60,32753$	→	valor de $t = -3,43113$
$d = 39\,43155$	→	valor de $t = 2,303637$
$e = -1,231791$	→	valor de $t = -7,1962E-02$
$f = 5,840096$	→	valor de $t = 0,3411852$
$g = -37,5$	→	valor de $t = -1,632423$
$h = -27,5$	→	valor de $t = -1,19711$
$i = -20$	→	valor de $t = -0,8706253$
constante = 116,6792		

Os valores que têm significado são os que correspondem aos coeficientes c, e d. Assim a consistência a 92°C varia assim quadraticamente com o teor de humidade e de uma forma inversamente linear com a % de incorporação de castanha.

A equação matemática resultante vem então:

$$Y = 116,68 - 60,33 X_3 + 39,43 X_1^2 \quad (14)$$

sendo traduzida no diagrama da Figura 36.

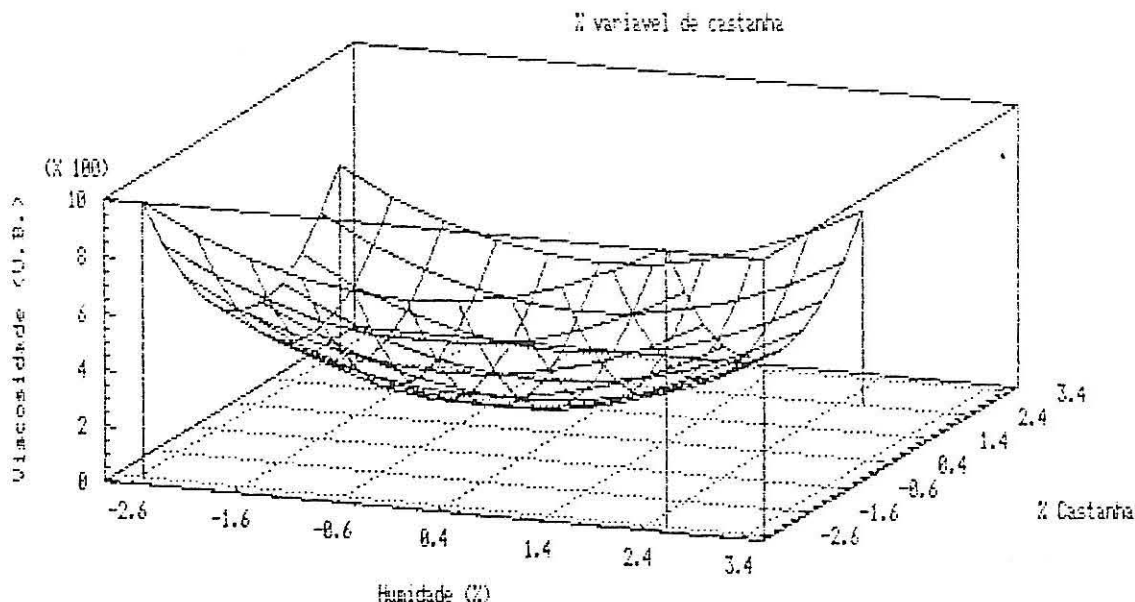


Figura 36 – Diagrama para a consistência no “set-back” em função da % humidade (X_1) e da % castanha (X_3).

No “set-back”, a temperatura constante, a consistência amilográfica das farinhas dos ensaios A, toma os valores mais altos para humidades extremas em simultâneo com % de incorporação de castanha também extremas. Os amidos com elevado teor de amilose conduzem a baixa viscosidade durante a cozedura e a um gel firme no arrefecimento (MEDCALF, 1973). É na capacidade das moléculas lineares de amilose de serem hidratadas, de se dispersarem durante a cozedura e ainda de se reassociarem facilmente no arrefecimento (retrogradação), que resulta a consistência no “set-back”, tomando aqui valores na ordem de 1000 U.B. Em soluções concentradas a retrogradação conduz à formação de um gel “emborrachado”, seguido da exudação da água do gel à medida que aumenta o número de ligações de hidrogénio (sineresis).

A consistência toma os valores mais baixos quando temos em simultâneo humidade e percentagem de castanha intermédias.

Ensaio Experimental B

- Consistência a 20°C – Os valores dos coeficientes e respectivo valor de t (t – Student) apresentam-se no Quadro XXX.

Quadro XXX – Consistência a 20°C – Valor dos coeficientes e respectivo vat (t-Student) (Ensaio B).

a = 74,67086	→	valor de t = 2,812039
b = 127,7942	→	valor de t = 4,812615
c = 25,01266	→	valor de t = 0,9419545
d = 35,31052	→	valor de t = 1,365912
e = - 17,72861	→	valor de t = - 0,6857933
f = - 12,4247	→	valor de t = - 0,4806232
g = - 40,625	→	valor de t = -1,170963
h = 41,875	→	valor de t = 1,206993
i = 41,875	→	valor de t = 1,206993
constante = 559,4786		

Os valores de t que têm significado são os que correspondem aos coeficientes a e b, permitindo afirmar a consistência amilográfica inicial (20°C) dos extrudidos B depende linearmente da percentagem de humidade e da temperatura de extrusão.

A equação matemática vem então:

$$Y = 559,48 + 74,67 X_1 + 127,79 X_2 \quad (15)$$

sendo traduzida no diagrama da Figura 37.

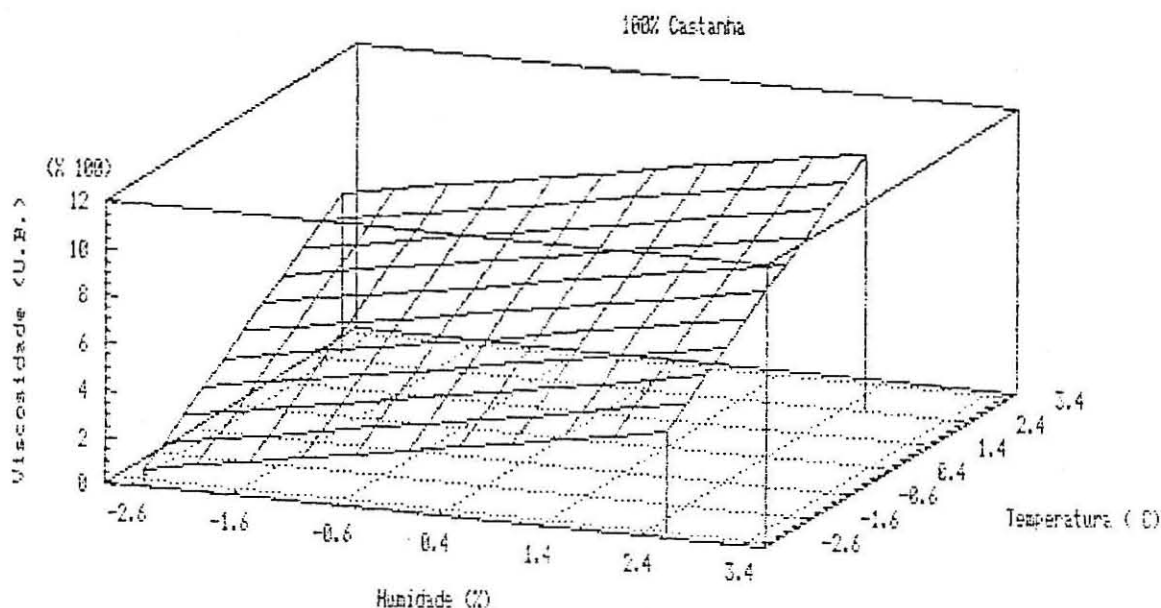


Figura 37 – Diagrama para a consistência a 20°C em função da % humidade (X₁) e da temperatura (X₂).

Pela observação deste diagrama é lícito afirmar que a consistência (a 20°C) dos extrudidos B toma os valores mais altos para temperaturas de extrusão e humidade elevadas. Verifica-se também que esta consistência tem uma maior dependência da temperatura que da humidade, o que é confirmado pelos coeficientes respectivos na equação (15).

À medida que o teor de humidade aumenta, a consistência a 20°C também aumenta, tal como acontece nos extrudidos do ensaio A, mas neste caso de uma forma mais acentuada. No entanto aqui, nos extrudidos de castanha, esse efeito parece ser mais evidente porque os grânulos de amido de castanha exibem maior dilatação, e portanto, estão mais susceptíveis à desintegração que os grânulos do milho, como se pode comprovar pela observação das fotografias da Figura 28 A. Por outro lado, tendo a castanha uma relação amilose/amilopetina superior à do milho, era de esperar que este fenómeno fosse mais acentuado já que, como foi referido anteriormente, a amilose é a principal responsável pelo aumento da consistência das pastas de amido.

Consistência a 92°C e no “set-back” – Os resultados de RSM correspondentes à consistência nestes dois pontos apresentam R^2 de 0,59 e 0,52, respectivamente. Estes valores de correlação, por serem baixos, não justificam uma avaliação tão profunda como os anteriores. Não se fez por isso, uma selecção dos coeficientes mais significativos para se estabelecerem as equações matemáticas que nos permitiriam uma interpretação dos resultados mais objectiva, pelo que, nestes casos, resolvemos fazer uma abordagem a partir apenas da interpretação directa dos diagramas, para avaliar as variações tendenciais.

Na consistência a 92°C o efeito da temperatura de extrusão parece ser pouco significativo quando se considera a humidade como um parâmetro fixo. Já a velocidade do parafuso parece ter algum efeito quando os seus valores são extremos. Isto parece ser lógico pois se por um lado, a baixas velocidades de parafuso aumenta o tempo de permanência do material a extrudir no interior da extrusora (com a conseqüente maior degradação do material), por outro lado, velocidades de parafuso elevadas conduzem a maiores tensões distorcionais e maior fricção (Figuras 38 e 39).

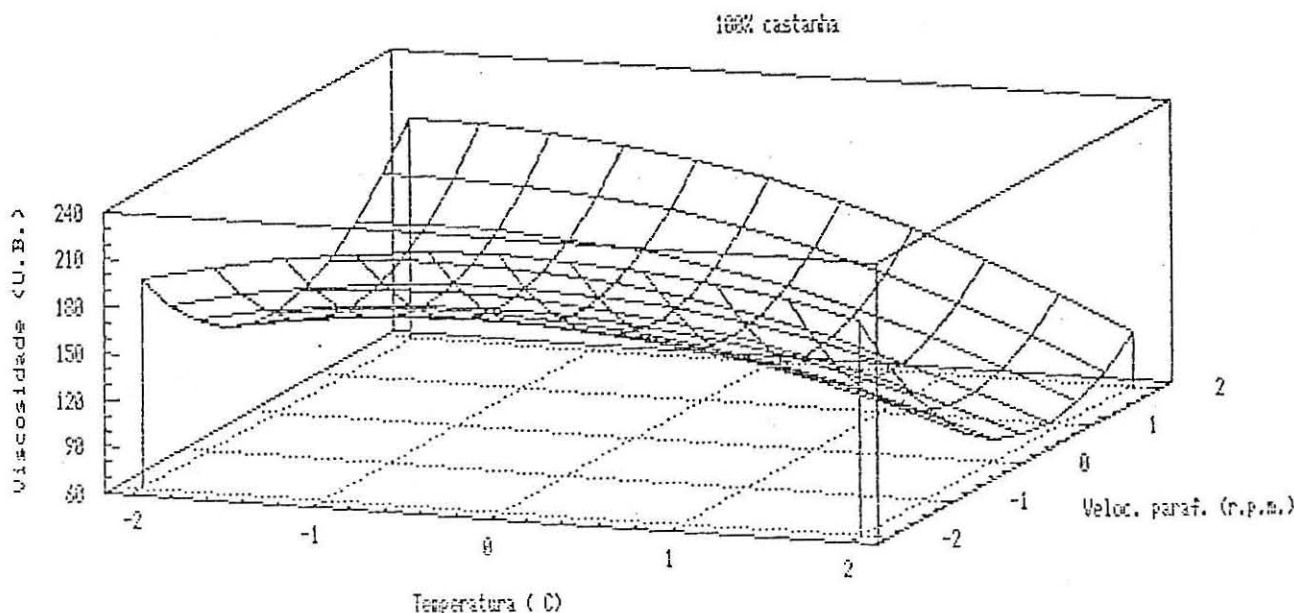


Figura 38 – Diagrama para a consistência a 92°C em função da temperatura (°C) e da velocidade da parafuso (r.p.m.)

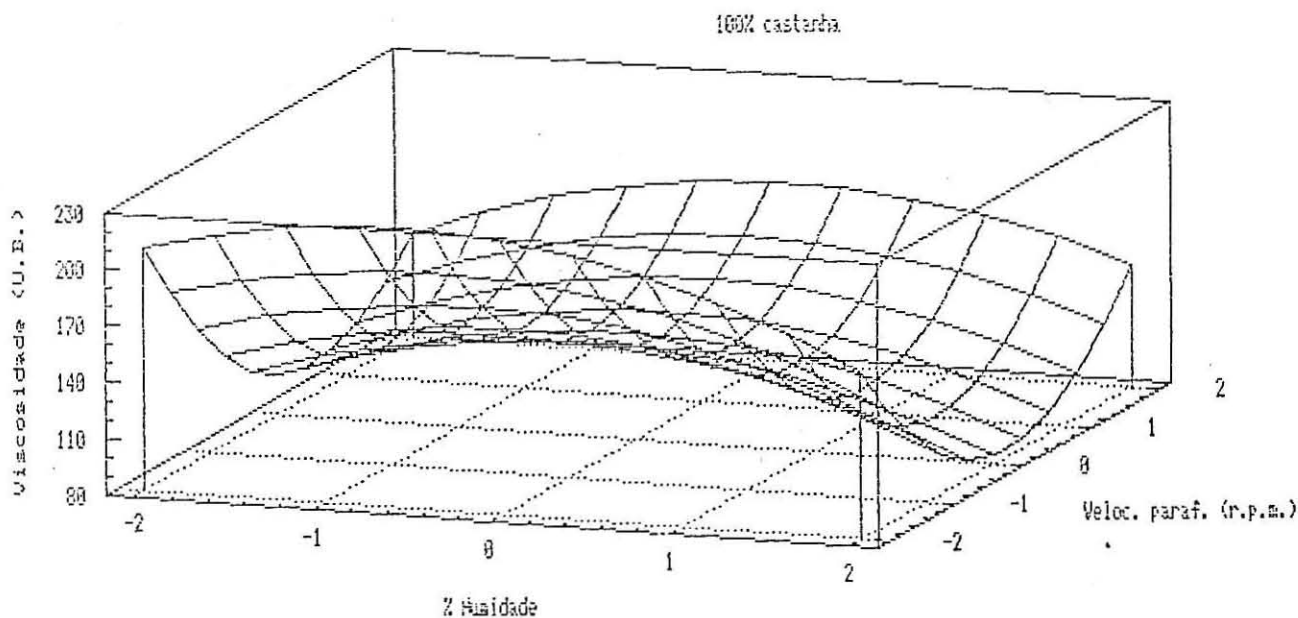


Figura 39 – Diagrama para a consistência a 92°C em função da humidade (%) e da velocidade da parafuso (r.p.m.).

Efeitos dos Parâmetros de Extrusão no Tamanho Molecular

Amostras de farinha de castanha, de “grits” de milho e dos extrudidos (dos ensaios experimentais A e B) foram sujeitas a cromatografia de filtração sobre gel a fim de se avaliar a distribuição dos pesos moleculares antes e após a extrusão.

O perfil do amido nativo de milho apresentou dois picos perfeitamente distintos (Figura 40). O pico I corresponde ao material de elevada massa molecular, julgando-se incluir a amilopectina pura de milho. O pico II inclui todo o material de menor massa molecular, devendo neste caso ser essencialmente amilose. Estas afirmações têm como base trabalhos já realizados anteriormente (BILIADERIS *et al.*, 1979, 1981; CHINNASWAMY e HANNA, 1990; WEN *et al.*, 1990). Por outro lado, quando calculámos

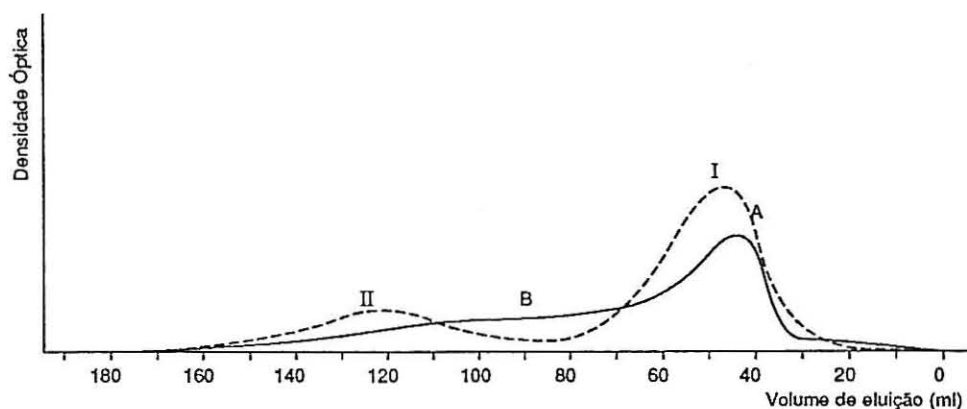


Figura 40 – Cromatografia em Sepharose CL-2B. A – milho; B – milho extrudido.

a relação entre as áreas dos dois picos obtivemos um valor médio para a amilose e a amilopectina de 24% e 76%, respectivamente. Estes valores, estão de acordo com os referidos na bibliografia para teores de amilose e amilopectina.

No caso do amido de castanha, o perfil cromatográfico obtido (Figura 41 A), revelou igualmente dois picos perfeitamente distintos. Após o cálculo das suas áreas, obtiveram-se valores médios relativos de 43% para a amilose e 57% para a amilopectina.

Realizámos também cromatogramas com misturas de farinhas de castanha e de milho idênticas às misturas das farinhas que foram utilizadas no ensaio experimental A, tendo em vista a sua comparação com os gráficos dos extrudidos correspondentes. O mesmo procedimento foi feito para a castanha e para o milho.

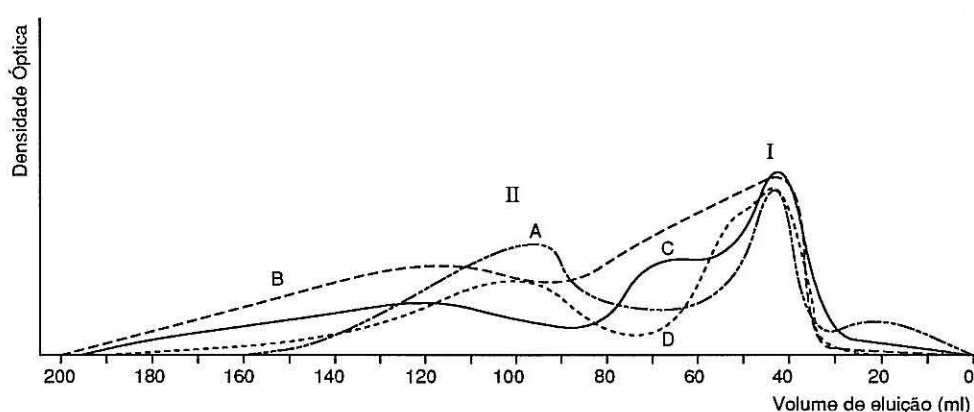


Figura 41 - Cromatogramas em Sepharose CL- 2B. A - Castanha nativa; B - Mistura 36% castanha nativa+ 64% milho nativo; Extrudidos: C - A 14 : 164 : 36; D - A 14 : 164 : 84.

Pela comparação dos cromatogramas dos extrudidos e das matérias primas correspondentes verifica-se que quaisquer que sejam as condições de extrusão, houve uma redução do pico I. Estas reduções no tamanho do 1º pico foram acompanhadas por um aumento da área global do pico II sem que, no entanto, tenha aumentado em altura, ou seja, houve um “alongamento” do 2º pico, o que significará uma maior grama de massas moleculares. Este facto é muito evidente quando se compara o milho e respectivo extrudido (Figuras 40 A e B). É ainda notório quando se comparam os gráficos das matérias-primas efectuadas com mistura de castanha e milho e respectivos extrudidos (Figuras 41 B e C). Mas neste caso, à medida que aumenta a percentagem de castanha na mistura, a diminuição do 1º pico e o alongamento do 2º pico não são tão evidentes, o que se poderá explicar pela razão amilose/amilopectina. Já quando se comparam os cromatogramas da farinha de castanha com os dos extrudidos de castanha, o alongamento do 2º pico e a diminuição da área do 1º pico são ainda menos significativos que os anteriores, como se pode observar na Figura 42.

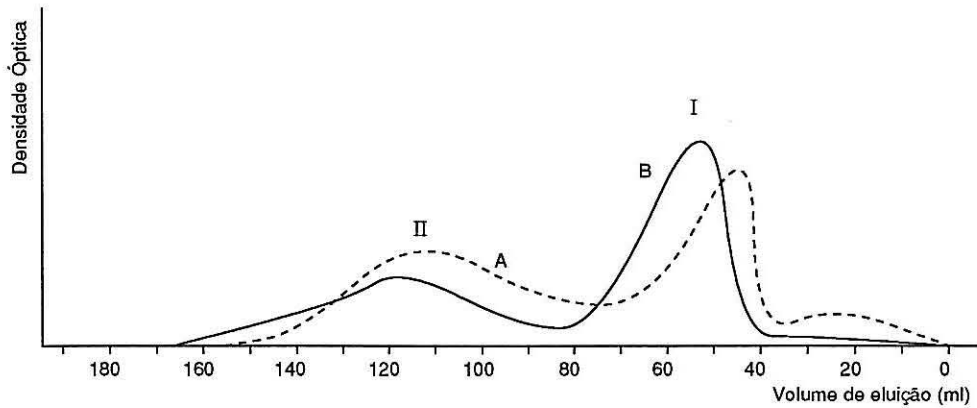


Figura 42 - Cromatografia em Sepharose CL-2B. A - Castanha nativa; B - Extrudido
B 18 : 175 : 170.

A diminuição da área do 1º pico e o correspondente alongamento do 2º pico poderá levar-nos a concluir que, com a extrusão houve uma fragmentação das macromoléculas de amido havendo também diminuição do tamanho molecular médio. Consequentemente terá havido um aumento das moléculas de peso molecular mais baixo, provavelmente oligossacáridos, que poderão corresponder ao alongamento do 2º pico.

A diminuição destes fenómenos nos extrudidos feitos com maior incorporação de castanha e nos que são feitos apenas com castanha pode ser devida à maior complexação da amilose com os lípidos na castanha relativamente ao milho, aumentando o seu peso molecular. Isto não é de admirar já que a castanha possui um teor de lípidos superior ao do milho (2,14% e 0,11%, em base seca, respectivamente). Esta observação vem de encontro ao que MERCIER, CHARBONNIERE, GALLANT e GUILBOT (1979) adiantaram relativamente à protecção que a amilose tem durante a extrusão quando forma complexos com os lípidos, como já se referiu anteriormente. Estes resultados conduzem-nos à ideia de que a extrusão favorece a complexação da amilose com os lípidos.

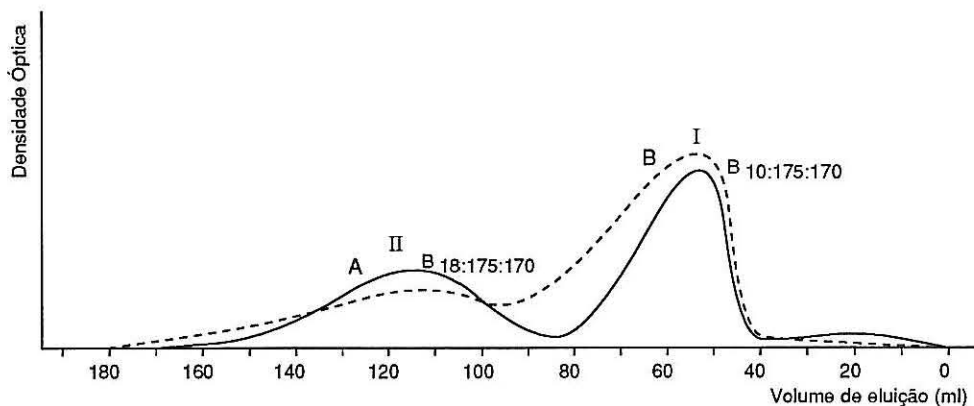


Figura 43 - Cromatogramas em Sepharose CL-2B. Extrudidos: A - B 18 : 175 : 170;
B - B 10 : 175 : 170.

Como se pode ver na Figura 43, ocorreu uma maior fragmentação com o decréscimo do teor de humidade. Na verdade, quando estamos numa situação com humidade elevada, há uma "plasticização" dos grânulos de amido e "lubrificação" da mistura, diminuindo a fricção e a tensão distorcional aplicada ao amido e causando menor dispersão deste durante a extrusão (WANISKA & GOMEZ, 1992). Já anteriormente GOMEZ & AGUILERA (1984) tinham afirmado que, em condições limitadas de água é natural que a humidade que é absorvida pelo grânulo fique retida no interior das zonas mais amorfas, enquanto que as zonas do grânulo com menores teores de humidade podem permanecer inalteradas (cruas) ou serem dextrinizadas, consoante forem as condições tempo/temperatura no interior da extrusora.

A extensão da degradação molecular foi avaliada recorrendo-se a 3 padrões de dextranos a partir dos quais se constitui a recta de calibração (Figura 44).

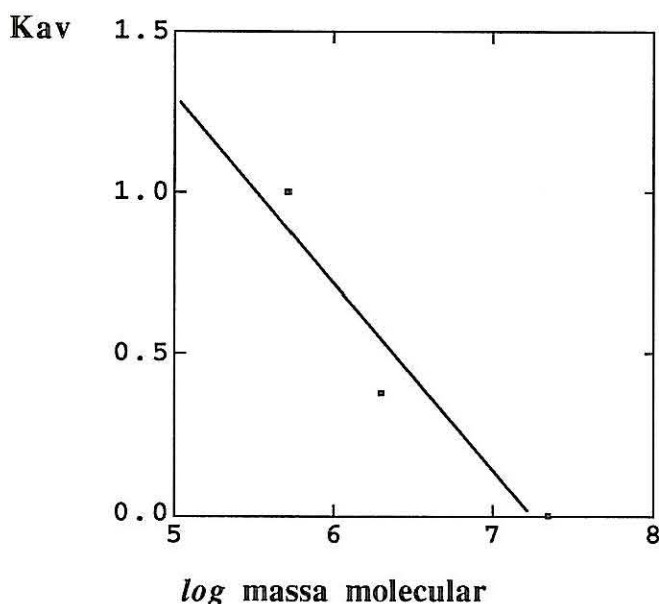


Figura 44 – Recta de calibração para dextranos.

$$R^2 = 0,914$$

$$Y = 4,208 - 0,581X$$

(16)

A partir da equação da recta, e utilizando-se os valores de Kav das nossas amostras (Y), calculou-se o logaritmo da massa molecular (X), correspondendo o inverso deste à massa molecular média das fracções de amido, como se mostra no Quadro seguinte:

Quadro XXXI – Massas moleculares médias das frações de milho, castanha e de extrudidos

Amostra	Fracções	Kav (Coef. de partição)	Log da Massa Molecular	Massa Molecular Média	Redução %
Milho	De maior massa molecular	0,38	6,59	3 890 451	—
	De menor massa molecular	0,9	5,69	489 779	—
Milho Extrudido T12: H175:v.p:170	De maior massa molecular	0,48	6,42	2 630 268	32,4
Castanha	De maior massa molecular	0,216	6,87	7 413 102	—
	De menor massa molecular	0,989	5,54	346 737	—
Castanha Extrudida B18-175-170	De maior massa molecular	0,27	6,78	6 025 596	18,72
	De menor massa molecular	1	5,52	331 131	4,61
Castanha Extrudida B10-175-170	De maior massa molecular	0,337	6,66	4 570 282	38,4
	De menor massa molecular	1,1	5,35	223 872	35,5

As fracções constituintes do amido de milho possuem massas moleculares na ordem dos 3 890 451 para a fracção de maior massa molecular, a amilopectina, e de 489 779 para a fracção de menor massa molecular, a amilose. Estes valores vêm de encontro aos referidos pela bibliografia para o amido de milho (THORN, W.; MOHAZZEB, S., 1990).

As fracções do amido de castanha possuem, no caso da amilopectina, maior massa molecular (aproximadamente 7 413 102) mas, menor para a amilose (cerca de 346 737) comparativamente com as fracções do amido de milho.

Os decréscimos verificados nas massas moleculares destas fracções dependem dos parâmetros de extrusão e da origem do amido.

No milho extrudido verifica-se apenas a existência de um pico com uma massa molecular elevada, na ordem dos 2 630 268 que corresponde a uma redução de 32,4% em relação à fracção correspondente no milho nativo. A fracção de menor massa molecular, onde se incluiria a amilose, deve ter sofrido grande fragmentação com a consequente redução do seu tamanho molecular que, por ser baixo fica retido no gel, não sendo por isso registado. Isto deve-se à menor quantidade de lípidos que o milho possui comparativamente com a castanha, como já foi anteriormente referido.

No caso da castanha, a fragmentação da amilopectina é maior que a da amilose pois a castanha possuindo relativamente ao milho uma concentração em lípidos superior,

estes ao formarem complexos com a amilose devem-na proteger da degradação térmica e mecânica.

Na castanha extrudida com baixo teor de humidade as fracções de amido sofrem maior redução, no tamanho molecular médio, que as de castanha extrudida com elevado teor de humidade.

A degradação conferida ao produto pelas diferentes condições de extrusão pode ser confirmada pela medição da consistência, correspondendo um decréscimo desta observada nos amilogramas a um decréscimo da massa molecular avaliada por cromatografia de filtração sobre gel, o que foi também registado por COLONNA, TAYEBE e MERCIER, (1989).

8 – CONCLUSÕES

Os produtos que tiveram maior aceitabilidade por parte dos elementos do painel foram, de uma forma geral, os processados com baixos teores de humidade e temperaturas de extrusão intermédias ou aqueles cujo aumento da humidade foi compensado com um correspondente aumento da temperatura.

Estes produtos apresentam uma boa taxa de expansão e uma força de ruptura intermédia e em equilíbrio com a energia de ruptura. São por isso produtos que apresentam boa solubilidade na boca, estaladiços e "crocantes".

Apesar da concentração de amido ser menor na farinha de castanha que na farinha de milho, os extrudidos de castanha ainda apresentam uma boa taxa de expansão e boas características de textura, podendo isto dever-se à maior concentração de amilose e à maior massa molecular da amilopectina do amido de castanha relativamente às de milho.

O sabor doce, característico da castanha, mantém-se nos produtos extrudidos, valorizando-os.

Apreciando os resultados dos ensaios experimentais seleccionados para avaliar as alterações físico-químicas, podemos concluir que a castanha possui na sua composição química um elevado teor de amido e um teor de lípidos superior ao do milho.

As moléculas de amido de castanha possuem uma concentração de amilose elevada, e superior à da maioria dos cereais. Por outro lado a massa molecular da amilopectina do amido de castanha é relativamente elevada e superior à da amilopectina do amido de milho. Estes dados justificam as curvas de consistência observadas nos amilogramas da farinha de castanha e explicam as alterações sofridas no processo de extrusão-cozedura. Neste processo, os grânulos de amido são alterados de forma diferente consoante as condições de extrusão. As condições mais drásticas, isto é, as que conduzem a maiores alterações são as de baixa humidade e elevada temperatura.

A dilatação dos grânulos de amido da castanha no processo de extrusão-cozedura é mais elevada que no milho, mantendo-se, no entanto, em maior extensão sem sofrer ruptura.

A fragmentação e conseqüente decréscimo da massa molecular das fracções de amido dependem dos parâmetros de extrusão (sendo maiores para baixos teores de humidade e temperaturas elevadas) e da origem do amido. A menor fragmentação ocorrida na amilose do amido de castanha deve-se à maior complexação desta macromolécula com os lípidos.

Da apreciação global dos resultados podemos concluir que a farinha de castanha tem boas potencialidades para uma utilização como ingrediente na formulação de produtos obtidos por novas tecnologias, nomeadamente pela extrusão-cozedura.

No entanto, pensamos que este trabalho poderá ser útil na condução de novos ensaios, estabelecendo-se para tal planos experimentais com amplitudes de variação de factores mais estreitos. e conducentes à optimização de condições de processamento, com uma posterior análise sensorial com um painel treinado e com maior número de elementos.

Ficam assim abertas novas pistas de que este trabalho pretendeu apenas ser uma primeira contribuição.

BIBLIOGRAFIA

- ABREU, C.; LOPES, A., 1988. Doenças da Tinta. Floresta e Ambiente – Revista de Divulgação Técnica. **16**. Lisboa.
- AISHIMA, T.; NAGASAWA, M.; FUKUSHIMA, D. (1979). Differentiation of the aroma quality of soy sauce by statistical evaluation of gas chromatographic profiles. *J. Food Science*, **44**: 1723-1731.
- ALBUQUERQUE, J. F. M. (1976). Carta Ecológica de Portugal. Pep. de Est. Int. e Prop. do Min. da Economia. Lisboa.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; E PEPLINSKI, A. J. (1970). Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Stärke*, **22**: 130 (Cit. Chinnaswamy e Hanna, 1988a).
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V.F. E GRIFFIN, E. L. (1969). Roll and extrusion-cooking of grain sorghum grits. *Cereal Sci. Today*, **14**: 372 (Cit. Chinnaswamy e Hanna, 1988a).
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H.; PFEIFER, V. e GRIFFIN, E. (1969). Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Sci. Today*, **44** (1): **4** (cit. Crawshaw e Otun, 1986).
- ANDERSSON, Y.; HEDLUND, B.; JONSSON, L. E SVENSSON, S. (1981). Extrusion cooking of a high-fiber cereal product with crispbread character. *Cereal Chem.*, **58**: 370 (Cit. Lue *et al.*, 1991).
- ANON (1966). *Feedstuffs*, **38** (10): 76
- ANON (1975). Glossary of terms relating to the Sensory Analysis of Food. B. S. 5098: 1975. British Standards Institution. London (cit. Brennan, 1988).
- ARMENIADES, C. D. e BAER, E. (1977). Transitions and relaxations in polymers. In: *Introduction to Polymer Science and Technology: An SPE Textbook*. H. S. Kaufman. Ed. Wiley. Page 239. New York (cit. Zeleznak e Hoseney, 1987).
- ATKINSON, W.T. (1979). *United States Patent*, **3**, 488, 770
- ATWELL, W.A. (1986). Viscosity of flour and starch in high water systems. In: *Fundamentals of Doughs Rheology*. Ed. Hamed Faridi & Jon M. Faubion:12-18. St. Paul (Minnesota).
- BAIRD, D.G. E REED, C.M. (1989). Transport Properties of Food Doughs. In: *Extrusion Cooking*. C. Mercier, P. Linko e J. M. Harper. Eds. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota. pg. 205-206.

- BANKS, W. e GREENWOOD, C.T. (1975). *Starch and its Components*. Halsted Press. New York (cit. Zeleznak e Hosney, 1987).
- BANKS, W.; GREENWOOD, C.T. E MUIR, D.D. (1973). The Structure of Starch. In: *Molecular Structure and Function of Food Carbohydrate*. Ed. G.G. Birch & L.F. Green. Applied Science Publishers LTD: 177-193. London.
- BARRET, A. H. E PELLEG, M. (1992b). Extrudate Cell Structure–Texture Relationships. *Journal of Food Science*, **57** (5): 1253–1257.
- BARRET, A. H.; NORMAND, M.; PELLEG, M. E ROSS, E. (1992a). Characterization of the jagged stress-strain relationships of puffed extrudates using Fourier and fractal analysis. *J. Food Sci.*, **57**: 227 (Cit. Barret e Pelleg, 1992b).
- BERGIER, J. F. (1987). Food acceptance and cultural change: Some historical experiences. In: *Food Acceptance and Nutrition*. J. Solms, D. A. Booth, R. M. Pengborn, and O. Rsumhardt, Eds. Academic Press. New York (Cit. Szczesniak, 1990b).
- BHATTACHARYA, M. e HANNA, M.A. (1986). Viscosity Modeling of Dough in Extrusion. *J. Food Technology*, **21** : 167-174 (cit. Kokini *et al.*, 1992).
- BHATTACHARYA, M. e HANNA, M.A. (1987). Textural Properties of Extrusion Cooked Corn Starch. *Lebensm.-Wiss. Technol.*, **20** : 195-201 (cit. Kokini *et al.*, 1992).
- BILIADERIS, C.G.; GRANT, D.R. e VOSE, J.R. (1981). Structural characterization of legume starches. I. Studies on amylose, amylopectin and beta-limit dextrins. *Cereal Chem.* **58** : 496-502 (cit. Wen, *et al.*, 1990).
- BILIADERIS, C. G.; PAGE, C. M.; SLADE, L. e SORETT, R.R. (1985). Thermal behavior of amylose-lipid complexes. *Carbohydr. Polym.* **5**: 367-389 (cit. Colonna, Tayb e Mercier, 1989).
- BILIADERIS, C.; MAURICE, T.J. e VOSE, J.R.(1980). Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. *J. Food. Sci.*, **45**: 1669-1674 (cit. Kokini *et al.*, 1992).
- BILIADERIS, C.G. (1992). Structures and Phase Transitions of Starch in Food Systems. *Food Technology*, **46** (6) : 98-145.
- BILIADERIS, C.G. e ZAWISTOWSKI, J. (1990). Viscoelastic behavior of ageing starch gels. Effects of concentration, temperature and starch hydrolyzates on network properties. *Cereal Chem.*, **67** : 240-246 (cit. Biliaderis, 1992).
- BILIADERIS, C.G.; PAGE, C.M.; MAURICE, T.J. e JULIANO, B.O. (1986). Thermal characterization of rice starches: A polymeric approach to phase transitions of granular starch. *J. Agric. Food Chem.* **34** : 6 (cit. Zeleznak e Hosney, 1987).
- BLANSHARD, J.M.V. (1986). The Significance of the Structure and Function of the Starch Granule in Baked Products. In: *Chemistry and Physics of Baking*, Ed.

- Blanshard, J.M.V., Frazier, P.J. e Galliard, T. Royal Society of Chemistry. London: 1-13.
- BLANSHARD, J.M.V. e MITCHELL, J.R. (1979). *Polysacharides in Food*. Butterworths: 153-170. London.
- BOYAR, M. M. E KILCAST, D. (1986). Food texture and dental science. *J. Texture Stud.*, **17**: 221 (cit. Szczesniak, 1990b).
- BRANDT, M. A.; SKINNER, E. Z. E COLEMAN, J. A. (1963). *J. Food Sci.*, **28**: 404 (cit. Brennan, 1988)
- BRENNAN, J. G. (1988). Texture perception and measurement. In: *Sensory analysis of foods*. Ed. J. R. Piggott. 2ª Edição. Elsevier Applied Science: 69-101.
- BRESSANI, R.; BRAHAM, J. E.; ELIAS, L.; CUEVAS, R. e MOLINA, M. R. (1978). Protein quality of a whole corn/whole soybean mixture processed by a simple extrusion cooker. *J. Food Science*, **43**: 1563 (cit. Crawshaw e Otun, 1986).
- BURROS, B.C.; YOUNG, L.A. e CARROAD, P.A. (1987). Kinetics of corn meal gelatinization at high temperature and low moisture. In: *J. Food Sci.* **52**: 1372-1376 (cit. Kokini, *et al.*, 1992).
- CAMBRA, R. (1986). Economia de la Production Frutal. Consejo Superior de Investigaciones Cientificas – Estacion Experimental de Aula Dei Zaragoza. pág. 13
- CARDELLO, A.V.; MELLAR, C.; KAPSALIS, J. G.; SEGARS, R. A.; SAWYER, F. M.; MURPHY, C. E MOSKOWITZ, H. R. (1982). *J. Food Sci.*, **47**: 1186 (Cit. Brennan, 1988).
- CERVONE, N.W. e HARPER, J.M. (1978). Viscosity of an intermediate moisture dough. *J. Food Proc. Eng.*, **2** : 83-95 (cit. Kokini *et al.*, 1992).
- CHEN, J.; SERAFIN, F.L.; PANDYA, R.N. E DAUN, H. (1991). Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. *Journal of Food Science*, **56** (1): 84-89.
- CHIANG, B. e JOHNSON, J. A. (1977) Gelatinisation of starch in extruded products. *Cereal Chem.*, **54** (3): 436 (cit. Colonna, Tayeb e Mercier, 1989).
- CHINNASWAMY E HANNA, M. A. (1987). Die-nozzle dimension effects on the expansion of extrusion-cooked corn starch. *J. Food Sci.* (Cit. Chinnaswamy e Hanna, 1988a).
- CHINNASWAMY E HANNA, M. A. (1988a). Relationship Between Amylose Content and Extrusion-Expansion Properties of Corn Starches. *Cereal Chemistry*, **65** (2): 138-143.

- CHINNASWAMY E HANNA, M. A. (1988b). Optimum extrusion cooking conditions for maximum expansion of corn starch. *J. Food Sci.*, **53** (3): 834.
- CHINNASWAMY, Y. e HANNA, M. A. (1990). Macromolecular and functional properties of native and extrusion-cooked corn starch. In: *Cereal Chem.* (cit. Wen, *et al.*, 1990).
- CHRISTENSEN, C.M. (1983). *J. Food Sci.*, **48**: 787 (Cit. Brennan, 1988).
- CIVILLE, G.V. E SZCZESNIAK, A.S. (1973). *J. Texture Studies.* **4**: 204 (Cit. Brennan, 1988).
- COLONNA, P. E MERCIER C. (1983). Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion-cooking with and without lipids. *Carbohydr. Polym.*, **3**: 87 (Cit. Chinnaswamy e Hanna, 1988a).
- COLONNA, TAYER E MERCIER (1989). Starch and Starchy Products. In: *Extrusion-Cooking*. C. Mercier, P. Linko e J. P. Harper. St. Paul, Minnesota: 262-265.
- CONWAY, H. F. (1971). Extrusion cooking of cereals and soybeans. *Food Prod. Dev.* **5**: 14-17, 27-29 (cit. Colonna, Tayeb e Mercier, 1989).
- CONWAY, H. F. e ANDERSON, R. A. (1973). Protein-fortified extruded food products. *Cereal Sci, Today*, **18** (4): 94 (cit. Crawshaw e Otun, 1986).
- CRAWSHAW, A. e OTUN, E. L. (1986). Flow behavior and structure of proteins and starches during extrusion-cooking. In: *Fundamentals of Dough Rheology*. Ed. Hamed Faridi e Jon M. Faubion. St. Paul, Minnesota: 37-52.
- DAGNELI, P. (1977). *Analyse Statistique à Plusieurs à Plusieurs Variables*. Presses Agronomiques de Gembloux, A.S.B.L.: 167-224.
- DAVIDSON, V.J.; PATON, D.; DIOSADY, L.L. E LAROCQUE, G. (1985). Degradation of wheat starch in a Single Screw extruder: Characteristics of extruded starch polymers. *J. Food Sci.*, **49**: 453 (Cit. Chinnaswamy e Hanna, 1988a).
- DAVIDSON, V.J.; PATON, D.; DIOSADY, L.L. e LAROCQUE, G. (1984). Degradation of Wheat Starch in a single screw extruder: Characteristics of extruded Strach Polymers. *J. Food Sci.* **49** : 453 (cit. Kokini *et al.*, 1992).
- DE LA GUÉRIVIÈRE, J. F. (1976). Principles of the extrusion-cooking process. Application to starch foods. *Bull. Anc. El. Ec. Fr. Meun.* **276**: 305-314 (Cit. Colonna, Tayeb e Mercier, 1989).
- DE MAN, J. M. (1975). Texture of foods. *Lebensm. – Wiss. Techol.* **8**: 101-107. (Cit. Bourne, 1982).
- DIOSADY, L. L. (1986) Review of recent studies onthe mechanism of starch extrusion. In: *Food Engineering and Process Applications*. Ed. M. L. Harper e P. Zelen. Elsevier Applied Science Publishers. London e New York. Vol. 2: 143-155.

- DONOVAN, J.W. (1977). A study of the baking process by differential scanning calorimetry. *J. Food Agric.* **28** : 571 (cit. Kokini *et.al.*, 1992).
- DONOVAN, J.W. (1979). Phase transition of the starch water system. *Biopolymers.* **18** : 263-265 (cit. Wang, *et al.*, 1991).
- DRAKE, B. K. (1963). Food crushing sounds. An introductory study. *J. Food Sci.*, **28.**, 233-241 (Cit. Bourne, 1982).
- DRAKE, B. K. (1965). Food crushing sounds. Comparison of adjective and subjective data. *J. Food Sci.*, 30: 556-559 (Cit. Bourne, 1982).
- DZIEZAK, J.D. (1989). Single and Twin-Screw Extruders in Food Processing. *Food Technology* **32** (7):75.
- EISENBERG, A. (1984). The glassy state and the glass transition. *Physical Properties of Polymers*. J.E. Mark, Ed. American Chemical Society. Page 55. Washington, D.C. (cit. Zeleznak e Hoseney, 1987).
- ELIASSON, A. C. (1985). Starch gelatinization in the presence of emulsifier. A morphological study of wheat starch. In: *Starch/ Staerke*; 34:411 (Cit. Szczodak e Pomeranz, 1992).
- ENNIS, D. M.; BOELENS, H.; HARING, H.; BOWMAN, P. (1982). Multivariate analysis in sensory evaluation. *Food Technol.* 36(11): 83-90.
- EVANS, I.D., e HAISMAN, D.R. (1980). Rheology of gelatinized starch suspensions. In : *Journal of Texture Studies*, 10 . 347-370.
- FAUBION, J. M. E HOSENEY, R. C. (1982b). High-temperature short-time extrusion of wheat starch and flour. I. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. *Cereal Chem.* **59**: 529 (Cit. Barret e Peleg, 1992).
- FAUBION, J. M. e HOSENEY, R.C. (1982a). High-temperature Short-time extrusion cooking of Wheat starch and flour. I. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. *Cereal Chem.*, **59** (6): 529 (cit. Crawshaw e Otun, 1986).
- FAUBION, J. M. e HOSENEY, R.C. (1982b). High-temperature Short-time extrusion cooking of Wheat starch and flour. II. Effect of protein and lipid on extrudate properties. *Cereal Chem.*, **59** (6): 529 (cit. Crawshaw e Otun, 1986).
- FAUBION, J. M.; HOSENEY, R.C. E SEIB, P. A. (1982c). Functionality of grain components in extrusion. *Cereal Foods World*, **27**: 212 (Cit. CHINNASWAMY E HANNA, 1988a).
- FENAROLI, (1945). Il castanho. Ramo editorial degli agricoltori. Roma.
- FICHTALI, J. E VAN DE VOORT, F.R. (1989). Fundamental and partical aspects of twin screw extrusion. *Cereal Foods World.* **34** (11): 921-929 (Cit. Martins, 1990).

- FLETCHER, S. I.; RICHMOND, P. E SMITH, A.C. (1985). An experimental study of twin-screw extrusion-cooking of maize grits. *J. Food Eng.*, 4: 291 (Cit Lue *et al.*, 1991).
- FLETCHER, S.I., MCMASTER, T.J., RICHMOND, P., SMITH, A.C. (1985). Rheology and Extrusion of Maize Grits. *Chem. Eng. Commun.*, 239-261 (cit. Kokini *et al.*, 1992).
- FLOSOS, J.D.; CHINNAN, M.S. (1988). Computer Graphics-Assisted Optimization for Product and Process Development. *Food Technology*, 42 (2) : 72-74 e 76-78.
- FRENCH, D. (1984). Organization of starch granules. In: *Starch Chemistry and Technology*. R.L. Whistler, J.N. Bemiller and E.F. Paschall, eds. Academic Press. Page 138. New York (cit. Zeleznak e Hosney, 1987).
- FRIJTERS, J.E.R. (1976). Evaluation of texture profile for cooked chicken breast meat by principal component analysis. *Poultry Sc.* 55 (1): 229-234.
- FUSEK, J.F. (1980). Glass transition temperature of wet fibers. In: *Water in Polymers*. S.P. Rowland, ed. ACS Symp. Ser. 127. American Chemical Society. Page 515. New York (cit. Zeleznak e Hosney, 1987).
- GIBSON, L. E ASHBY, M. (1988). *Cellular Solids*. Pergamon Press (Cit. Barret e Peleg, 1992).
- GIOVANNI, M. (1983). Response Surface Methodology and Product Optimization. *Food Technology*, 37 (11) : 41-45 e 83.
- GOMEZ, M. H. E AGUILERA, J.M. (1984). A physicochemical model for extrusion of corn starch. *J. Food Sci.*, 49: 40-43.
- GOMEZ; M.H. e AGUILERA, J.M. (1984). A Physicochemical Model for Extrusion of Corn Starch. *Journal of Food Science*. 49 (1) : 40-43 e 63.
- GONÇALVES FERREIRA, F.A. e GRAÇA, M.E.S. (1977). Tabela da Composição dos Alimentos Portugueses. Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge. Reimpressão.
- GONZALEZ, R. J.; DE GREEF, D. M.; TORRES, R. L. E GORDO, N.A.(1987). Efectos de algunas variables de extrusion sobre la harina de maiz. *Arch. Latinoamericanos de Nutricion*. 37: 578 (cit. Chen *et al.*, 1991).
- GONZÀLES, R.J.; TORRES, R.L.; DE GREEF, D.M. e GORDO, N.A. (1986). Evaluación de almidón de maíz precocido por extrusion-cocción. *Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment.*, 26 (4).
- GREBAUT, J.; DELMER, F. E DE LA GUÉRIVIÈRE, J. F. (1978). Obtention de produits alimentaires nouveaux à base de manioc. Action concertée DGRST-7-0432. APRIA. Paris (Cit. Colonna, Tayeb e Mercier, 1989).

- GUERREIRO, M. G. (1957). Castanheiros. Alguns Estudos sobre a sua ecologia e melhoramento genético. Alcobaça.
- GUY, R.C.E. e HORNE, A.W. (1988). Extrusion and co-extrusion of cereals. In: *Food Structure - its creation and evaluation*. Eds. Blanshard, J.M.V. e Mitchell, J.R. Butterworths. England. 331-349 (cit. por Martins, G., 1990).
- HAPER, J.M. (1981). *Extrusion of Foods*. Vol. II. CRC Press, Boca Raton, FL (Cit. Barret e Peleg, 1992).
- HARMAN, H.H. (1976). *Modern Factor Analysis*. the Univ. of Chicago Press. Chicago and London: 133-135.
- HARPER, J. M. (1978). Extrusion processing of food. *Food Technology*: **32** (7): 67-72.
- HARPER, J. M. (1984). Recent applications and research perspective in the field of extrusion-cooking. In: *Thermal Processing and Quality of Foods*. Zenthen, P. et al. Elsevier Applied Science Publishers. London e New York. pp. 25-30.
- HARPER, J. M. (1989). Food Extruders and Their Applications. In: *Extrusion Cooking*. Mercier, C.; Linko, P. e Harper, J. M. Editors. American Assoc. Cereal Chemists. St. Paul, Minn. p. 1-16.
- HARPER, J.J.; RHODES, T.P. e WANNINGER, L.A. (1971). Viscosity model for cooked cereal doughs. Symp. Series 108. Am. Inst. of Chem. Eng.. Washington, D.C. (cit. Kokini, et al., 1992).
- HARPER, J.M. (1981). *Extrusion of Foods*. Vol. 1, CRC Press. Inc. Florida. 212 p.
- HARPER, J.M. (1981). Extrusion processing of food. *Food Technol.* **32** (7): 67.
- HARPER, J.M. (1986). Extrusion Texturization of Foods. *Food Technology*, **40** (3): 70-76.
- HARPER, J.M. (1986a). Processing characteristics of food extruders. In: *Food Engineering and Process Applications* Magner, M.L. e Zelen, P. Eds. Elsevier Applied Science Publishers. Vol.2. London e new york. p.: 101-117.
- HAUCK, B.W. E HUBER, G.R. (1989). Single screw vs. twin screw extrusion. *Cereal Foods World*: **34** (11): 930-939 (Cit. Martins, G., 1990).
- HAYTER, A.L.; PRESCOTT, E. H. A. E SMITH, A.C. (1987). Application of the IFR portable pendulum for the assessment of the mechanical properties of solid foams. *Polym. Test.* **7**: 27-38 (Cit. Colonna, Tayeb e Mercier, 1989).
- HERRERA, E. (1986) – Bioquímica. Pág. 254-256) Interamericana. Madrid.
- HOOVER, R. e HADZIYEV, D. (1981). Characterization of potato starch and its monoglycerides complexes. *Stärke*, **33** : 290-300 (cit. Waniska e Gomez, 1992).

- HOSENEY, R.C. (1986). Cereal Starch. In: *Principles of Cereal, Science and Technology*, Cap. 2. St. Paul, Minnesota.
- HOSENEY, R.C.; ZELEZNAK, K.J. e YOST, D.A. (1986). A note on the gelatinization of starch. *Staerke* **38** : 407-409 (cit. Waniska e Gomez; 1992).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (INE). (1977 a 1991). Estatísticas Agrícolas. Produção de Frutos no Continente.
- INVUFLEC (1978). Le Châtaignier - Production et Culture. *Comité Nacional Interprofessionnel de la Chaitagne et du Marron*. pag.12. Nîmes.
- ISO (International Organization for Standardization). (1981). *Sensory Analysis Vocabulary*. Past 4. Geneva (Cit. Szczesniak, 1990b).
- IZUTSU, T. E WANI, K. (1985). Food Texture and Taste: A review. *J. Texture Studies*. **16**:1 (Cit. Szczesniak, 1990b).
- JAO, Y.C.; LEWANDOWSKI, D. e ERWIN, W.W. (1978). Engineering analysis of soy dough rheology in extrusion. *J. Food Proc. Eng.*, **2** : 337-342.
- JIN, X.; ELLIS, T.S. e KARASZ, F. E. (1984). The effect of cristallinity and crosslinking on the depression of the glass transition temperature in nylon 6 by water. In: *J. Polymer Sci., Polymer Phys. Ed.* **22** : 1701 (cit. Zeleznak e Hosenev, 1987).
- JOWITT, R. (1974). The terminology of food texture. *J. Texture Studies*, **5**: 351 (Cit. Bourne, 1982).
- KIM, J. e ROTTIER, W. (1980). Modification of aestivum eheat semolona by extrusion. *Cereal Foods World*, **24** (2): 62 (cit. Crawshaw e Otun, 1986).
- KIM, K. E HAMDY, M. K. (1987). Depolymerization of starch by high pressure extrusion. *J. Food Sci.*, **52**: 5 (cit. Barret e Peleg, 1992).
- KNIGHT, J.W. (1969). *The Starch Industry*. Pergamon Press. London: 1-31.
- KOKINI, J.L.; LAI, LIH-SHIUH e CHEDID, L.L. (1992). Effects of Starch Structure on Starch Rheological Properties. *Food Technology*, **46** (6): 124-139.
- LAI, C.S., GUETZLAFF, J. E HOSENEY, R.C. (1989). Role of sodium bicarbonate and trapped air in extrusion. *Cereal Chem.*, **66**: 69 (Cit. Barret e Peleg, 1992).
- LAI, L.S. e KOKINI, J. L. (1990). The effect of extrusion operating conditons on the on-line apparent viscosity of 98% amylopectin (Amioca) and 70% amylose (Hylon 7) corn starches during extrusion. *J. Rheol.*, **34**: 1245- 1266 (cit. Kokini *et al.*, 1992).
- LAI, L.S. e KOKINI, J.L. (1991). Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (a review). *Biotechnol. Prog.* **7** : 251-266 (cit. Kokini, *et. al.*, 1992).

- LAUNAY, B. E LISCH, J. M. (1983). Twin-screw extrusion cooking of starches: Flow behavior of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. *J. Food Eng.*, **2**: 259 (Cit. Szczodrak e Pomeranz, 1992).
- LAWTON, J. W.; DAVIS, A.B. E BEHNKE, K. C. (1985). High-temperature, short-time extrusion of wheat gluten and a branlike fraction. *Cereal Chem.* **62**: 267 (Cit. Lue *et al.*, 1991).
- LEACH, H.W. (1965). Gelatinization of Starch. In: *Starch: Chemistry and Technology*. Roy L. Whistler and Eugene F. Paschall, eds. Academic Press. Vol. I. New York (cit. Medcalf, 1973).
- LEBART, L.; MORINEAU, M. (1985). Systeme Portable pour l'Analyse des Donnes.
- LEVINE, H. e SLADE, L. (1990). Influences of the glassy and rubbery states. *Dough Rheology and Baked Product Texture*. Ed. H. Faridi and J.M. Faubion AVI Pub. Co. Inc. pp. 157-330. New York (cit. Kokini, *et al.*, 1992).
- LEVINE, I.N. (1983). Solids and liquids. In: *Physical Chemistry*. 2^a ed. McGraw Hill. Page 827. New York (cit. Zeleznak e Hoseney, (1987).
- LEVINE, L. (1988). Understanding extruder performance. *Cereal Foods World*, **33** (12): 963-970 (Cit. Martins, G., 1990).
- LINEBACK, D.R. e RASPER, V.F. (1988). Wheat Carbohydrates. In: *Wheat Chemistry and Technology*, Ed. Y. Pomeranz. 3^a edição. Vol 1. Cap. 6. Washington.
- LINKO, P.; COLONNA, P. E MERCIER, C. (1981). High-temperature, short-time extrusion cooking. In: *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. 4. Y. Pomeranz, ed. Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, Minnesota. 145-235 (Cit. Chinnaswamy e Hanna, 1988a).
- LUE, S.; HSIEH, F. E HUFF, H, E. (1991). Extrusion Cooking of Corn Meal and Sugar Beet Fiber: Effects on Expansion Properties, Starch Gelatinization, and Dietary Fiber Content. *Cereal Chem.*, **68** (3): 227-234.
- LUE, S.; HSIEH, F.; PENG, I. C. E HUFF, H. E. (1990). Expansion of corn extrudates containing dietary fiber: A microstructure study. *Lebensm. Wiss.Technol.*, **23**: 165 (Cit. Lue *et al.*, 1991).
- MAGA, J. A. E LORENZ, K. (1978). Sensory and functional properties of extruded corn-soy blends. *Lebensm. - Wiss. - Technol.*, **11**: 185 (Cit. Chen *et al.*, 1991).
- MANNERS, D.J. (1968). The biological synthesis of starch. In: *Starch and its derivatives* (4^a ed.). J.A. Radley ed.. Chapman and Hall. London (citado por Medcalf, 1973).
- MARTINS, G.S.S.M. (1990). Produção de Cereais de Pequeno-Almoço por Extrusão-Cozedura - *Lupinus luteus L.* como fonte proteica. Relatório de Estágio do Curso de Engenharia Agro-Industrial. Lisboa.

- MARTINS, I. (1983). Importância dos Frutos Secos em Nutrição. *Revista do Centro de Nutrição*, 7 (1).
- MASON, W. R. e HOSENEY, R.C. (1986). Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chemistry*, 63 (5): 436-441.
- MATZ, S.A. (1976). *Snack Food Technology*. AVI, Westport, CT (Cit. Colonna, Tayeb e Mercier, 1989).
- MAURICE, T.J.; SLADE, L.; SIRETT, R.R. e PAGE, C.M: (1985). Polysaccharide-water interactions - Thermal behavior of rice starch. In: *Influence of water on Food Quality and Stability*. D. Simatos and S.L. Multon, eds. Nijhoff M. Publ. Page 221. Dordrecht, Netherlands (cit. Zeleznak e Hosenev, 1987).
- MEDCALF, D.G. (1973). Structure and Composition of Cereal Components as Related to their Potencial Industrial Utilization - Starch. In: *Industrial Uses of Cereals*. Y. Pomeranz e Chairman. Ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. p. 121-137. St. Paul. Minnesota.
- MELCHIOR, H. (1954). Beitrag Zur Kenntnis der Struktur der Getreide Starkekörner. *Ber. Deutsch. bot. Ges.* 67 : 394 (cit. Medcalf, 1973).
- MERCIER C. E CANTARELLI C. (1986). Introductory remarks. In: *Pasta and Extrusion cooked foods. Some Technological and nutritional aspects*. Proceedings of an International Symposium held in Milan (Italy) in March 1985. Eds. Mercier, C.; Cantarelli, C. Elsevier Applied Science Publishers. London e New York: V-VI.
- MERCIER, C. e FEILLET, P. (1975). Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chem.* 52: 283 (cit. Diosady, 1986).
- MERCIER, C.; CHARBONNIERE, R.; GREBAUT, J. E DE LA GUERIVIERE, J. F. (1980). Formation of amylose-lipid complexes by twin-screw extrusion cooking of manioc starch. *Cereal Chem.*, 57: 4 (Cit. Chinnaswamy e Hanna, 1988a).
- MERCIER, C.; CHARBONNIERE, R.; GALLANT, D. e GUILBOT, A. (1979). Structural Modification of various starches by extrusion-cooking with a twin-Screw french extruder. In: *Polysaccharides in Food*. Ed. J. M. V. Blanshard e J. R. Mitchell. Butterworths: 153-170. London.
- MEUSER, F. E WIEDMANN, W. (1989). Extrusion Plant Design. In: *Extrusion Cooking* C. Mercier, P. Linko e J. M. Harper. Eds. American Association of Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota. pg. 91-93.
- MEUSER, F.; VON LENGERICH, B. E KOEHLER, F. (1982). The influence of extrusion parameters on the functional properties of wheat starch. *Stärke*, 34: 366 (Cit. Chinnaswamy e Hanna, 1988a).

- MONTGOMERY, D.C. (1992). *Design and Analysis of Experiments* 3ª Edição. John Wiley & Sons, Inc.
- MORRIS, V. J. (1990). Starch gelation and retrogradation. *Trends Food Sci. Technol.*, 1: 2-6 (Cit. Waniska e Gomez, 1992).
- MORRISON, D.F. (1967). *Multivariate Statistical Methods*. International Student Edition. McGraw-Hill. Kogakusha: 226-302.
- MOSKOWITZ, H. R. (1981). *J. Food Quality*. 4: 15 (Cit. Brennan, 1988).
- MUELENAERE, H. J. H. (1989). Extrusion: a first and third world tool. In: *Technology and the consumer*. Proceedings of the SAAFOST 10th Biennial Congress and a Cereal Science Symposium held in Durban (RSA) in August 1989. Vol. 1, Technikon Natal. Republic of South Africa: 22-42 (Cit. Martins, G., 1990).
- OLDFIELD, R. C. (1960). Perception in the mouth. In: *Texture in Foods*, Monograph No 7. Soc. Chem. Ind. London: 3.
- OLIVEIRA, A.M.; MONTEIRO ALVES, A.A (1987). “Quadro Ecológico – Cultural da Silvicultura do Castanheiro”. Encontro sobre Soutos e Castiçais. Castelo de Vide, Portalegre e Marvão, 16 pp.
- OWUSU-ANSAH, J., VAN DE VOORT, F.P. e STANLEY, D.W. (1983). Physicochemical changes in corn starch as a function of extrusion variables. *Cereal Chem.* 60 : 319-324 (cit. Kokini, *et al.*, 1992).
- PAIVA, J. (1990). O castanheiro em Portugal. Quercus – Associação Nacional de Conservação da Natureza. Coimbra (1990).
- PARK, K. H. (1976). Elucidation of the extrusion puffing process. Ph. D. Thesis, University of Illinois, Urbana, IL (Cit. Lue *et al.*, 1991).
- PATTON, D. e SPRSTT, W. A. (1978). Component interactions in the extrusion cooking process. I. Processing of chlorinated and untreated soft wheat flour. *Cereal Chem.*, 55 (6): 973 (cit. Crawshaw e Otun, 1986).
- PERI, C; BARBIERI, R. E CASIRAGHI, E.M. (1983). Physical, chemical and nutritional quality of extruded corn germ flour and milk protein blends. *J. Food Technol.*, 18: 43.
- PIERSON, A. E LE MAGNEN, J. (1970). *J. Texture Studies*, 1: 327.
- PIGGOTT, J.R.; SHAMAN, K. (1986). Methods to aid interpretation of multidimensional data in *Statistical Procedures in Food Research*. J. R: Piggott (Ed.).Elsevier Applied Science. London & New York: 181-232.
- PINNAVAIA, G.; LERICI, C.R. e MOSCATTI, P. (1984). Proprietà funzionali della farina di castagne in relazione ai processi di cottura-estrusione – Nota 1. *Tecnica Molitoria*. Ottobre 1984. p. 725-732.

- PITTE, JEAN-ROBERT (1986). *Terres de Castanide – Hommes et Paysages du Châtaignie de l'Antiquité à nos Jours*. Librairie Arthème Fayard. p. 347-361 .
- POWERS, P.P. (1988). Current practices and application of descriptive methods. In *Sensory Analysis of Foods*. J.R. Piggot (ed.). Elsevier Applied Science. London and New York: 187-286.
- RAO, M.A. (1977). Rheology of Liquid Foods – A Review. *Journal of Texture Studies*, 8. 135-168.
- REGO, F.M.C.C., (1987). “História Recente do género *Castanea* nos continentes Europeu e Americano”. Encontro sobre Soutos e Castiçais. Castelo de Vide, Portalegre e Marvão. 15pp.
- RODRIGUES PIRES, D. (1991). *Estudo Prospectivo da Produção de Castanha no Distrito de Bragança*. Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança. p. 1-70. Bragança.
- RODRIGUES, J.; LOURO, V.; MOURATE, J., 1977. “Instalações de castanheiros”. Encontro sobre Soutos e Castiçais Castelo de Vide, Portalegre e Marvão.
- SCHOCH, T.J. (1965). Starch in bakery products. *Bakers Digest.*, 39 (2): 2 (cit. Medcalf, 1973).
- SEILER, K.; WEIPERTED, D. E SEIBEL, W. (1980). Viscosity behavior of ground extrusion products in relation to different parameters. In: *Food Process Engineering: Food Processing Systems*. P. Linko, Y.Malkki, Y. Olkku e J. Larinkari (Ed.). Applied Science Publishers. London. Vol. I: p. 308 (cit. Chen *et al.*, 1991).
- SENOUCI, A. e SMITH, A.C. (1988). An experimental study of food melt rheology. I. Shear viscosity using a slit die viscometer and a capillary rheometer. *Rheol. Acta* 27 : 546-554 (cit. Kokini, *et al.*, 1992).
- SHERMAN, P. (1969). *J. Food Sci.*, 34: 458 (Cit. Brennan, 1988).
- SINCLAIR, H.M.e HOLLINGSWORTH, D.F. (1969). *Hutchinson's Food and the Principles of Nutrition*. Publ. Edward Arnold Ltd. 12^o Ed. p. 326. London. (cit. Martins, I., 1983).
- SLADE, L. e LEVINE, H. (1987). Influences of the glassy and rubbery states on the thermal, mechanical and structural properties of doughs and baked products. In: *Advances in meat research. Vol 4. Collagen as a food*. Ed. A.M. Pearson, T. Dutson e A. Bailey. AVI Pub. Co. Inc. pp. 251-266. New York (cit. Kokini, *et al.*, 1992).
- SLADE, L. LEVINE, H. e FINLEY, J.W. (1988). Protein-water interactions: Water as a plasticizer of gluten and other protein polymers. In: *Protein Quality and the*

- effects of processing*. Ed. D. Philips and J. W. Finley, pp. 9-124. Marcel Dekker. New York (cit. Kokini, et al., 1992).
- SMITH, O.B. (1969). History and status of specific protein-rich foods. Extrusion-processed cereal foods. In: *Protein-Enriched Cereal Foods for World Needs*. Ed. Milner, A. Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, Minn. 140 p.
- SZCZESNIAK, A. S. (1963). Classification of textural characteristics. *J. Food Sci.*, **28**: 385 (Cit. Szczesniak, 1990b).
- SZCZESNIAK, A. S. (1975). Textural characterization of temperature sensitive foods. *J. Texture Stud.* **6**: 139 (Cit. Szczesniak, 1990b).
- SZCZESNIAK, A. S. (1987). *J. Texture Studies.* **18**: 1 (Cit. Brennan, 1988)
- SZCZESNIAK, A. S. (1990a). Texture: Is it Still an Overlooked Food Attribute? *Food Technology* : 86-95.
- SZCZESNIAK, A. S. (1990b). Psychorheology and Texture as factors Controlling the Consumer Acceptance of Food. *Cereal Foods World*; **35** (12): 1201-1205.
- SZCZODRAK, J. E POMERANZ, Y. (1992). Starch-lipid interactions and formation of resistant starch in high-amylose barley. *Cereal Chem.*, **69** (6): 626-632.
- TABELA DE NECESSIDADES DA POPULAÇÃO PORTUGUESA (1983). *Rev. Cen.*, **7** (1). p. 10-11 (cit. Martins, I., 1983).
- TAKAHASHI, K.; SHIRAI, K. e WADA, K. (1982). Structural changes in starch granules of low moisture content during heating. *Agric. Biol. Chem.*, **46**: 2505 (cit. Gomes e Aguilera, 1984) .
- TAVEIRA FERNANDES, C. (1954). A Castanha. Sua Importância Económica e Valor Alimentar. Separata das Publicações da D.G. dos Serviços Florestais e Agrícolas. Vol.XXI. Tomo II.
- TEIXEIRA, C. e J. PAIS, (1976). Introdução à Paleobotânica.: As grandes fases da evolução dos vegetais. Lisboa.
- THORN, W; MOHAZZERS, S. (1990). Molécular, weights, lenghts, and distribution of side-chains in α -D-Polyglucanes. *Starch/Starke* - **42** (10) - 373-376 Hamburg.
- VAN ZUILICHEM, D. J.; LAMERS, G. E STOLP, W. (1974). Influence of process variables on quality of extruded maize grits. Proc. Eur. Symp. Engineering and Food Quality, 6th, Cambridge (Cit. Colonna, Tayeb e Mercier, 1989).
- VAVILOV, (1950). The origin, variation, immunity, and breeding of cultivated plants. *Chronic Botanic*. Waltham.
- VAZ, M. (1988). Castanha – Situação do Mercado e Perspectivas. IROMA.

- VAZ, M. (1989). O Mercado Nacional e Mundial da Frutos Secos. IROMA.
- VICKERS, Z. (1979). Crispness and crunchiness of food. In: *Food Texture and Rheology*. P. Sherman (Ed.9. Academic Press. London. p. 33 (Cit. Brennan, 1988).
- VICKERS, Z. M. (1984). *J. Texture Studies*. 15: 49; 157 (Cit Brennan, 1988).
- VICKERS, Z. M. (1985). *J. Texture Studies*. 16: 85 (Cit. Brennan, 1988).
- VICKERS, Z.M. E BOURNE, M.C. (1976). *J. Food Sci.*, **41**: 1158. (Cit. Brennan, 1988).
- VICKERS, Z.M. E CRISTENSEN, C.M. (1980). *J. Texture Studies*. **11**: 291 (Cit. Brennan, 1988).
- VICKERS, Z.M. E WASSERMAN, S.S. (1980). *J. Texture Studies*. **10**: 319 (Cit. Brennan, 1988).
- VIEIRA, J.A.B.N. (1987). Toponímia de Portugal Continental ligada ao castanheiro. Encontro sobre soutos e castiçais. Castelo de Vide. Portalegre e Marvão. 15pp.
- WANG; S.S.; CHIANG, W.C.; ZHAO, B.; ZHENG, X.G. e KIM, I.H. (1991). Experimental Analysis and Computer Simulation of Starch Water Interactions during Phase Transition. *Journal of Food Science*. **56** (1): 121-124.
- WANISKA, R. e GOMEZ, M. (1992). Dispersion Behavior of Starch. *Food Technology*. **46** (6) : 112-123.
- WEN, LU-FANG; RODIS, P.e WASSERMAN, B.P. (1990). Starch Fragmentation and Protein Insolubilization During Twin-Screw extrusion of Corn meal. *Cereal Chem.* **67** (3) : 268-275.
- WHISTLER, R.L.; SPENCER, W.W.; GOATLEY, J.L. e NIKINI, Z. (1958). Effect of drying on the presence of cavities on corn starch granules. *Cereal Chem.* **35**: 331 (cit. Medcalf, 1973).
- WOLF, M.J. *et al* (1948). Comparison of corn starch granules at various stages of kernel maturity. *Cereal Chem.* **25**: 312 (cit. Medcalf, 1973).
- YOST, D.A. e HOSENEY, R.C. (1986). Annealing and glass transition in starch. *Stärke*. **38** : 289 (cit. Zeleznak e Hosenev, 1987).
- ZELEZNAK, K.J. e HOSENEY; R.C. (1987). The glass Transition in Starch. In: *Cereal Chemistry*, **64** (2) : 121-124.

ANEXOS

6 - A - Temp. = 185°C • Humidade = 16%
% castanha = 60



6 - B - Temp. = 175°C • Humidade = 14%
Veloc. paraf. = 170 r.p.m.



Figura 1 - Fotografias de Extrudidos: A - (% variavel de Castanha)
B - (100% de Castanha)

8 - A - Temp. = 185°C • Humidade = 12%
% castanha = 60



10 - B - Temp. = 175°C • Humidade = 14%
Veloc. paraf. = 220 r.p.m.



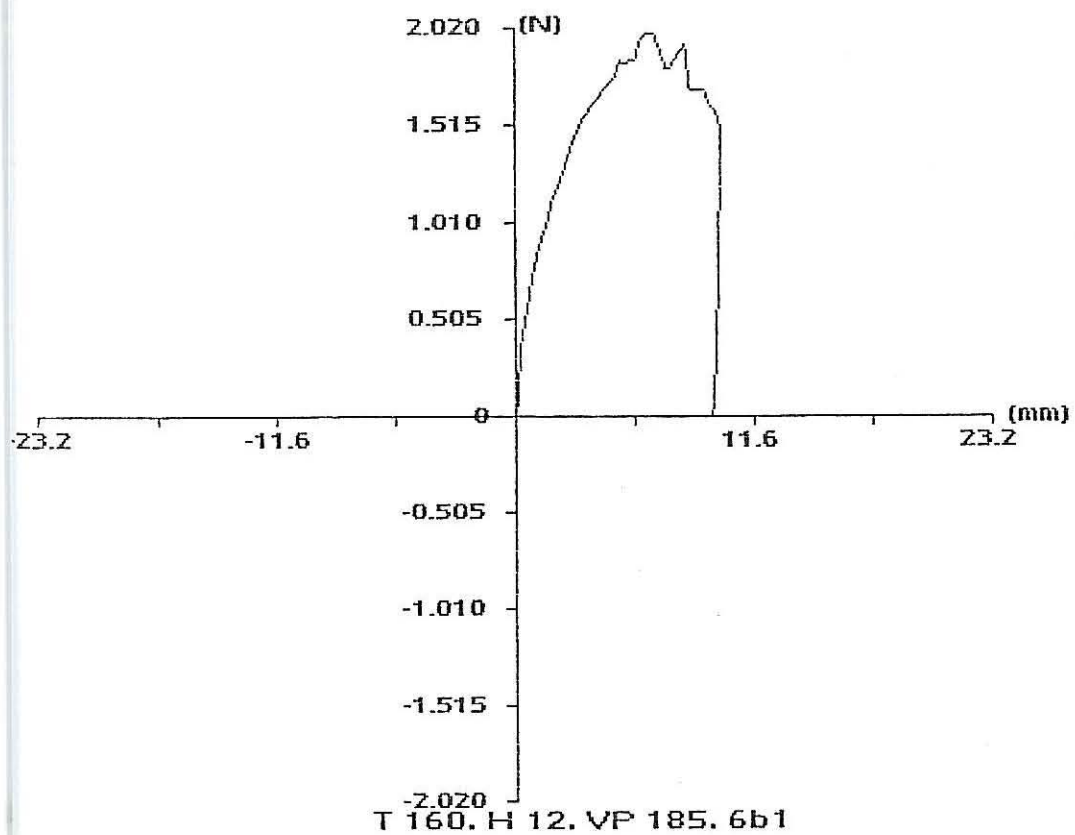
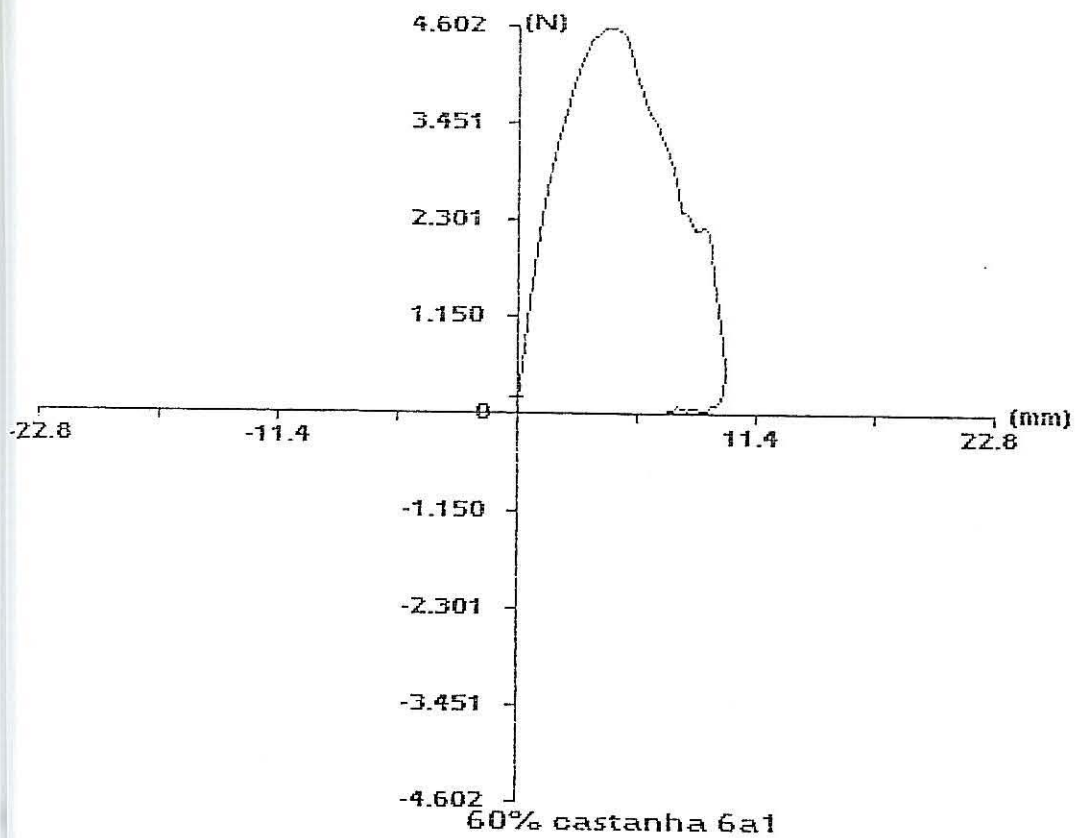


Figura 2 - Gráficos de textura do texturómetro TAX-T2: A -(% variavel de Castanha) B - (100% de Castanha)

Quadro I – Textura – Dados do Texturómetro TAX-T2

	Ensaio A – Extrudidos de milho + castanha															
	Pico (N)		Área (N.mm)		Largura da base (mm)		1º Gradiente N/m		2º Gradiente N/m		Pico (mm)		1/2 Altura E h/D (N)		1/2 Altura D h/D (N)	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
1	9,47	1,487	0,02	5,5E-3	6,619	2,479	4755,9	1024,2	-6588,9	4566,9	2,484	1,143	4,353	0,977	4,184	1,892
2	5,93	0,505	0,008	2,2E-3	4,825	1,915	3834	842	-7806,7	3765,3	1,685	0,404	2,687	0,3	1,856	0,792
3	5,89	0,842	0,021	9,8E-3	5,428	4,153	1465	346,8	-526,5	5714,9	2,936	0,668	2,935	0,536	1,858	1,463
4	3,72	0,694	0,024	3,5E-3	9,25	0,293	400,9	83,6	-588,6	226,9	5,94	1,236	1,85	0,381	1,829	0,325
5	6,67	1,244	0,011	3,5E-3	6,26	3,62	2758,9	421,2	-14561,9	14682,6	2,013	0,438	3,249	0,585	1,469	1,948
6*	4,3	0,397	0,02	6,5E-3	9,68	0,243	1476,9	1104,6	-958,4	748,2	2,809	1,504	2,121	0,175	2,104	0,213
7	2,74	0,68	0,11	5,1E-3	9,88	0,102	820,8	275,2	-909,2	482,4	2,416	0,735	1,443	0,408	1,315	0,351
8	3,3	0,319	0,17	3,4E-3	9,63	0,109	854,1	322	-617,1	399,1	2,979	0,749	1,559	0,214	1,604	0,214
9	0,34	0,053	2,1E-3	5,7E-4	9,48	0,094	43,2	21,2	-74,0	37,2	6,326	1,122	0,169	0,025	0,151	0,037
10	4,68	1,127	0,028	4,7E-3	8,59	1,384	2183,1	709,6	-5037,5	4221,1	2,078	0,569	2,219	0,576	1,429	0,908
11	0,55	0,183	3,9E-3	1,4E-3	9,5	0,202	92,2	38,2	-49,6	12,7	4,078	0,62	0,269	0,089	0,278	0,107
12	1,61	0,444	2,4E-3	4,5E-3	5,32	2,405	724,6	203,5	-3066,3	2693,2	1,848	0,201	0,832	0,207	0,477	0,522
13	0,84	0,379	9,9E-4	9,9E-4	5,88	3,164	740,1	351,3	-2043,6	1515	1,048	0,45	0,394	0,194	0,195	0,218
14	0,78	0,276	4,9E-3	2,6E-3	9,79	0,083	128,7	66,3	-99,3	49,6	4,589	1,575	0,39	0,138	0,379	0,146
15	0,36	0,132	2,4E-3	8,3E-4	9,69	0,302	58,4	30	-38,9	17,4	3,956	1,831	0,194	0,056	0,187	0,072

* Média dos valores dos pontos centrais

D.P – Desvio Padrão

Quadro II – Textura – Dados do Texturómetro TAX-T2

		Ensaio B – Extrudidos com 100% de castanha															
	Pico (N)		Área (N.mm)		Largura da base (mm)		1º Gradiente N/m		2º Gradiente N/m		Pico (mm)		1/2 Altura E h/D (N)		1/2 Altura D h/D (N)		
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	
1	3,93	0,98	0,026	7,1E-3	9,52	0,197	503,3	50,92	-471,5	190,9	5,22	0,852	1,87	1,87	1,91	0,59	
2	3,48	0,643	0,024	2,7E-3	9,28	0,44	450,9	47,5	-431,4	217,9	5,219	1,09	1,75	0,35	1,62	0,4	
3	3,08	0,48	0,019	3,2E-3	9,24	0,47	348	104,3	-467,2	212,6	5,817	1,3	1,54	0,21	1,4	0,28	
4	1,84	0,076	0,014	1,66	9,35	0,19	272,1	60,3	-175,9	40,8	4,573	0,87	0,95	0,06	0,89	0,14	
5	4,05	0,59	0,024	2,5E-3	9,6	0,2	581,4	134,5	-491,6	169,7	4,57	0,5	2,06	0,36	2,09	0,37	
6*	1,96	0,139	0,014	1,339	9,51	0,05	251,8	35,5	-177,6	58,2	4,916	0,57	1,01	0,07	1,08	0,26	
7	0,88	0,264	6,7E-3	1,2E-3	9,36	0,39	108,9	21,2	-107,2	47,8	5,184	0,8	0,45	0,13	0,44	0,15	
8	5,18	0,118	0,025	8,3E-3	3,29	8,39	846,5	150,1	-894,6	686,6	4,31	0,53	2,54	0,16	3,42	1,19	
9	3,45	0,346	0,031	0,021	9,45	0,38	422,7	64,1	-567,5	149,7	5,54	1,14	1,66	0,21	1,77	0,24	
10	4,14	0,496	7,5E-3	8,0E-4	2,67	0,45	815,6	139,8	-8041,9	6735,9	3,55	0,59	2,13	0,3	2,18	0,38	
11	1,56	0,187	1,0E-2	2,89E-4	9,31	0,15	144,4	22,9	-284,3	32,6	7,06	0,235	0,79	0,03	0,73	0,18	
12	0,58	0,116	3,8E-3	9,0E-4	9,63	0,105	67,3	14,7	65,8	24,1	5,93	0,72	0,28	0,06	0,3	0,05	
13	1,67	0,159	0,011	1,74E-3	9,42	0,172	187,3	31,5	-226,7	93,4	5,75	0,76	0,82	0,07	0,87	0,15	
14	0,9	0,35	2,6E-3	1,3E-3	6,58	4,096	355,8	287,2	-2093,1	2768,8	3,39	2,6	0,4	0,14	0,36	0,08	
15	1,3	0,28	8,9E-3	1,7E-3	9,47	0,228	144,8	24,7	-172,9	77,9	5,55	0,7	0,63	0,13	0,65	0,08	

* Média dos valores dos pontos centrais

D.P – Desvio Padrão

Quadro III – Taxa de Expansão

AMOSTRAS	Ensaio A (% variável de castanha)		Ensaio B (100% de castanha)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
1	1,67	0,07	1,73	0,83
2	2,8	0,054	1,6	0,045
3	1,73	0,083	1,67	0,061
4	1,87	0,055	1,53	0,042
5	1,95	0,09	1,77	0,044
6*	1,67	0,1	1,1	0,027
7	1,73	0,084	0,97	0,022
8	1,73	0,083	1,9	0,026
9	1,67	0	1,57	0,026
10	2,4	0,083	1,7	0,02
11	1,07	0,044	1,43	0,027
12	1,27	0,045	1,1	0,027
13	2,33	0,09	1,4	0,027
14	0,8	0,055	1,1	0,027
15	1	0,089	1,3	0,042

FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL

LABORATÓRIO FERREIRA LAPA
ANÁLISE SENSORIAL

.....
Nome:

Data: ___/___/___
.....

O produto em avaliação foi elaborado a partir de castanha ou de castanha e milho, sem quaisquer outros ingredientes.

Prove cada uma das amostras e responda para cada um dos atributos sensoriais na ordem em que eles estão na ficha.

As amostras devem ser provadas na sequência indicada que é aleatória e, portanto diferente de provador para provador.

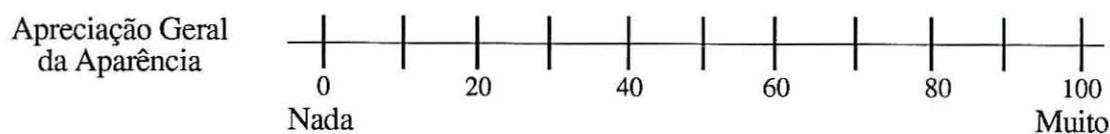
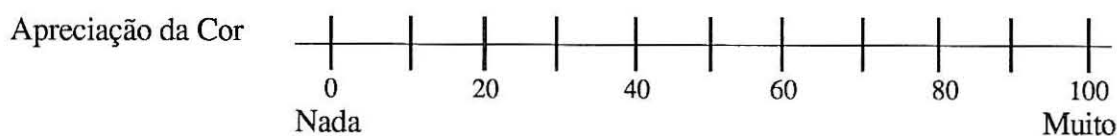
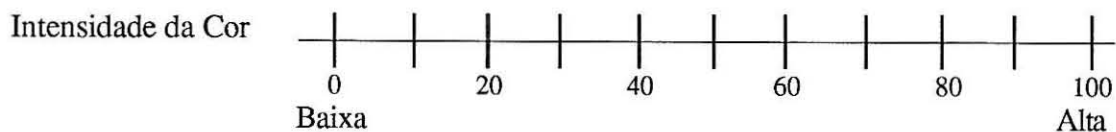
Na linha horizontal correspondente a cada atributo marque um traço vertical, no ponto que melhor traduz a intensidade desse atributo.

Após provar cada amostra passe a boca por água e se quiser trinke uma maçã.

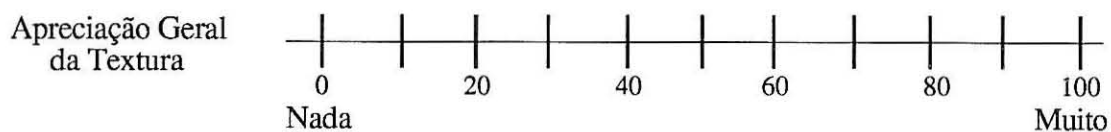
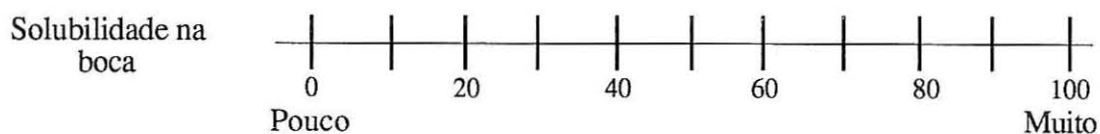
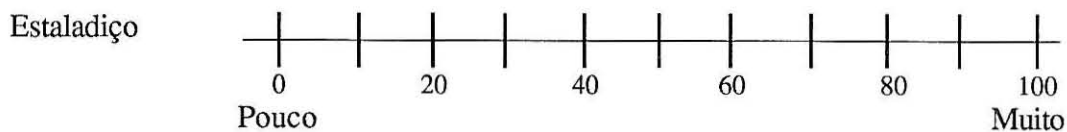
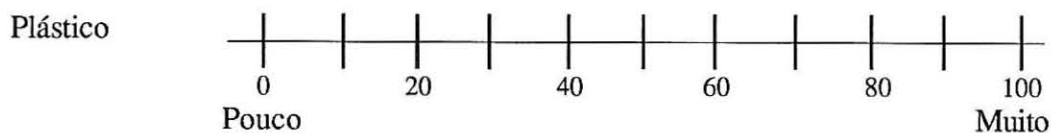
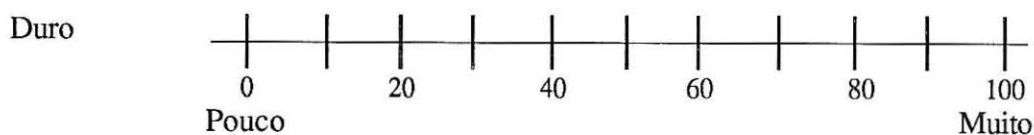
Se tiver dúvida peça esclarecimento.

Nº _____

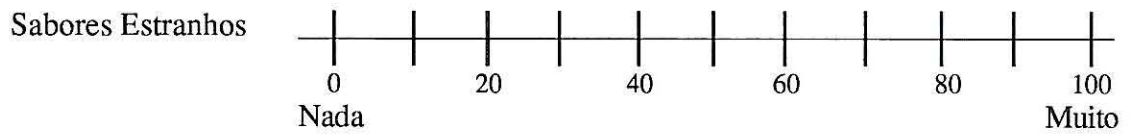
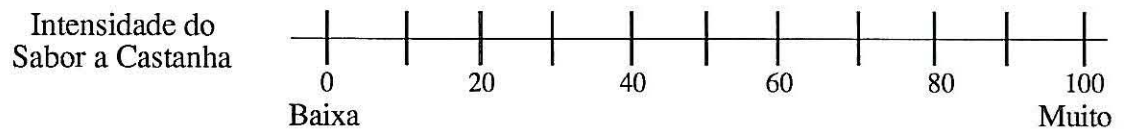
APRECIÇÃO VISUAL



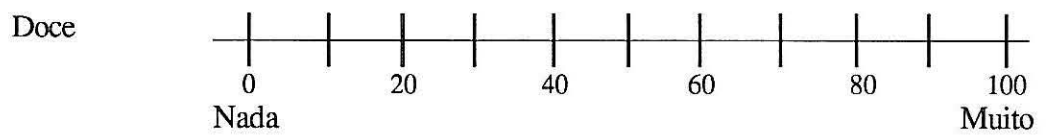
APRECIÇÃO DA TEXTURA



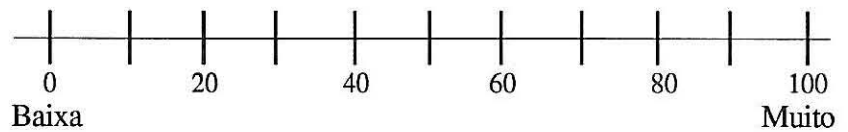
APRECIÇÃO DO SABOR



Qual ou Quais? _____



APRECIÇÃO GLOBAL



Quadro IV – Análise Sensorial de Extrudidos. Valores médios de 7 Provedores. Ensaio A – % variável de castanha.

Amostra	Apreciação da cor			Apreciação da Textura					Apreciação do sabor				Apreciação Global
	Intens. da cor	Aprec. da cor	Aprec. Geral da Aparênc.	Duro	Plástico	Estaladiço	Solubil. na boca	Apr. Geral da Textura	Intens. do sabor a castanha	Sabores estranhos	Quais?	Doce	Aprec. Global
1	55,7	44,3	49,3	55	48,3	47,2	31,4	40,7	58,6	16		54,3	59,3
2	80,3	85,4	90	20,5	5,6	80	70	80,6	30,5	-	-	20,3	65,2
3	60,5	65,1	65,4	35,8	40,6	20,7	30	40	50,5	-	-	60	55,5
4	50,6	55	60,4	45,6	45,5	30,5	35,5	40,5	56,2	47,1	Cer./Milho	60	52,5
5	65,3	70	70	35,5	46,5	20	20	40,2	36,3	-	-	30	50
6*	65,2	75	80	40	15	85	50	70,5	50	-	-	55,5	75,5
7	65	47,5	45	58,75	32,5	55	20	35,5	31,25	40	Am./Mass.	30	38,75
8	65,5	63	65	10	5	85	77,5	80	42,5	-	-	40	65
9	60	45	50,5	40	30,5	55	50,5	65	85,5	-	-	60	70
10	56,2	57,5	55	40	20	66,25	70	65,5	20	33,75	F.Pr./M./C.	16,25	47,5
11	27,5	20	30	40	5	50,5	45	40	27,5	-	-	35,5	40,5
12	25,5	45	45,5	15	40	70	65	60	42,5	-	-	42,5	57,5
13	46,7	48,3	45,8	26,2	17	71,25	66,25	26,25	66,25	13	M./Pão/Far./	12	50
14	20	15	5	35	10	50	55,5	20	40	5	Amargo	30	30
15	35	25	27	45	10	80	70	50	50	-	-	50	55

* Média dos valores dos pontos centrais

Quadro V – Análise Sensorial (Ensaio B (100% de castanha). Valores médios de 7 Provedores.

Amostra	Apreciação da cor			Apreciação da Textura					Apreciação do sabor				Apreciação Global
	Intens. da cor	Aprec. da cor	Aprec. Geral da Aparênc.	Duro	Plástico	Estala- diço	Solubil. na boca	Aprc. Geral da Textura	Int. do sabor a castanha	Sabores estranhos	Quais?	Doce	Aprec. Global
1	43,3	63,3	53,5	80	15	60	57,5	48,3	60	17	Amarg/Ól.	65	43,3
2	35	30	45	50	15	50	45	45	45	-	-	35	35
3	30	45	50	62,5	5	70	70	77,5	60	-	-	50	72,5
4	55	22,5	26,6	83	63	18,3	21,6	21,6	42,5	10,3	-	60	28,3
5	50	40	30	60	15	55	40	40	35	15	-	30	40
6*	22,5	35	37,5	62,5	12,5	72,5	77,5	62,5	55	-	-	35	65
7	62,5	37,5	17,5	50	80	5	30	15	40	20	Óleo	80	15
8	30	45	20	55	15	50	40	55	40	10	Amargo	37,5	40
9	32,5	32,5	50	55	15	55,5	37,5	50,5	70	-	-	45,5	45,5
10	50	50	50	75	5	75,5	55	55	55,5	15	Amargo	55	60
11	37,5	40	40	55	20	55	40	55	55	5	-	50	55
12	37,5	47,5	47,5	50	5	75	75	80	57	-	-	62	70
13	60	47,5	50	55	7	80	80	80	55	-	-	60	65,5
14	50	35	25	35	20	50	30	30	25	30	Amargo	30	25
15	35,5	40,5	50	45	7	75,5	70	75,5	60	-	-	25	75

* Média dos valores dos pontos centrais

