UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

EFEITO DE ALGUNS PARÂMETROS OPERACIONAIS DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA FARINHA DE INHAME *(Dioscorea rotundata)*.

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por LEONARD SEBIO e aprovada pela Comissão Julgadora em 31.07.96.

PROF. DR. YOON KIL CHANG
Presidente da Banca

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas pelo Engenheiro de Alimentos **Leonard SEBIO** para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia de Alimentos sob a orientação do **Prof. Dr. Yoon Kil CHANG.**

Campinas, julho de 1996

BIBLIOTECA CENTRAL

UNIDADE BC
N.º CHAMADA:
T/UNICAMP
Se22e
V. Ex.
TOMBO BC/ 28572
PROC. 667/96
C [ ] D [x]
PREÇO R$ 11,00
DATA 13/09/96
Nº CPD

CM-00091625-9

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

Sebio, Leonard
Se22e Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propiedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*) / Leonard Sebio. -- Campinas, SP: [s.n.], 1996.

Orientador: Yoon Kil Chang
Dissertação de (mestrado)-Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Raizes. 2.Inhame. 3.*Extrusão. 4.*Propiedades funcionais. 5.*Propiedades físicas. 6.Superfície de resposta - metodologia. I.Chang, Yoon Kil. II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

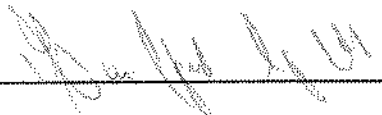
BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Yoon Kil CHANG

(Orientador)

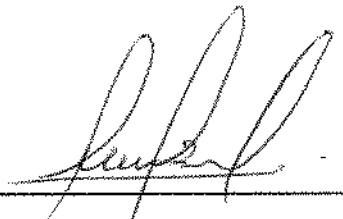
Prof. Dr. Ahmed A. El-DASH

(Membro)



Prof. Dra. Maria Aparecida A. P. da SILVA

(Membro)



Dr. José Luis ASCHERI

(Membro)

Campinas de julho 1996

"A essência do saber é, em o tendo,
aplicá-lo em proveito da sociedade."

CONFÚCIO, (551- 479 A.C.)

Ao meu pai Moïse Codjo (*in memorium*)
À minha mae Akolègon
Aos meus irmãos
À tribo Adja
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Yoon Kil CHANG pela orientação precisa, confiança, solidariedade, compreensão, amizade e apoio incondicional.

Aos demais membros da banca examinadora pelas correções e sugestões apresentadas à versão inicial do trabalho.

À CAPES pela bolsa de estudo outorgada durante a realização do trabalho.

Ao FAEP pelo auxilio financeiro na compra de matéria-prima e concerto de equipamentos.

À Nestlé Novalgin Fabrique Yopogon (Costa de Marfim) pelo fornecimento de "Bonfoutou".

À Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) através de sua direção, biblioteca e coordenadoria pelas condições oferecidas para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) através de seus corpos docentes pela qualidade do ensinamento e aos funcionários em especial Srs Marlene, Cosme, Marçal pelos excelentes serviços a mim prestados

Aos funcionários de Laboratório de cereais, Helena, Kelly, Nilo, José, Daniel e demais como Valdeci e Edevan pela valiosa colaboração e boa convivência.

Aos amigos Joaquim Lira e José Ricardo que se ofereceram espontaneamente para a correção e arte final do trabalho.

Aos amigos Acaiene, Inayé , Manaïra e Haydee Dourado pelo incentivo.

Aos colegas da Pós-graduação da FEA em especial do Laboratório de Cereais como Maria Teresa pelas sugestões, bom relacionamento e trocas de conhecimentos mútuas.

Ao amigo Antoine Amon FOBA e família pelo apoio moral e incentivo.

A todos os que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

ÍNDICE I
ÍNDICE DE TABELAS IV
ÍNDICE DE FIGURAS V
RESUMO VII
SUMMARY IX
1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
2.1 DESCRIÇÃO BOTÂNICA E VARIEDADES. 3
2.2 PRODUTIVIDADE E CONSUMO. 5
2.3 ASPECTOS BIOQUÍMICOS E NUTRICIONAIS 6
2.3.1 Propriedades do amido de D. rotundata 9
2.3.2 Efeito do cozimento sobre os nutrientes nas raízes e tubérculos 12
2.4 PROCESSAMENTO TECNOLÓGICO 15
2.5 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO E DO PROCESSO. 17
2.5.1 O Extrusor 17
2.5.2 O Processo 18
2.6 EXTRUSÃO E AS MODIFICAÇÕES FISICO-QUÍMICAS 22
2.6.1 O Amido 22
2.7 A EXTRUSÃO E O VALOR NUTRICIONAL 29
2.7.1 As proteínas 29
2.7.2 O amido 30
2.7.3 Os lipídeos 30
2.7.4 As vitaminas 31
2.7.5 As fibras e os minerais 31
3. MATERIAL E MÉTODOS 32
3.1 MATERIAIS 32
3.1.1 Matéria prima 32
3.1.2 Reagente: 32
3.1.3 Equipamentos e Aparelhos. 32

3.2 MÉTODOS 33
3.2.1 Análises Físicas 33
3.2.2 Composição centesimal 33
3.2.2.1 Umidade 33
3.2.2.2 Proteína bruta 33
3.2.2.3 Lipídeos 33
3.2.2.4 *Cinzas* 33
3.2.2.5 Fibras 34
3.2.2.6 Carboidratos 34
3.2.3 Preparação da matéria- prima 35
3.3 PROCESSAMENTO 37
3.3.1 Parâmetros variáveis 37
3.3.2 Parâmetros fixos 37
3.4. OBTENÇÃO DA FARINHA DE INHAME EXTRUSADA 39
3.4.1 Processo 39
3.4.2 Processamento 40
3.5.2 Índice de Absorção de Água (IAA) 41
3.5.4 Índice de Solubilidade em Água (ISA) 42
3.6 CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS 42
3.6.1 Índice de expansão (IE) 42
3.6.2 Dureza do extrusado. 42
3.6.3 Densidade Aparente: 43
3.6.4 Cor : 43
3.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 44
3.7.1 Análise estatística das características do inhame extrusado 44
4. **RESULTADOS E DISCUSSÃO** 48
4.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA CENTESIMAL 48
4.2 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DA FARINHA CRUA DE INHAME 49
4.2.1 Viscoamilograma da farinha crua. 49

4.3 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS FUNCIONAIS DOS EXTRUSADOS 51
4.3.1 Viscoamilograma dos extrusados 51
4.3.2 Viscosidade Inicial da pasta (VI 30) 53
4.3.3 Viscosidade da pasta a quente (V95) 58
4.3.4 Viscosidade da pasta no resfriamento (V50) 62
4.3.5 Índice de Absorção de Água (IAA) 66
4.3.6 Índice de Solubilidade em Água (ISA) 70
4.4 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS FÍSICAS DOS EXTRUSADOS 74
4.4.1 Aparência dos extrusados 74
4.4.2 Índice de Expansão 76
4.4.3 Densidade Aparente (DAP) 80
4.4.4 Relação entre Índice de Expansão e Densidade Aparente 84
4.4.5 Dureza 86
4.4.6 Cor da farinha extrusada 90
5- **CONCLUSÃO** 94
6. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** 96

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela-1: Algumas espécies de *Dioscorea spp.* economicamente viáveis. 4

Tabela-2: Composição centesimal de algumas especies de inhame. 7

Tabela-3: Composição nutricional de 100 gramas de alguns tubérculos e raízes mais populares 9

Tabela-4: Rendimento de extração e características de amido de *D.rotundata* 10

Tabela-5: Propriedades da viscosidade de amido de seis cultivares de *D.rotundata* 11

Tabela-6: Efeito da cocção sobre os nutrientes do inhame (base úmida) 15

Tabela-7: Fatores e níveis de variação 46

Tabela-8: Delineamento experimental empregado no processo de extrusão da farinha de inhame e seus valores codificados e reais. 47

Tabela-9 Composição química centesimal da farinha de inhame * 48

Tabela-10: Resultados experimentais obtidos nas condições de extrusão. 52

Tabela-11: Equação, Análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para VI30. 54

Tabela-12 Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para V95 59

Tabela-13: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para V50 63

Tabela-14: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para IAA. 67

Tabela-15: Efeitos das variáveis independentes no IAA 69

Tabela-16: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para ISA. 71

Tabela-17: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para IE. 77

Tabela-18: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para DAP 81

Tabela-19: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para DUR. 87

Tabela-20: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para DCO. 92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura-1: Características morfológicas de algumas espécies de *Dioscorea spp* 4

Figura-2: Relação entre os parâmetros do processo, do sistema, da estrutura e os parâmetros desejados na cocção por extrusão..... 21

Figura-3: Decomposição térmica de amido em unidade de 1,6 anidroglucose.....

Figura-4: Fluxograma da obtenção da farinha de inhame.....

Figura-5: O extrusor mono rosca Brabender usado nos experimentos. 38

Figura-6: Fluxograma do processamento por extrusão da farinha de inhame 39

Figura-7: Curva viscoamilográfica da farinha de inhame crua..... 50

Figura-8: Influência das variáveis de extrusão na VI30 do produto:
(a)- Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 125 rpm;
(b)- Efeito da umidade e da rotação à temperatura de125°C. 57

Figura-9: Influência das variáveis de extrusão na V95 do produto:
(a)- Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 150 rpm;
(b)- Efeito da umidade e da rotação à temperatura de 125°C. 61

Figura-10: Influência das variáveis de extrusão na V50 do produto:
(a)- Efeito da umidade e da temperatura à rotação de 150 rpm;
(b)- Efeito da temperatura e da rotação à umidade de 22 %..... 65

Figura-11: Influência das variáveis de extrusão no ISA do produto:
(a)- Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 150 rpm;
(b)- Efeito da umidade e da rotação à temperatura de 125°C. 73

Figura-12: Aparência dos extrusados nas diferentes condições do processo. 75

Figura-13: Influência das variáveis de extrusão no IE do produto:
(a)- Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 150 rpm;
(b)- Efeito da umidade e da rotação à temperatura de 125°C. 79

Figura-14: Influência das variáveis de extrusão na DAP do produto:
(a) - Efeito da umidade e da temperatura à rotação de 150 rpm;
(b)- Efeito da umidade e da rotação à temperatura de 125°C. 83

Figura-15: Influência das variáveis de extrusão na relação IE/DAP:
(a)- Efeito da umidade; (b)- Efeito da temperatura..... 85

Figura-16: Influência das variáveis de extrusão na dureza do produto:

(a)- Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 150 rpm;

(b)- Efeito da umidade e da rotação à temperatura de 125°C. 89

Figura-17: Influência das variáveis de extrusão na diferença de cor (ΔE) do produto:

(a)-Efeito da temperatura e da rotação à umidade de 22 %;

(b)- Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 150 rpm.. 93

RESUMO

As raizes constituem uma importante fonte de alimentos energéticos para milhões de povos nas regiões tropicais e subtropicais do planeta. Entre as raizes mais populares, o inhame *(Dioscorea Rotundata)* é depois da mandioca, o mais consumido por varios habitantes nos paises em via de desenvolvimento. A produção vem crescendo nos últimos anos, razão pela qual esta planta vem merecendo atenções à nível de pesquisas científicas e tecnológicas .

Neste trabalho o tubérculo de inhame foi descascado, cortado, secado e moido afim de se obter uma farinha com umidade em torno de 9%. A farinha obtida é basicamente constituida de 82,7% de amido 7,8% de proteínas e 3,3% de fibras (base seca). A viscosidade da farinha de inhame analizada no amilógrafo Brabender apresentou uma alta estabilidade, e uma resistência à ação mecânica durante o cozimento e uma tendência fraca à retrogradação.

A farinha, após condicionamento à diversas umidades, foi submetida ao processo de extrusão termoplástica com objetivo de estudar os efeitos de algumas variáveis operacionais de extrusão nas propriedades funcionais do material amiláceo extrusado com intuito de identificar as melhores condições de processo para uma determinada aplicação.

Empregou-se a metodologia de superficie de resposta para estabelecer modelos matemáticos preditivos para as propriedades estudadas. Utilisou-se portanto um fatorial incompleto 3^3 de 3 níveis e 3 variáveis independentes: temperatura (100 a 150°C); umidade inicial (18 a 26 %); e rotação da rosca (100 a 200 rpm). As respostas obtidas das combinações dos 3 fatores foram analisadas na viscosidade inicial (VI) a 30°C; na viscosidade a quente (V95) a 95°C; na viscosidade no resfriamento (V50) a 50°C; na dureza do produto extrusado (DUR), no Índice de expansão (IE), nos Índices de Solubildade em Água (ISA) e de Absorção de Água (IAA); na cor das farinhas extrusadas obtidas usando a diferença de cor (ΔE) a partir dos componentes Hunter (L* a* b) e na densidade aparente (DAP).

A Viscosidade Inicial (VI30) mostrou-se dependente das trés variáveis estudadas e aumentou consideravelmente com o aumento da temperatura e da umidade. As temperaturas e umidades relativamente altas produziram os valores máximos de VI30. A rotação da rosca e a umidade teve grande influência na viscosidade a quente (V95) enquanto as trés variáveis contribuiram significativamente na viscosidade no resfriamento (V50).

As três variáveis, em análise quantitativa influênciaram no IAA pois para seus valores altos corresponderam os altos valores do IAA. Valores altos da rotação da rosca e da temperatura proporcionaram valores altos para a ISA.

Quanto às características fisicas, obsrevou-se que à alta temperatura, quanto menor a umidade, maior o Indice de expansão (EI). A textura sofreu mais influência da temperatura e sobretudo da umidade pois elas interferem diretamente na dureza (DUR) do produto extrusado que é um indicativo importante nas características de textura de um "snacks". Para os valores intermediários das três variáveis observou-se os valores mais altos de dureza. Alto valores da umidade provocaram um aumento na densidade aparente (DAP) enquanto que altas temperaturas diminuiram os valores da densidade aparente. A temperatura e a umidade tiveram influência significativa na cor pois às baixas temperatura e umidade observou-se os valores mais baixos da Diferença de Cor (DCO) o que indica tratamento brando do material amiláceo extrusado e às temperatura e umidade elevadas, observou-se maior Diferença de Cor em relação ao padrão (farinha crua).

Com os resultados obtidos das combinações estudadas no processo de extrusão, fica estabelecido a possibilidade de se utilizar a farinha de inhame *D.Rotundata* para a produção de alimentos prontos para consumo (RTE), cereais matinais e farinhas pregelatinizadas para preparo de diversos alimentos.

SUMMARY

Yam *(Dioscorea rotundata)* is among those tropical root crops which are efficient producers of calories. In terms of food security and utilization, it is basically constituted of carbohydrate of which the most important component is starch. Although it varies from variety to variety, the protein content is similar to that of the potato, about 2% (wb).

Thus the production of yam has steadily increased over the last few years in the main production zones, due to the increasing use by the food and pharmaceutical industries.

Thus, in this work raw yam *(D. rotundata)* flour was extruded to modify its functional, physical and chemical properties for food and industrial applications using laboratorial Brabender single screw extruder.

Surface response methodology through an incomplete factorial design 3^3 i.e 3 levels and 3 fators or variables was used to evaluate the effects of the extruder barrel temperature (100, 125, 150°C), moisture content (18, 22, 26%) and screw speed (100, 150, 200 rpm).

With respect to the results obtained, the Inicial Viscosity (IV30) of the extruded slurries increased at higher extrusion temperatures and moisture contents. Moisture content was also the factor which most influenced the hot viscosity (V95) whilst all of the 3 variables influenced the cold viscosity (V50). However higher values of 3 variables resulted in greater absorption (WAI). Moisture content had a less significant influence on the water solubility (WSI).

The physical properties of the extruded product showed that at high temperature, the lower the moisture content, the greater the expansion index (EI). Hardness was influenced directly by moisture content and inversely influenced by extrusion temperature. An increase in the moisture content increased the product density, but high temperature decreased the product density. It was clear that with an increase in barrel temperature, the color difference increased between the product and the raw material.

These data offer the combined process conditions of the 3 variables used for the production of RTE cereals, breakfast cereals, and instant pre-gelatinized flour, as well as for several fields of industrial application.

1. INTRODUÇÃO

Embora os cereais representem a principal fonte de carboidratos para a maioria da população mundial, os tubérculos e as raízes constituem também uma importante fonte de alimentos energéticos para milhões de povos, sobretudo nas regiões tropicais e subtropicais do planeta. Entre as raízes e tubérculos mais populares, o inhame (*Dioscorea spp*) é depois da mandioca o mais consumido por vários habitantes dos países em desenvolvimento (DAVIDSON *et al*, 1979).

O seu cultivo ocorre em larga escala em três áreas específicas no mundo: África Ocidental, ilhas do Caribe e partes adjacentes da América Tropical e Sudeste Asiático, incluindo parte da China, do Japão e a Oceania. A Nigéria, na África, é a maior produtora mundial com uma produção estimada em 14,8 milhões de toneladas, correspondendo a 62,4% da produção mundial, o que equivale a 24 milhões de toneladas segundo os dados da FAO (1991).

MARTIN e SADIK (1977) descreveram a importância do inhame na vida econômica, cultural e social de certos povos e o potencial da contribuição que algumas espécies desse alimento trazem como recurso alimentar para os países tropicais como o Brasil, especialmente no Nordeste. Um dos maiores problemas que contribuem para o menor aproveitamento das raízes em geral é o conhecimento incompleto de seus atributos em termos de qualidade nutricional, já que elas são pobres em proteínas. No Brasil por exemplo, há muito poucas pesquisas e publicações sobre o inhame (comumente chamado de cará) pois é produzido somente para consumo caseiro e não representa importâncias comercial e industrial significativas apesar do seu cultivo se adaptar perfeitamente às diversas regiões do país e às suas boas características como alimento energético. Para CHAN *et al.* (1977), seu uso é recomendado como substituto de cereais para crianças alérgicas. LEON (1975), defendeu o inhame no " *Ad Hoc* Panel of the Advisory Committee on Technology Innovation - National Academy of Science" como sendo uma das raízes tropicais de valor econômico mais promissor.

A produção de inhame, contudo, vem crescendo cada vez mais nos últimos anos nas grandes zonas produtoras devido ao seu aproveitamento pelas indústrias alimentícia e farmacêutica. Considera-se de suma importância, em razão do crescimento demográfico e da produtividade, desenvolver novas tecnologias apropriadas ao processamento do inhame em escala industrial com o intuito de estimular economicamente as regiões produtoras.

Para tanto, muitos dos sistemas tradicionais de processamento foram aperfeiçoados e, em muitos casos, mecanizados. Mas quando se pensa em aperfeiçoar os métodos tradicionais ou introduzir tecnologias avançadas é importante assegurar-se que:

-A necessidade tenha sido identificada corretamente,

-Exista à disposição da comunidade perícia apropriada (condição sócio-econômico, comercialização, etc).

De fato, o processamento industrial mais comum para inhame é o uso da técnica dos rolos secadores ou "Drum Dryer". É uma técnica que carece de métodos característicos de controle de processo para a pré-gelatinização da farinha de inhame e acaba tornando oneroso o custo final da produção. No entanto, o processo de extrusão, bem elaborado, tem sido aplicado com eficiência e sucesso na obtenção de produtos amiláceos pré-gelatinizados usando como matérias-primas, os cereais (grits e farinhas de milho, de trigo, sorgo e arroz). Mas quanto às raízes e tubérculos, somente a mandioca e a batata foram mais pesquisadas nesse processo. No que diz respeito especificamente ao inhame , praticamente nenhuma citação bibliográfica foi feita até o inicio dos anos 90 com relação à sua extrusão.

Assim, os objetivos principais desta pesquisa foram o de avaliar o efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão termoplástica sobre as características físico-químicas da farinha de inhame e a otimização do processo na obtenção de produtos extrusados de inhame tanto na forma de "snacks" quanto na forma de farinha instantânea para uso na alimentação humana.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DESCRIÇÃO BOTÂNICA E VARIEDADES.

O inhame é uma raiz amilácea cultivada desde a antigüidade. É da família das *Dioscoreaceas* que agrupam centenas de espécies de *Dioscorea spp* e foram domesticadas por causa de seus rizomas ricos em carboidratos, vitaminas e sais minerais. Elas são classificadas como monocotiledones por certos autores, mas vários estudos de seus aspectos morfológicos mostraram que são tipicamente dicotiledones. Fazem parte dos mais primitivos dos angiospermas, como afirma BURKILL (1960). As espécies asiáticas, africanas e americanas são distintas morfologicamente umas das outras. É uma planta perene marcada por um ciclo anual de crescimento e dormência e que não cresce a uma temperatura abaixo de 10°C. Seu crescimento é bastante prejudicado quando exposto a uma temperatura excessivamente alta associada a uma seca prolongada, salvo algumas exceções relativas às variedades. A distribuição anual adequada de chuva para as espécies economicamente viáveis se situa em torno de 1100mm/ano. Mas a extensão e a regularidade da chuva são fatores muito mais importantes para a sua rentabilidade. As espécies podem se adaptar aos solos brejentos ou encharcados , às vezes com cultivares altamente tolerantes às regiões litorâneas bem como podem se desenvolver em terras altas e secas desde que a água seja providenciada por irrigação (BURKILL, 1960).

De modo geral cerca de 50 a 60 espécies de *Dioscorea* são usadas como planta alimentícia. A maioria delas são de características regionais e de menor importância. Somente um número menor é efetivamente considerado como fonte alimentícia significativa. A maior parte da produção mundial para este fim provém de quatro espécies que são as seguintes: *Dioscorea rotundata, Dioscorea cayenensis, Dioscorea alata,* e *Dioscorea esculenta* (MARTIN & SADIK, 1977). A **Tabela-1** mostra algumas espécies economicamente viáveis e seus cultivos pelo mundo e a **Figura-1** mostra características morfológicas de certas espécies.

Tabela-1: Algumas espécies de *Dioscorea spp.* economicamente viáveis.

REGIÕES	ESPÉCIES ECONOMICAMENTE VIÁVEIS
ÁFRICA	*D. rotundata - D. cayenensis - D. bulbifera*
AMÉRICA	*D. rotundata - D. trifida - D. esculenta*
ÁSIA	*D. alata - D. esculenta - D. bulbifera*

Fonte: MARTIN & SADIK, (1977)

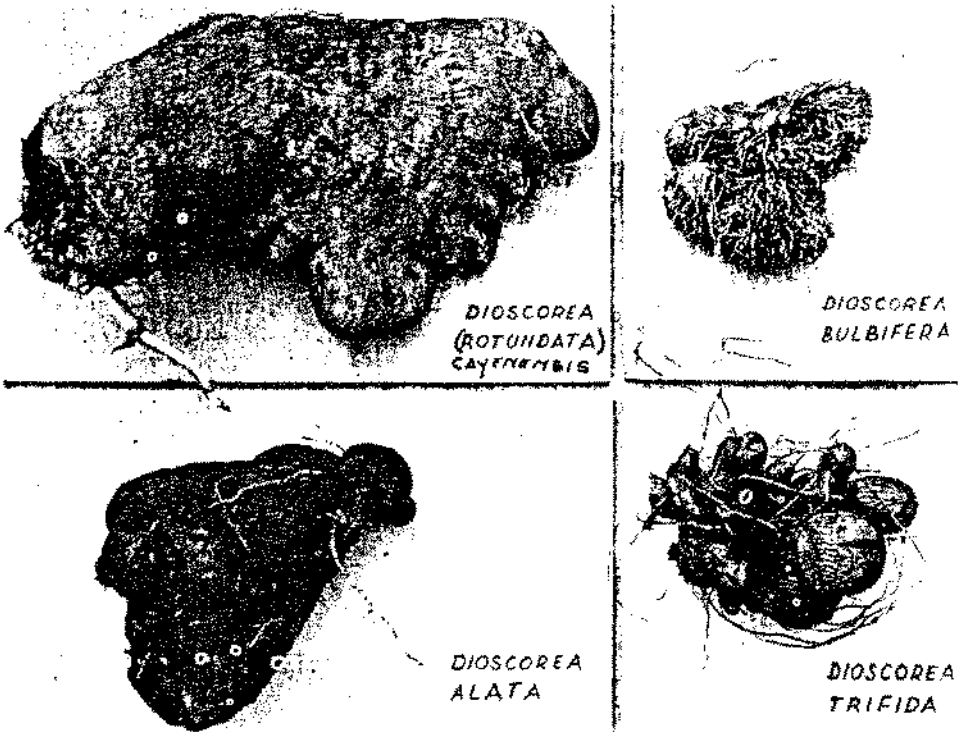


Figura-1: Características morfológicas de algumas espécies de *Dioscorea spp.*

MARTIN & SADIK (1977) mencionaram que certas espécies originais de uma região geográfica podem migrar para outra região do planeta por intermédio de movimentos populacionais. COURSEY & MARTIN (1970) reportaram que algumas espécies de *Dioscorea* são empregadas para fins medicinais como fontes de precursores para cortizonas e drogas esteróides. Outros autores na mesma linha de pensamento indicaram os seus usos ocasionais na medicina caseira.

2.2 PRODUTIVIDADE E CONSUMO.

O inhame era considerado como um produto da agricultura de subsistência até três décadas atrás quando começou a aparecer, embora em pequena escala, a sua produção comercial. A produtividade varia significativamente de acordo com as espécies, cultivares e condições de cultivo. Na África Ocidental, a produtividade é de 7,5 a 18,0 ton./ha; no Caribe é de 12,5 a 25,0 ton./ha; no Sudeste Asiático, de 20,0 a 30,0 ton./ha, como revelaram COURSEY & MARTIN (1970). Segundo os dados da FAO (1991), o Brasil, considerando as Américas do Norte, Central , do Sul e as Ilhas Caribe, se destaca como um dos maiores produtores com uma area cultivada estimada em 24.000 ha e produtividade de 9.150 kg/ha. A produção anual é de 215.000 ton.

Os cuidados fundamentais para o armazenamento do inhame são diferentes em relação às outras raízes e tubérculos que, quando plantados em regiões de clima frio, necessitam ser colhidos no fim do verão e estocados durante o inverno para ser protegido do frio. Como se trata de uma planta de zona tropical, a maior precaução é com uma alta temperatura e a providência de uma ventilação adequada para seu armazenamento que pode durar meses, sem grandes alterações fisico-químicas. A irradiação gama e a refrigeração prolongam a estabilidade do produto durante o armazenamento; mas nenhuma dessas técnicas é economicamente viável.

Algumas variedades de inhame podem ficar armazenadas por até 6 meses à temperatura ambiente. Existem sistemas tradicionais de armazenagem bem desenvolvidos nas regiões de maior produção de inhame. É bastante consumido em países da Asia do Pacífico como substituto do arroz; e quando desidratado sob forma de farinha, pode ser

aproveitado na produção de sopas, biscoitos, pães, bebidas, pudins, etc. No Caribe, o inhame é amplamente consumido na forma de uma pasta fermentada denominada "poi".

Tradicionalmente na África Ocidental , o inhame desempenha um papel cultural muito preponderante. Por exemplo, nas zonas de maior produção, é costume proibir à comunidade comer as primeiras colheitas antes que se realize o "Festival do Inhame" que é uma cerimônia que inaugura a nova safra. Geralmente a raiz é preparada para o consumo usando-se métodos muito simples como: cozimento, assamento ao forno, grelhagem ou fritura. O produto mais popular e de maior consumo processado industrialmente é o "Futu" que é a pré-gelatinização da farinha de inhame para se fazer uma massa compacta que serve de refeição acompanhada de molho de carne. Preferem-se certas variedades para fazer o "Futu" devido à qualidade e consistência da massa. As variedades mais usadas nesse caso são a *Dioscorea rotundata* e a *Dioscorea alata.* Pelo método caseiro, faz-se o "Futu" cozinhando-se moderadamente o inhame descascado e cortado em pedaços e em seguida socado em pilão até obtenção de uma massa compacta , consistente e lisa.

2.3 ASPECTOS BIOQUÍMICOS E NUTRICIONAIS

O inhame é essencialmente um alimento à base de carboidrato e o mais importante constituinte dessa raiz é o amido*.

A importância do papel do inhame foi apontada por TANAKA (1970) que avaliou mais de 160 espécies comestíveis de *Dioscorea* pelo mundo inteiro. Vários estudos posteriores procuraram focalizar a composição bioquímica dessas raízes e o potencial de seus valores nutritivos. KETIKU & OYENUGA (1970) determinaram o conteúdo de açúcar total, amido, amilose e amilopectina em *D. rotundata.* KOUASSI *et al.* (1984) identificaram e mediram a taxa de glucose, frutose e sacarose em *D. rotundata* e *D alata* e verificaram a presença de maltose e hexoses em *D. esculenta.*

* De acordo com a resolução 12/19 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA) do Brasil, faz-se uma diferença de nomenclatura entre amido e fécula.
- O amido seria o produto amiláceo extraido das partes aéreas comestíveis dos vegetais (sementes, etc).
- A fécula seria o produto amiláceo extraido das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais (tubérculos, raizes).
Por via dos fatos não existe diferença bioquímica entre amido e fécula. Para tanto, usa-se o termo amido de uma maneira geral.

COURSEY & AIDOO (1966) conferiram o conteúdo de vitamina C; SPLITTSTOESSER *et al* (1973) e MARTIN (1976) o conteúdo de proteínas e a composição de aminoácidos. BAQUAR & OKE (1977) fizeram uma análise quantitativa e qualitativa do conteúdo de minerais em raízes de *Dioscorea* mais popular. A quantidade de proteína, embora se altere de variedade para variedade, é geralmente da mesma ordem de magnitude da batata. A composição centesimal indica geralmente uma variação dos seguintes constituintes, dependendo das especies conforme ilustrado na **Tabela-2** (COURSEY *et al*, 1970).

Tabela-2: Composição centesimal de algumas especies de inhame.

C.centesimal (%)*	***D. retundata***	***D.alata***	***D.esculenta***	***D.bulbifera***	***D.trifida***
Umidade	60-80	65-73	67-81	63-67	-
Carboidrato	20-30	22-29	17-25	27-33	38
Proteína bruta	1,0-2,5	1,1-2,8	1,29-1,87	1,12-1,50	2,54
Fibra bruta	0,2-1,0	0,65-1,4	0,18-1,51	0,70-0,75	-
Lipídeo	0,02-0,5	0,03-0,27	0,04-0,3	0,04	0,44
Cinza	0,6-1,5	0,7-2,1	0,50-1,25	1,08-1,5	-

* Composição centesimal

Fonte: COURSEY (1970)

Em relação à mandioca, o inhame é relativamente superior quanto ao teor de proteína. Muito pouco se sabe em relação à mudanças de valores nutricionais durante o crescimento do inhame e em geral durante o armazenamento e o processamento. Presume-se que poderia haver desnaturação de proteínas e perda de vitamina C durante o processo térmico em rolos secadores à alta temperatura, mas nada de concreto foi confirmado (MISAWA & MATSUBARA, 1965). O valor do inhame como alimento básico tem sido atribuído à fácil digestibilidade do amido que é constituído de grânulos cujo tamanho varia de 7 a 75 μm, ao seu elevado valor energético, às vitaminas de complexos B, ao conteúdo de cálcio, fósforo e ferro além da alcalinidade das cinzas e da sua não alergênicidade, como afirma MOY *et al.*(1980).

Apesar do inhame ser basicamente constituído de carboidrato, seu teor em proteína, apesar de baixo é adequado para uma dieta regular. Como ocorre em todos os tubérculos e raízes, as proteínas do inhame são geralmente deficientes do ponto de vista nutricional em aminoácidos sulfurados como a metionina e a cisteína. E também deficiente em triptofano. Como na maioria dos casos o inhame é consumido em mistura com outros alimentos protéicos (peixe, carne, etc.), então observa-se um balanceamento adequado em relação aos aminoácidos essenciais.

Em compensação, o inhame é rico em leucina, treonina , lisina e fenilalanina (OPUTE & OSAGIE, 1978). É rico em vitamina C, em potássio e fosfato. A enzima mais importante é a polifenoloxidase que envolve o processo respiratório da planta e é responsável pelas reações de escurecimento na raiz em estado fresco. Para JAFFE (1984), a variação da quantidade do ácido ascórbico no inhame interfere na atividade da enzima polifenoloxidase, pois o ácido L-ascórbico largamente distribuído nas plantas é sensível ao calor e ao oxigênio, se converte em ácido dehidroascorbico (ADA) que por sua vez reage como agente redutor para a enzima polifenoloxidase. Para tanto, quanto maior a quantidade de Vitamina C, maior o escurecimento enzimático na raiz. Por efeito de comparação, a **Tabela-3** mostra a composição nutricional de 100g da matéria prima descascada em base úmida de alguns tubérculos e raízes mais populares (a batata, a mandioca e o inhame).

A taxa de lipídeos no inhame é muito baixa e serve praticamente como lipídeo estrutural para as membranas celulares. Apesar da sua importância no metabolismo celular das raízes, esse lipídeo não possui grande significância nutricional. A percentagem de ácidos graxos insaturados é maior principalmente no que diz respeito aos ácidos linoleíco e linolênico.

O valor nutricional do inhame pode ser afetado pela presença de certos fatores indesejáveis tais como oxalato, fitato, ácido hidrociânico e tanino; mas os níveis desses fatores são tão baixos que eles são eliminados por processo térmico. O inhame apresenta acridez causadora de irritação na epiderme e nas mucosas orais, que é totalmente eliminada no processamento. A presença de cristais de oxalato de cálcio com formato de agulhas (ráfides) contidos em células especiais denominadas de idioblastos seriam

responsáveis por esses fatos (MOY *et al.*, 1979). Como o amido é o maior componente dessa raiz, as suas propriedades reológicas são as mais importantes quanto às características do processamento.

Tabela-3: Composição nutricional de 100 gramas de alguns tubérculos e raízes mais populares

Alimentos	Umidade (%)	Proteína (g)	Caloria (kcal)	Lipídeo (g)	Cinza (mg)	Ca (mg)	P (mg)	Fe (mg)	Na (mg)	K (mg)	Vit.B1 (mg)	Vit.B2 (mg)
Inhame	74	2,1	101	0,2	1,0	20	69	0,6	-	600	0,1	0,04
Mandioca	68	0,9	124	0,1	0,6	-	-	-	-	-	-	-
Batata	80	2,1	76	0,1	0,9	7	53	0,6	3	407	0,09	0,04
Batata doce	71	1,7	114	0,4	1,0	32	47	0,7	10	243	0,09	0,06

Fonte: USDA (1975).

2.3.1 Propriedades do amido de D. rotundata

Os amidos de diferentes fontes botânicas apresentam características reológicas que determinam o seu melhor uso em alimentos processados. Os amidos nativos são uma mistura heterogênea de dois polímeros de glucoses distintos nas suas estruturas primárias que são:

-A amilose, que é uma molécula linear constituída em média de 500 a 6000 unidades de D-glucose unidas por ligações do tipo α-(1,4) com massa molecular menos elevada (10^4 a 10^6).

-A amilopectina, uma molécula ramificada, é o principal constituinte do amido (70-80%) e tem suas unidades de D-glucose unidas por ligações α-(1,4) e também 4 a 5% de ligações do tipo α-(1,6), sendo caracterizado por massa molecular elevada (10^7 a 10^8) de acordo com as origens. A composição do amido especialmente no que diz respeito à proporção de amilose e amilopectina parece ser o aspecto isolado mais importante na explicação do comportamento funcional de suas pastas (SCHOCH, 1945; MAZURS *et al.* ,1957) embora a estrutura granular, o peso molecular de cada componente, a

intensidade das forças de ligação interna e a extensão das zonas amorfas e cristalinas devam também ser consideradas. Alguns estudos foram feitos sobre a variedade *D.rotundata* por RASPER (1967) e posterioremente por RODRIGUEZ-SOZA (1981) com sistemáticas investigações sobre as propriedades fisico-químicas tais como forma e tamanho dos grânulos do amido (RASPER 1967). Este autor descobriu que o amido da variedade estudada possui uma forma oval com um comprimento em torno de 52μm.

Quanto a RODRIGUEZ *et al.*(1981), eles observaram que o tamanho médio dos grânulos era 33μm. A percentagem de amilose era de aproximadamente 21%. A **Tabela-4** mostra a percentagem de amido que pode ser extraído após descascamento das raízes dos cultivares de *D.rotundata*, o tamanho dos grânulos e seus conteúdos de amilose.

Tabela-4: Rendimento de extração e características de amido de *D.rotundata*

CULTIVARES	RENDIMENTO(%)	TAMANHO DOS GRÂNULOS (μm)		AMILOSE (%)
		Variação	Valor médio	
T_{3-1}	21- 33	10 - 60	30,5	23,8
I - 146	23,03	12,5- 55	32,1	24,4
U- 195	20,43	15 - 50	34,3	24,6
I - 212	23,9	10 - 75	29,5	22,6
183	23,1	10 - 50	27,2	21,7
183	23,1	15 - 57	30,8	20,9

Fonte: MOORTHY & NAIR (1989)

A percentagem de amilose em amido de D. rotundata é levemente superior a da mandioca. Apesar de conter uma quantidade considerável de amilose, o amido de *D. rotundata* não mostra tecnologicamente esta característica, exibindo uma pequena tendência à retrogradação, pois a curva no resfriamento mostrou uma subida constante embora suave, como afirmaram MOOTHY & NAIR (1989). Porém, esta opinião contrasta com a afirmação de RODRIGUEZ- SOZA *et al*, (1982) segundo a qual o amido de *Dioscorea* tem considerável tendência à retrogradação. O amilose solúvel parece ser o

maior componente do conteúdo total de amilose. Usando viscoamilograma Brabender Modelo- 80102, esses autores observaram que o amido de seis cultivares de *D. rotundata* tem uma viscosidade bastante estável e um gel relativamente forte à 5 e 6% de concentração da pasta de amido, respectivamente. Os resultados deste experimento estão mostrados na **Tabela-5** indicando as propriedades de alguns cultivares *D.rotundata.*

Tabela-5: Propriedades da viscosidade de amido de seis cultivares de *D.rotundata*

CULTIVARES	VISCOSIDADE DA PASTA (U.B)							
	PV(5%)	PV(6%)	V97(5%)	V97(6%)	Vm(5%)	Vm(6%)	Vr(5%)	Vr(6%)
T 3 -1	470	730	450	720	480	770	620	1000
I- 146	435	700	420	660	435	740	500	1000
U- 195(2)	550	920	570	900	550	1000	750	1000
I- 212	500	770	490	760	500	800	770	1000
183	370	680	360	650	370	610	480	720
184	325	680	320	630	350	675	450	800

Fonte: MOORTHY & NAIR (1989)

PV = Pico da viscosidade; **V97** = Viscosidade a 97°C; **Vm** = Viscosidade a 97°C após 20min.; **Vr** = Viscosidade no resfriamento a 25°C.

A partir dos dados desta Tabela, os autores afirmaram que a gelatinização ocorre em muitos casos após 97°C; isso indica que as forças associadas às moléculas do amido são potentes e requerem um aquecimento prolongado para se romper antes da entrada da água. A força do gel foi bem evidente em todos os cultivares. Esta característica de gel forte é desejada em processamento de muitos alimentos. A maior quantidade de fósforo encontrado no amido de inhame em geral, em relação aos outros tubérculos e raízes, poderia ser responsável pela potência da força do gel da pasta deste amido devido às ligações de fosfatos através das moléculas nos grânulos. A mesma alta estabilidade da viscosidade não é observada em amidos de mandioca e batata doce como afirmou

LEACH (1965). RODRIGUEZ *et al.*(1981) descreveram que o poder de intumescimento do amido do *D.rotundata* cresce com a temperatura e alcança valores altos à temperatura de 97°C.

2.3.2 Efeito do cozimento sobre os nutrientes nas raízes e tubérculos

As mudanças que ocorrem nos nutrientes de um alimento no cozimento poderão ser classificadas em mudanças devido ao efeito do calor e em mudanças devido a água, vapor, gordura ou óleo. O tratamento térmico tem quatro efeitos considerados desejáveis que são:

1- A esterilização parcial ou total do alimento destruindo microorganismos ,
2- O aumento da disponibilidade dos nutrientes motivado pela destruição das paredes celulares celulósicas que não poderão ser quebradas pelas enzimas no trato intestinal humano (BRADBURY & COLLINS, 1984),
3- A solubilização do amido tornando-o mais digerível,
4- A desnaturação das proteínas e a inativação das enzimas proteolíticas que são os fatores antinutricionais presentes em vários alimentos (LIENER & KAKADE, 1980; BRADBURY & HOLLOWAY, 1988).

O efeito indesejável do cozimento inclui degradação química das vitaminas e a redução da disponibilidade dos aminoácidos essenciais como a lisina, que resulta da reação dos aminogrupos das proteínas e aminoácidos com os açúcares redutores provocando a reação de Maillard (CHEFTEL *et al.* , 1985).

O efeito específico da água ou do vapor inclui reações de hidrólise e sua ação como solvente na dissolução dos nutrientes hidrossolúveis dos alimentos. Outro efeito é solubilização das vitaminas hidrosolúveis (vitamina C; tiamina; riboflavina; ácido nicotínico) tanto quanto os minerais hidrossolúveis (Na e K), afirmou BRADBURY & SINGH (1986a , 1986b).

Nos países desenvolvidos é comum descartar a água do cozimento, no entanto em vários países em desenvolvimento esta água é aproveitada em sopas ou usada em pequena quantidade no cozimento, de tal maneira que na evaporação os constituintes

hidrossolúveis ficam retidos no meio de cocção. Alguns estudos foram realizados por FRANCIS *et al.*(1975) sobre as variações nutricionais de um material cozido mas como não havia uma comparação paralela com o material "in natura" não cozido, ficou impossível avaliar as mudanças que resultaram do cozimento. Então com o objetivo de estudar essas mudanças, PALMER (1982), PICHA (1985) e TAMATE & BRADBURY (1985) observaram que na batata doce produziu-se maltose a partir da quebra do amido catalisada pela α e β-amilase durante o cozimento.

A fervura de certas variedades comestíveis de inhame da África do Oeste causou remoções de aminoácidos livres (SPLITTOESSER, 1976) e uma redução significativa na quantidade de magnésio, fósforo e ocasionalmente ferro (BELL, 1983). Em compensação, BRADBURY *et al.*(1988) fizeram um estudo comparado dos nutrientes nos tubérculos e raízes (batata, inhame, e mandioca) "in natura" e após os tratamentos térmicos (fervura, cozimento, em vapor e assamento) e concluiram dentre outras causas que os tratamentos térmicos aplicados a estes alimentos produziram diferenças significativas.

Os nutrientes que não sofreram alteração maior foram as proteínas, o lipídeo, a rafinose, o ferro e o cobre. Uma análise geral da pesquisa mostrou que as variações no valor nutricional no processo térmico estavam relacionados à estabilidade dos nutrientes frente ao calor e sua solubilidade em água. A umidade nesses alimentos aumentou de 10 a 40 g/kg durante a fervura. O assamento a 200°C diminuiu a umidade de 70 a 90g/kg, em média. Em cada caso o conteúdo de cinzas foi reduzido na fervura e isso foi consistente junto com a perda dos minerais hidrossolúveis como K, Na, P, e S. O aumento bastante substancial do conteúdo de fibra causado pelo cozimento foi devido à formação de amido resistente à ação enzimática (SELVENDRAN & DUPONT, 1984). Na batata doce observou-se uma redução bem significativa da ordem de 90 a 120g/kg de amido, que ocorreu por causa de sua hidrólise a maltose.

O aumento da quantidade de fibras nas raízes após o cozimento é provavelmente devido à modificação do amido, tornando-o menos susceptível à degradação enzimática como acreditaram SELVENDRAN & DUPONT (1984).

BRADBURY *et al.*(1988) concluiram seus experimentos relatando que para a nutrição humana, o assamento aparece como a melhor maneira de cocção, pois não se observa grandes perdas de minerais e, quanto às vitaminas, as perdas são pequenas, além de diminuir o teor de umidade nos alimentos e aumentar em média em 40% por grama, a energia.

Assim o critério que classifica os métodos de cocção para se obter uma melhor conservação dos nutrientes segundo BRADBURY *et al.* (1988) seria:

Assamento > Cozimento a vapor > Fervura com água.

No que diz respeito especificamente ao inhame, a **Tabela-6** ilustra alguns valores da comparação entre amostra não cozida e amostra cozida. Os números positivos indicam o aumento na quantidade do nutriente para o método de cocção utilizado e os números negativos indicam a diminuição na quantidade do nutriente. As proteínas e os lipídeos não foram considerados por se achar que suas influências neste estudo não foram relevantes.

Tabela-6: Efeito da cocção sobre os nutrientes do inhame (base úmida)

NUTRIENTES	AM. F.	MÉTODOS DE COCÇÃO		
	g/kg	FERVURA	C/ VAPOR	ASSAMENTO
Umidade	766(12)	12*	-1,8	-68**
Amido	186(21)	5,8	-3,1	-3,6
Cinzas	7,5(0,3)	-1,2**	-0,1	0,1
Fibras	15,6(4,4)	16,3**	16,0**	9,2*
AÇUCARES				
Frutose	2,2(0,9)	-0,7	-0,6	-0,8
Glucose	1,6(0,9)	-0,4	-0,5	-0,6
Sacarose	5,1(2,4)	1,4	0,7	0,9
Maltose	0,8(0,3)	0,1	-0,2	-0,2*
MINERAIS				
Ca	60(12)	-2,6	-9,9*	-4,7
P	390(20)	-33**	8,4	-25
Mg	150(10)	-8,0	2,2	-11,4
Na	58(25)	-28*	-17*	-8
K	3450(200)	-630**	-70	-230
S	140(10)	17**	2,4	-1,0
Zn	3,2(0,3)	0,1	-0,1	-0,3*
Mn	0,3(0,1)	-0,1	-0,1	-0,1
Al	2,1(1,1)	0	0,2	0,3

Fonte: BRADBURY *et al.* (1988).

AM. F.= Amostra Fresca (controle) * = Diferença significativa c/ $p < 0,05$

( ) = Desvio padrão p/ 5 amostras ** = Diferença significativa c/ $p < 0,01$

2.4 PROCESSAMENTO TECNOLÓGICO

A introdução de tecnologias aperfeiçoadas para o processamento das raízes e tubérculos está encontrando diversos graus de sucesso. Assim, ela pode beneficiar uma comunidade tanto econômica como socialmente, aumentando a eficiência de um processo, tornando-o mais eficaz do ponto de vista dos custos com o objetivo de melhorar as rendas e resultando assim numa mudança social.

O processo mais comum é o da pré-gelatinização dos tubérculos e raízes usando a técnica dos rolos secadores ou "Drum-Dryer". Esse processo, apesar de aparentemente simples, é difícil de controlar. Os custos operacionais e a manutenção são geralmente altos em relação à produção e o rendimento é baixo.

Com o desenvolvimento de equipamentos e técnicas apropriadas para produção de alimentos, o processo de extrusão tem sido aplicado com eficiência e sucesso na obtenção de amidos pré-gelatinizados. Esse processo tem algumas características comparáveis aos processos térmicos alternativos, isto é, alta pressão, intenso cisalhamento mecânico e operação com baixo teor de água. Mas as investigações provaram que seus efeitos sobre o valor nutricional são relevantes especialmente em relação aos produtos que têm maior importância no suprimento nutricional da dieta humana. A cocção de alimentos por extrusão tem se tornado uma tecnologia valiosa. Diversos tipos de alimentos ou produtos de rações tais como alimentos infantis, "snacks", cereais matinais instantâneos, amidos modificados e alimentos para animais são produzidos usando esse processo com grau menor de degradação de nutrientes e de destruição de fatores indesejáveis (HARPER, 1981).

O princípio básico do processo é converter um material sólido em um fluido pela aplicação de calor e trabalho mecânico e extrusá-lo através de uma matriz provocando assim a gelatinização do amido, a desnaturação das proteínas, a inativação enzimática, a destruição de substâncias tóxicas tais como os inibidores da proteases e a diminuição da contagem microbiana para formar um produto de características físicas e geométricas pré-determinadas.

As três funções principais deste processo são: cozinhar, estruturar e dar forma aos alimentos. O processamento por extrusão na indústria de alimentos é geralmente usado para reestruturar materiais compostos de amido e proteína (HARPER, 1986), sendo que o extrusor é o único equipamento que trabalha com materiais relativamente secos, plasticizando massas alimentícias, desnaturando enzimas, reduzindo a carga microbiana, gelatinizando o amido, polimerizando proteínas e, o que é mais importante, texturizando o produto final na forma desejada (FICHTALI & van de VOORT, 1989).

2.5 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO E DO PROCESSO.

2.5.1 O Extrusor

O extrusor consiste basicamente de um parafuso (extrusor mono rosca) ou de dois parafusos paralelos (extrusor dupla rosca) firmemente encaixado dentro de um cilindro. Os extrusores mono-rosca são simples e menos caros e têm atuação limitada à matérias primas com umidade variando de 10 a 30% e baixo teor de lipídeos, enquanto os extrusores de dupla roscas são altamente versáteis pois operam com teor de água entre 10 e 95%, com maior teor de lipídeos, baixa velocidade do parafuso e o seu mecanismo de transporte é independente das forças de atrito (JANSSEN, 1978 & MARTELLI, 1983). Para o mono rosca, o parafuso ao girar empurra o material na direção de uma matriz, revirando-o e pressionando-o contra as paredes do cilindro, aplicando-lhe portanto um trabalho de cisalhamento e transformando-o numa massa uniforme. O extrusor se diferencia de um parafuso transportador por possuir uma rosca de pouca profundidade e mecanismos que causam a compressão do material alimentício até ser liberado pela matriz (HARPER,1979). Acopla-se à matriz um cortador com motor de velocidade variável que lhe permite o ajuste para que se consiga pedaços geométricos uniformes desejados do produto.

A parte interna do cilindro é normalmente ranhurada em extrusores de cozimento para evitar o deslizamento da massa, aumentando assim a taxa de cisalhamento. As camisas que circundam o cilindro permitem a circulação do vapor ou da água fria e proporcionam maior controle e flexibilidade de operação. A seção de alimentação em geral, funciona com água fria enquanto que nas seções finais onde deve ocorrer o cozimento, normalmente circula o vapor. Pela seção de alimentação passa o alimento ainda em forma granular ou em farinha, pois é dotada de um dispositivo que fornece um fluxo uniforme para o transporte do material.

A seção de transição é difícil de ser modelada pelo fato de possuir 2 fases: a fase sólida e a fase fluida. Para modelar esta seção, é necessário um conhecimento reológico extensivo das reações cinéticas dos componentes e do efeito dessas mudanças nos coeficientes de transferência de calor, da viscosidade do produto, da condutividade

térmica e da densidade. O modelo matemático da região de alta pressão assume que o material age como verdadeiro fluido apresentando tensão de cisalhamento sem deslizamento nas paredes do cilindro e do parafuso. O controle do processo de extrusão é bastante complexo devido ao grande número de variáveis que o afetam (OSTERGARD & BJORCK, 1989).

Para controlar o desempenho do extrusor e obter produtos de boa qualidade, é preciso conhecer as propriedades funcionais do material e a natureza do fluxo no interior do equipamento, principalmente na zona de alta pressão. Para tanto, os métodos comumente usados para determinar as propriedades reológicas dos materiais viscoelásticos são os reômetros convencionais padronizados. Mas esses aparelhos não são adequados pelo fato de que a taxa de cisalhamento encontrada durante o processo de extrusão é maior em termo de ordem de magnitude e sobretudo pelas propriedades dos materiais alimentícios que se alteram quando fluem através do extrusor.

2.5.2 O Processo

O extrusor se comporta como trocador de calor devido às trocas envolvendo as paredes do cilindro, a rosca e o material alimentício. Desempenha também a função de reator químico de processamento de biopolímeros e de misturas de alimentos pois é capaz de cozinhar, gelatinizar, desnaturar e esterilizar usando altas temperaturas (até 250°C) num tempo de residência relativamente curto (1 a 2min) e altas pressões (até 25 mpa) afirma CLARK (1978). Nessas condições, há, durante o processo, abertura das estruturas terciária e quaternária dos biopolímeros resultando na quebra e rearranjo das pontes de hidrogênio e dissulfetos permitindo a plasticização e a formação de texturas desejáveis (OLKKU & LINKO, 1977).

Segundo SMITH (1976), o processo de extrusão apresenta as seguintes vantagens:

1) *Versatilidade e Alta produtividade:* uma grande variedade de produtos pode ser produzida em um sistema básico de extrusão com uma capacidade de produção maior que outros sistemas de cozimento.

2) *Baixo custo*: os requerimentos de trabalho e espaço por unidade de produção são menores em relação a outros sistemas de cozimento.

3) *Forma dos produtos*: extrusores podem produzir formas que não são facilmente obtidas com outros métodos de produção;

4) *Alta qualidade do produto*: a alta temperatura e curto o tempo do processo minimiza a degradação de nutrientes ao mesmo tempo em que destrói microrganismos;

5) *Produção de novos alimentos*: extrusores podem modificar proteínas vegetais, amidos e outros materiais para produzir novos alimentos;

6) *Não-efluentes*: não produz resíduos e nem materiais perigosos para o meio ambiente.

O processamento pode ser dividido em três etapas: pré-extrusão, extrusão e pós-extrusão. Os equipamentos para a primeira e última etapa variam dependendo do tipo de material a ser produzido enquanto que a extrusão propriamente dita é basicamente a mesma, variando somente as condições de processamento (EL-DASH, 1982).

Para YACU (1990) há dois tipos de variáveis que influem no processo de extrusão: independentes e dependentes.

As variáveis independentes incluem :

1) Composição do ingrediente alimentar, tamanho da partícula, , condições de mistura e velocidade de alimentação;

2) Desenho do extrusor, incluindo cilindro, configuração do parafuso e desenho da matriz;

3) Condições de operação do extrusor, incluindo velocidade do parafuso, temperatura do cilindro e velocidade de corte.

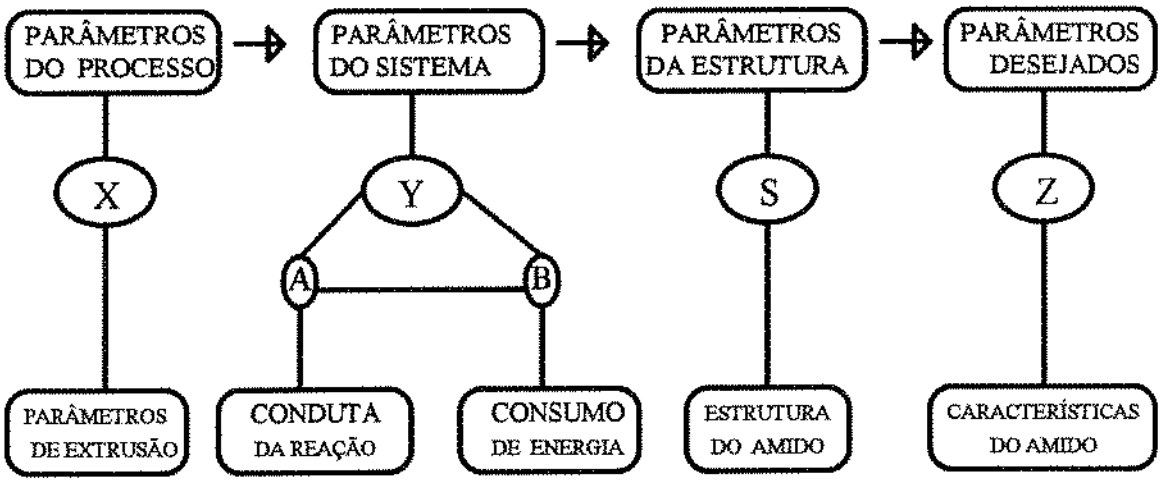
As variáveis dependentes incluem:

1) Viscosidade do material, temperatura e pressão

2) Tempo de residência e mistura

3) Propriedades do produto extrusado.

Numa tentativa de otimizar o processo de extrusão muitos pesquisadores costumam controlar uma ou mais variáveis durante o processamento. Estas variáveis dependem dos parâmetros operacionais do processo, dos parâmetros do sistema e dos parâmetros estruturais ligados a matéria-prima como ilustrado na **Figura-2** (GIMMLER *et al.*,1994) e são responsáveis pela extensão da quebra estrutural do amido, da qual depende o comportamento de solubilidade e viscosidade que determinam o tipo de aplicação do produto extrusado.



EQUIPAMENTOS

-Tipo de extrusor : L/D
-Configuração da rosca
- Diâmetro da matriz
- Velocidade da rosca
- Temperatura da camisa
- Fluxo de massa

MATÉRIA-PRIMA
- Tipo de amido
- Conteúdo de água do produto

INGREDIENTES
- Tipo e concentração dos reagentes de derivação
- Tipo e concentração dos catalisadores

- Pressão do sistema
-Tempode residência
- Temperatura do produto
- Taxa de cisalhamento

- Energia mecânica
-Energia térmica

-Deformação dos gránulos de amido
- Rompimento das estruturas organizadas
- Degradação de ligações
- Reações químicas
- Produto de Maillard

- Solubilidade a frio
- Viscosidade a frio
-Formação do complexo amido-lipídeo
- Textura
- Expansão
-Comportamento do fluxo

RELAÇÕES

X = F(Z)
S = F(Y)
B = F(A)
Y = F(X)

Z = F(Y)

Fonte: GIMMLER (1994)

Figura-2: Relação entre os parâmetros do processo, do sistema, da estrutura e os parâmetros desejados na cocção por extrusão.

Para cada tipo de amido, as suas propriedades funcionais são determinadas pelo extrusor utilizado e pelas variáveis do processo, as quais modificam a quantidade e o tipo de energia (mecânica ou térmica) introduzida no produto.

2.6 EXTRUSÃO E AS MODIFICAÇÕES FISICO-QUÍMICAS

Quanto às principais modificações físico-químicas na matéria-prima extrusada, observa-se que o tratamento térmico em materiais amiláceos induz às modificações físico-químicas dos grânulos de amido e seus constituintes, produzindo mudanças texturais e reológicas, aumentando a digestibilidade e a disponibilidade do amido como fonte energética (CHEFTEL 1986).

Dependendo das condições do processo e da composição do material amiláceo há expansão e ruptura dos grânulos do amido, modificações no espectro cristalino, solubilidade em água fria, redução da viscosidade e completa liberação de amilose e amilopectina (LINKO *et al.* 1981).

2.6.1 O Amido

Diferenças substanciais são observadas entre amidos extrusados, particularmente entre aqueles com diferentes razões amilose/amilopectina, determinadas por diferentes origens. Assim, diversos estudos foram realizados com objetivo de investigar os efeitos de algumas variáveis nestas propriedades funcionais. ANDERSON *et al.* (1969) foram os pioneiros na utilização da viscosidade Brabender como forma de expressar as propriedades dos extrusados. Desenvolveram também neste trabalho os métodos até hoje utilizados para determinar a solubilidade e a absorção de água. Serviram-se de extrusor de plásticos para gelatinizar grits de milho, tendo como variáveis o teor de umidade entre 10 e 35%, a temperatura da camisa entre 220 e 450°F e a taxa de compressão da rosca foi 3:1. Logo depois, um estudo das mudanças físicas e químicas que ocorrem na extrusão de amido de milho usando 16 variáveis, foi desenvolvido por LAWTON *et al.* (1972) que consideraram a temperatura de extrusão e a umidade inicial da matéria-prima como as variáveis de maior efeito na gelatinização do amido. Acharam que o grau máximo de gelatinização ocorre quando essas variáveis agem com os valores extremos opostos. Por

outro lado, quando ambos os valores são altos ou baixos, ocorrem baixos grau de gelatinização. Os efeitos da extrusão sobre a estrutura do amido têm sido estudados por vários pesquisadores usando uma série de métodos indiretos e diretos.

Os testes indiretos incluem a viscosidade (OWUSU-ANSAH *et al.* 1983), diminuição no índice de absorção de água (MERCIER & FEUILLET, 1975), o aumento na susceptibilidade à enzima α-amilase e o aumento no grau de gelatinização (GOMES & AGUILERA, 1983). Os testes diretos incluem cromatografia por filtragem em gel (COLONNA *et al.*, 1984 & DAVIDSON *et al.* 1984) e a Scanning Electron Microscopy que é usada para caracterizar as mudanças físicas (GOMES & AGUILERA, 1984). A percentagem de amido na composição da matéria prima tanto quanto o tipo de amido têm um efeito muito significativo no processo de extrusão e seus produtos característicos.

O amido extrusado, de acordo com as condições do processo, sofre transformações químicas que causam entumescimento e ruptura dos grânulos, modificação das estruturas cristalinas provocando solubilidade e viscosidade em água fria. Estas alterações estão relacionadas com o maior ou menor grau de gelatinização e dextrinização do amido interferindo em suas propriedades físicas (EL-DASH *et al.*, 1984; CHEFTEL, 1986; DIOSADY, 1986; LAI & KOKINI, 1991).

O amido nativo não absorve água a temperatura ambiente e sua viscosidade é praticamente zero; entretanto, o amido extrusado absorve água rapidamente formando uma pasta a temperatura ambiente pelas macromoléculas solubilizadas e partículas entumescidas por água sem qualquer aquecimento. O Índice de Absorção de Água (IAA) e o Índice de Solubilidade em Água (ISA) são propriedades funcionais fortemente influenciadas pelo tamanho da partícula: quanto menores as partículas, maiores serão a velocidade e o grau de gelatinização.

Os valores de ISA e IAA são explicados pelas interações amido-água e são importantes na avaliação da adequabilidade do uso de produtos amiláceos extrusados em suspensões ou em soluções. Portanto, a modificação do amido no extrusor depende dos parâmetros do processo tais como velocidade e configuração do parafuso, temperatura,

taxa de fluxo do material, configuração da matriz e das características do material (proporção de amilose/amilopectina, teor de umidade, granulometria e tipo de grânulos)

As transformações de maior vulto que ocorrem na extrusão envolvem a morfologia do amido. No estado nativo, a amilose e a amilopectina são dispostas a nível de entidades granulares semi cristalinas, esféricas e poliédricas. A cocção-extrusão provoca alterações em várias propriedades funcionais do amido as quais dependem principalmente a relação amilose e amilopectina e os parâmetros operacionais do processo como: a umidade da matéria prima, a temperatura, a velocidade e a geometria do parafuso (HARPER, 1981).

No extrusor, o amido granular é progressivamente comprimido e transformado em um composto homogêneo de material denso e compacto com conseqüente desaparecimento de sua estrutura cristalina e granular. Todavia é preciso mencionar que a transformação dos grânulos de amido é função da intensidade do tratamento. De fato, grânulos intactos são ainda presentes nos extrusados obtidos em condições de alta umidade, baixo cisalhamento e baixa temperatura.

O desaparecimento do estado granular é completo acima de 500 a 600 Kj /Kg. (GUY & HORNE, 1988). Para a despolimerização das moléculas de amido, a energia mecânica fornecida a uma longa cadeia é primeiro armazenada dando lugar às transições de conformações, depois às deformações moleculares e enfim às rupturas de ligações covalentes (PORTER & CASALE, 1985).

Todo tratamento térmico de polímeros como o amido conduz à transições de fase em função da temperatura. Duas transições de fase caracterizam respectivamente a fase amorfa e a fase cristalina, conforme relatou VAN KREVELEN, (1990).

A fase amorfa passa por uma transição vítrea caracterizada pela temperatura de transição vítrea ,T_g (glass transition). Os segmentos de cadeia dentro da fase amorfa adquirem então uma forte mobilidade. A fase cristalina sofre uma transição na fusão caracterizada pela sua temperatura T_m (melting point).

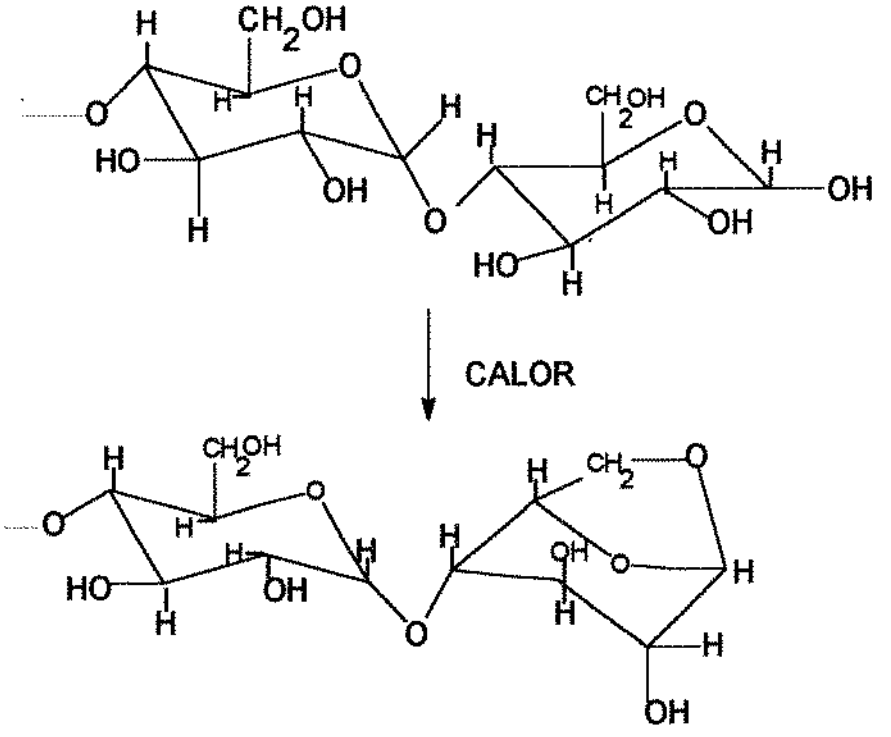
CHARBONNIER *et al.* (1973) usaram a técnica de Difração de Raios-X para estudar os efeitos do processo de extrusão nas estruturas organizadas do amido. Essa técnica, embora demorada, é o melhor método instrumental para a se estimar a cristalinidade. Assim descobriram que a extrusão destrói a estrutura cristalina organizada ora parcialmente, ora completamente, dependendo da proporção de amilose e de amilopectina e das variáveis operacionais. Para os amidos de tubérculos e raízes e como a batata e a mandioca que têm baixo teor de lipídeos, e para o amido de milho ceroso, a redução da cristalinidade foi observada a temperaturas de processo menor que 70°C. Em altas temperaturas, houve destruição completa da estrutura cristalina configurando um estado amorfo num diagrama característico de Raios-X.

Numa amostra pesquisada, o monômero D-glucose medido através um clássico teste enzimático (COLONNA *et al.* 1981) não foi modificado pela extrusão. O teor de amido portanto não foi alterado durante o processo o que demostra que nenhuma nova ligação foi formada apesar das condições de altas temperaturas propícias aos rearranjos moleculares.

COLONNA & MERCIER (1983) observaram que a proporção das ligações do tipo α-(1,4) para α-(1,6) foi preservada na extrusão. SCHWEIZER *et al.* (1986) chegaram a mesma conclusão quando trabalharam com farinha e amido de trigo.

Os trabalhos de LORENZ & JOHNSON (1972) mencionando uma decomposição do amido em meio aquoso a pH neutro derivam de procedimentos onde o tempo de reação (60 min) é consideravelmente mais longo que num processo de extrusão (≤ 2 min). Todavia as temperaturas usadas na decomposição são idênticas às temperaturas empregadas em extrusão. No entanto, a temperatura de 230 a 240°C parece ser um limite superior acima do qual os fenômenos de escurecimento começam a aparecer. O melhor critério da decomposição térmica do amido seria então a medida do aparecimento das unidades de 1,6 anidroglucose em posição terminal no lugar das unidades glicosídicas, como é descrita na **Figura-3,** que em seguida reagem por transglucosidação externa para formar uma enzima resistente com estruturas ramificadas que podem ser detectadas em Cromatografia Líquida de Alta Performance (HPLC) e em Ressonância Magnética

Nuclear. No entanto, a sua presença nunca foi notificada até o momento afirmaram COLONNA *et al.* (1987).



1,6 Anidroglucose terminal

Figura-3: Decomposição térmica de amido em unidade de 1,6 anidroglucose.

MERCIER (1977) observou a formação de oligossacarídeos lineares no amido de batata extrusado. Entretanto, a estrutura química primária do amido manteve-se preservada durante o processo pois o monômero de glucose é completamente recuperado depois da ação da amiloglucosidase. Trabalhando com amido, MERCIER (1986) percebeu que a fração hidrossolúvel é aumentada com o aumento da temperatura e da velocidade do parafuso. Contrariamente ao aumento da solubilidade em água, a viscosidade intrínseca diminui o que indica que o amido foi provavelmente degradado em moléculas de baixo peso molecular.

Para DAVIDSON *et al.* (1984), as viscosidades intrínsecas do amido decrescem significativamente depois da extrusão. Como foi citado anteriormente, as estruturas primárias não são modificadas no processo e assim qualquer decréscimo na viscosidade intrínseca corresponde a um decréscimo no peso molecular. Desta forma, o nível de degradação pode ser expresso pela relação entre as viscosidades intrínsecas do produto extrusado e da matéria prima. Usando um extrusor Brabender mono rosca os mesmos autores verificaram que a extensão da degradação nos estudos macromoleculares foi função dos parâmetros de extrusão (temperatura, umidade inicial da matéria prima e velocidade do parafuso). O número de ligações rompidas na fração de maior peso molecular aumenta com o aumento da temperatura e com o decréscimo de nível de umidade inicial. Em estudos sobre o amido de trigo, COLONNA *et al.* (1984) concluíram que a determinação da viscosidade e do peso molecular indicam claramente que a amilose e a amilopectina foram parcialmente hidrolisadas em maltodextrinas como resultado da elevada força de cisalhamento. Quanto a CHIANG & JOHNSON (1977), estes afirmaram que o grau de gelatinização do amido de trigo aumenta quando a temperatura do processo cresce e diminui quando aumenta a velocidade do parafuso e o diâmetro da matriz. A gelatinização não é afetada significativamente pela umidade em baixas temperaturas de extrusão (65 e 80°C), porém ela é afetada para as temperaturas de 95 e 110°C pois aumentos de temperaturas implicaram em maior grau de gelatinização do amido quando a umidade estava entre 18 e 27%.

OWUSU-ANSAH *et al.* (1983) observaram uma máxima gelatinização (absorbância do complexo amilose-iodo) à menor temperatura (100°C) e na umidade de 23%, ao passo que com a extrusão obtiveram o mínimo valor de gelatinização à mesma temperatura e a 11% de umidade. Mas quando a velocidade do parafuso era reduzida, não era possível observar mais o ponto mínimo, pois este ocorria no ponto de altas umidades e temperaturas. Este resultado revelou-se fora de comum, pois o esperado seria que a gelatinização aumentasse com altos níveis de temperatura e umidade. LAWTON *et al.* (1972) extrusando amido de trigo observaram resultado semelhante e o atribuiu ao efeito lubrificante causado pelo excesso de água. Dependendo das condições do processo, 21 a 46% de amido é excluído pela filtração em gel comparado com 58% do material não

extrusado. Isto sugere uma significativa degradação dos polímeros do amido durante o processo.

MERCIER & FEILLET (1975) perceberam em suas pesquisas que durante o processo de extrusão ocorre a solubilização do amido de cereais sem a formação de maltodextrina e o amido solubilizado retém a sua forma macromolecular. No entanto, com o aumento da temperatura e a diminuição do teor de umidade a quantidade de amido solubilizado cresce, indicando que um maior cisalhamento induziu a uma maior dextrinização aumentando o teor de sólidos solúveis.

Estudando os efeitos das variáveis do processo de extrusão no amido de milho através da gelatinização, do Índice de Solubilidade em água (ISA) e do Índice de absorção de água (IAA), OWUSU-ANSAH *et al.* (1983) verificaram que o ISA aumentou com a elevação da temperatura e a umidade das amostras, enquanto o IAA aumentou com o incremento da temperatura até um valor máximo e diminuiu a seguir devido a excessiva dextrinização. Todas as medidas físico-químicas indicaram um certo grau de hidrólise do amido durante o processo e um aumento do grau de gelatinização com o aumento da temperatura e do teor de umidade.

GOMEZ & AGUILERA (1984) observaram valores muito altos de IAA e viscosidade de pasta (VP) em amostras gelatinizadas de amido de milho por extrusão devido a presença de longas cadeias poliméricas. Em amostras enzimaticamente dextrinizadas e extrusadas, conseguiram valores máximos de susceptibilidade enzimática (SE) e de ISA enquanto que o IAA e a VP foram menores que as amostras previamente gelatinizadas. Isto se deve provavelmente à quebra e diminuição das cadeias poliméricas do amido. Descobriu-se também que com a diminuição do conteúdo de umidade do material, havia um aumento na expansão, na SE, no ISA e no grau de gelatinização enquanto que o IAA e VP decresciam. Em experiência semelhante à anterior, GOMEZ & AGUILERA (1984) afirmaram que com a diminuição do teor de umidade do material, o valor baseado na afinidade do iodo com carboidratos de cadeia reta, aumentava. Com decréscimo da umidade, houve decréscimo dos carboidratos insolúveis em água resultando numa correlação negativa ($r = - 0,979$) da umidade com o ISA , sugerindo

assim que a quebra da fração dos carboidratos insolúveis em água era maior fonte de materiais solúveis.

MERCIER *et al.*(1980), submetendo o amido de mandioca comercial com 25% de umidade ao processo de extrusão (Creusot-Loire BC 45) constataram que as propriedades dos extrusados assemelhavam-se às do amido de batata; ou seja, aumentos na temperatura de extrusão provocavam aumentos no ISA e diminuição na viscosidade a frio após a cocção.

EL-DASH *et al.* (1984), aplicaram a metodologia de superfície de resposta com o objetivo de avaliar o efeito da temperatura, teor de umidade e da rotação da rosca nas viscosidades de pasta do amido de milho, utilizando um extrusor Brabender monorosca. A umidade e a temperatura afetaram a viscosidade inicial e a viscosidade a quente. Altas temperaturas, baixas umidades ou seu inverso, resultaram em baixa viscosidade inicial sendo que viscosidades mais altas foram obtidas com amido de 17 e 24% de umidade para temperaturas de 160 e 205°C. Verificaram também que o efeito combinado de umidade e velocidade da rosca era importante apenas quando o teor da primeira era alto e, neste caso, pequenos aumentos na velocidade aumentaram o grau de gelatinização como foi evidenciado pela diminuição da viscosidade a quente.

2.7 A EXTRUSÃO E O VALOR NUTRICIONAL

2.7.1 As proteínas

Para as proteínas, o valor nutricional depende da digestibilidade e da disponibilidade dos aminoácidos essenciais. Nos adultos, a digestibilidade é considerada como o fator determinante mais importante na qualidade da proteína segundo as recentes recomendações da FAO/WHO (1985). O valor nutricional da proteína vegetal é realçado através de um processo brando de extrusão que eleva a digestibilidade, como afirmam HARMUTH-HOENE & SEILER (1984). Este fato deve-se provavelmente à inativação dos inibidores proteolíticos presentes e não à desnaturação protéica (LASER-REUTERSWÄRD *et al.*,1982). Todavia, as proteínas, com os seus aminoácidos limitantes, (como é caso da lisina que serve de indicador de danos que a proteína sofre

durante o processamento de cereais) são sensíveis ao calor e ao cisalhamento e podem reagir com vários componentes ou aditivos nos alimentos extrusados, (BJÖRCK & ASP, 1983). Para um processo térmico à condições drásticas , a digestibilidade da proteína decresce. A disponibilidade biológica dos aminoácidos é bastante afetada através de diferentes mecanismos. Para a lisina, que é o aminoácido limitante nas proteínas dos cereais, concluiu-se através de estudos que a sua retenção no processo de extrusão é bastante influenciada pelos parâmetros do processo.

2.7.2 O amido

Geralmente o amido é considerado nutricionalmente superior aos outros carboidratos por duas razões :1) os alimentos amiláceos são boas fontes de vitaminas e minerais; 2) o amido é hidrolisado e absorvido mais lentamente que os carboidratos de baixo peso molecular produzindo assim menor taxa de glucose no sangue e, conseqüentemente menor demanda de insulina. Cocção e gelatinização do amido são conhecidas por aumentar a susceptibilidade às enzimas amilolíticas para a hidrólise devido a hidratação dos grânulos e da parcial solubilização das moléculas, além de inativar os inibidores destas enzimas (O' DEA *et al.* 1980). A extrusão provavelmente aumenta a disponibilidade enzimática do amido via gelatinização pela inativação do inibidor endógeno de α-amilase, provoca a quebra da estrutura celular e o aumento da superfície do amido. A digestibilidade *in vitro* do amido extrusado depende principalmente da textura do produto (MERCIER, 1980).

2.7.3 Os lipídeos

A nível dos lipídeos, o valor nutricional é afetado durante o processamento através de diferentes mecanismos tais como a oxidação, a isomerização cis-trans ou a hidrogenação. Vários autores reportaram a diminuição do conteúdo de lipídeos em produtos extrusados. (RANDALL *et al.*, 1985) admitiram que a extrusão poderia ser usada para retardar a oxidação em óleo de farelo de arroz pois após 60 dias de estocagem não se verificou nenhum aumento de ácidos graxos livres. Mas de modo geral, as modificações são muito pouco significantes em termo nutricional.

2.7.4 As vitaminas

As vitaminas podem ser danificadas por mecanismos tais como tratamentos térmicos ou oxidação. As vitaminas mais estudadas durante o processo de extrusão são principalmente a tiamina e a riboflavina. É com essas vitaminas que as correlações acontecem com as variáveis do processo. Ocasionalmente, para reduzir contaminação com microorganismos, o enriquecimento vitamínico é feito antes da extrusão e neste caso a retenção do conteúdo de vitamina precisa ser bastante considerada. HARPER *et al.* (1981) sugeriram que o aspecto benéfico da extrusão seria o de reduzir a atividade de água e de preferência o de obter boa estabilidade na estocagem. De fato, estudos comprovaram a boa retenção de riboflavina no processo enquanto a retenção da tiamina dependeu expressivamente das condições do processo. A extrusão facilitaria também a extratibilidade das vitaminas lipossolúveis.

2.7.5 As fibras e os minerais

Os interesses nas fibras são baseados no fato que elas têm algumas funções terapêuticas no organismo humano. Vários produtos extrusados como os "snacks" e alimentos matinais são importantes fontes de fibras dietéticas e a extrusão parece ser um processo adequado para produção de alimentos enriquecidos em fibras, como salientaram ANDERSON *et al.* (1981). Poucos estudos foram feitos a respeito das fibras na extrusão. Degradação poderia ocorrer nos processos que envolvem alto cisalhamento. Sabe-se que durante a moagem as ligações glucosídicas da celulose se rompem. De acordo com THEANDER (1981) a degradação de fibras no cólon é inversamente proporcional ao tamanho das partículas das fibras. Para tanto, o rompimento e homogeneização das partículas de farelos por intenso tratamento mecânico durante a extrusão poderiam tornar as fibras mais disponíveis à fermentação.

Dados a respeito dos minerais nos alimentos extrusados são muito escassos, além de contraditórios. É plausível a ocorrência de enriquecimento em íons ferro do material extrusado como resultado do desgaste da rosca ou da camisa do extrusor.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Matéria prima

Inhame (*Dioscorea rotundata)*

As raízes foram adquiridos na CEASA de Campinas em caixas de madeira de 25Kg de um produtor da Cidade de Arthur Nogueira, Estado de São-Paulo.

3.1.2 Reagente:

Para a análise da matéria prima e dos produtos extrusados, foram utilizados reagentes de pureza analítica de acordo com as especificações exigidas.

3.1.3 Equipamentos e Aparelhos.

Além dos equipamentos de uso comum em laboratório, foram também utilizados:

- Extrusor de laboratório marca " Brabender " modelo 20 D/N - GNF 101412 tipo mono rosca acoplado ao "Do- Corder ".

- Estufas com circulação forçada de ar marca "Fanem " modelo 320/2 e 330 E .

- Centrífuga marca "Fanem" modelo 204 NR

- Viscoamilógrafo marca "Brabender " tipo 8013400

- Agitador horizontal marca "Tecnal " modelo TE 320 .

- Liquidificador marca "Arno ".

- Moinho de rolos marca " Brabender " modelo Quadrumatic Senior.

- Moinho de facas marca "Tigre " tipo CV2

3.2 MÉTODOS

A matéria prima foi caracterizada em função de sua análise física e de sua composição centesimal.

3.2.1 Análises Físicas.

Para as determinações físicas, foram usados 5 pedaços de inhame fresco de comprimento médio de aproximadamente 20,0cm ; de diâmetro maior médio de aproximadamente 12,0cm ; de diâmetro menor médio de aproximadamente 5,0 cm e de peso médio de aproximadamente 330,0g.

3.2.2 Composição centesimal.

A composição centesimal da farinha de inhame foi encontrada de acordo com as seguintes determinações:

3.2.2.1 Umidade

Foi determinada segundo o método AACC 44-15 (1983).

3.2.2.2 Proteína bruta

Calculada através da determinação do Nitrogênio pelo método Kjeldahl usando o fator f = 6,25 para conversão segundo o método AACC 16-10 (1983).

3.2.2.3 Lipídeos

Fez-se uma extração contínua com hexano num aparelho de Soxhlet segundo o método AACC 30-20 (1983).

3.2.2.4 *Cinzas*

Determinadas pela calcinação da amostra a 550°C segundo o método AACC 81-31 (1983).

3.2.2.5 Fibras

2,0g. de amostra foram tratados com 70,0ml de ácido acético 70%, 2,0g de ácido tricloroacético e 5,0ml de ácido nítrico concentrado. O produto resultante foi digerido durante 30 minutos à temperatura de ebulição e refluxo total, após que os resíduos foram filtrados e lavados com água quente num cadinho previamente tarado e secado a 105°C durante 3-4 horas e finalmente pesado após resfriamento em dessecador usando os métodos de VAN de KRAMER & VAN GINKEL (1952).

3.2.2.6 Carboidratos

A percentagem foi obtida por diferença em relação aos outros componentes.

3.2.3 Preparação da matéria- prima .

A farinha foi obtida conforme indicado no fluxograma abaixo (**Figura-4**)

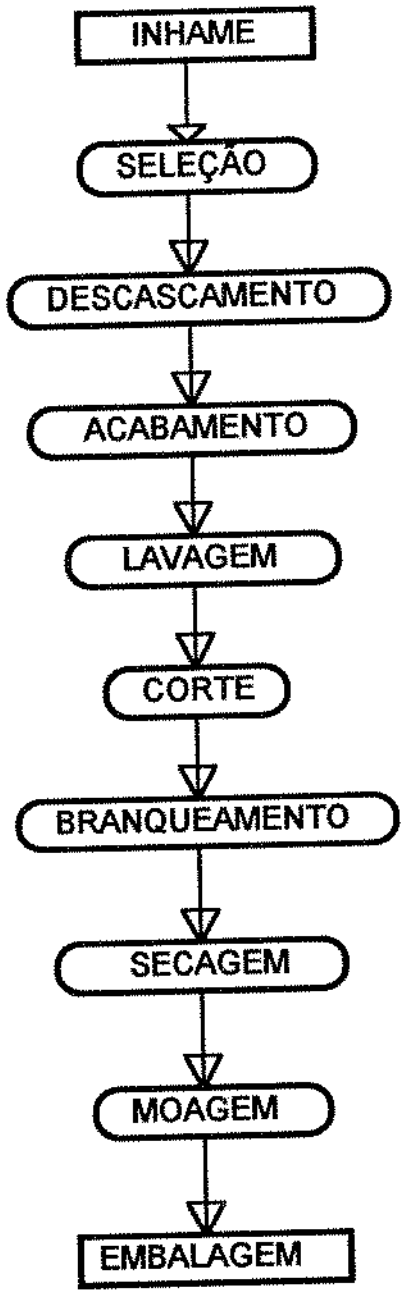


Figura-4: Fluxograma da obtenção da farinha de inhame

A quantidade de 150 kg de inhame no estado fresco foi processado como mostrado na **Figura-4** para obtenção de aproximadamente 50kg da farinha de inhame. A matéria prima foi submetida a uma seleção prévia descartando-se as unidades em estado de conservação não satisfatório. O descascamento foi manual por meio de facas de aço inoxidável assim como o acabamento pelo qual eliminou-se as partes contaminadas e algumas cascas remanescentes, seguido de lavagem por imersão em solução de bissulfito de sódio, para pré-inibição enzimática.

O corte foi executado manualmente por meio de ralador de aço inoxidável seccionando-se as raízes na forma cilíndrica de cerca de 5,0 mm de espessura. A medida em que as raízes estavam sendo cortadas, os pedaços cilíndricos obtidos eram imediatamente imersos em uma solução de 0,5% de bissulfito de sódio ($NaHSO_3$) durante cinco minutos para efeito de branqueamento. Este procedimento resulta na inibição da enzima polifenoloxidase (PFO), responsável pelo escurecimento dos tubérculos e raízes descascados devido à oxidação.

A secagem dos pedaços branqueados foi efetuada em estufa-piloto de efeito contínuo marca "Fanem " modelo 330E com circulação tangencial forçada de ar quente e dotado de um mecanismo automático para controle de temperatura que neste caso é mantida a 45°C durante 24 horas. Após a secagem, os pedaços de inhame secos (5 a 7,5% de umidade) foram acondicionados em sacos plásticos para em seguida serem moidos . Conseguiu-se então a farinha por desintegração do material desidratado em moinhos de facas Tigre e posteriormente de rolos Brabender. Para padronizar a farinha numa determinada granulometria, o material proveniente das operações de moagem foi classificado num agitador de peneiras Produtest de laboratório utilizando-se uma peneira com 0,250mm de abertura (20 mesh). O material retido nesta peneira retornou para nova operação de moagem até que toda a farinha fosse padronizada.

3.3 PROCESSAMENTO

De acordo com as condições operacionais do extrusor Brabender, os principais parâmetros foram divididos em variáveis e fixos.

3.3.1 Parâmetros variáveis

- Temperatura de extrusão na 2^a e 3^a zonas (°C) 100 a 150

- Umidade da farinha (%) 18 a 26

- Rotação da rosca (rpm) 100 a 200

3.3.2 Parâmetros fixos

- Taxa de compressão da rosca = 2:1

- Taxa de alimentação (g/min) = 70

- Abertura da matriz (mm) = 5

- Temperatura na 1^a zona (° C) = 80

A **Figura-5** mostra um esquema do equipamento utilizado destacando os principais componentes.

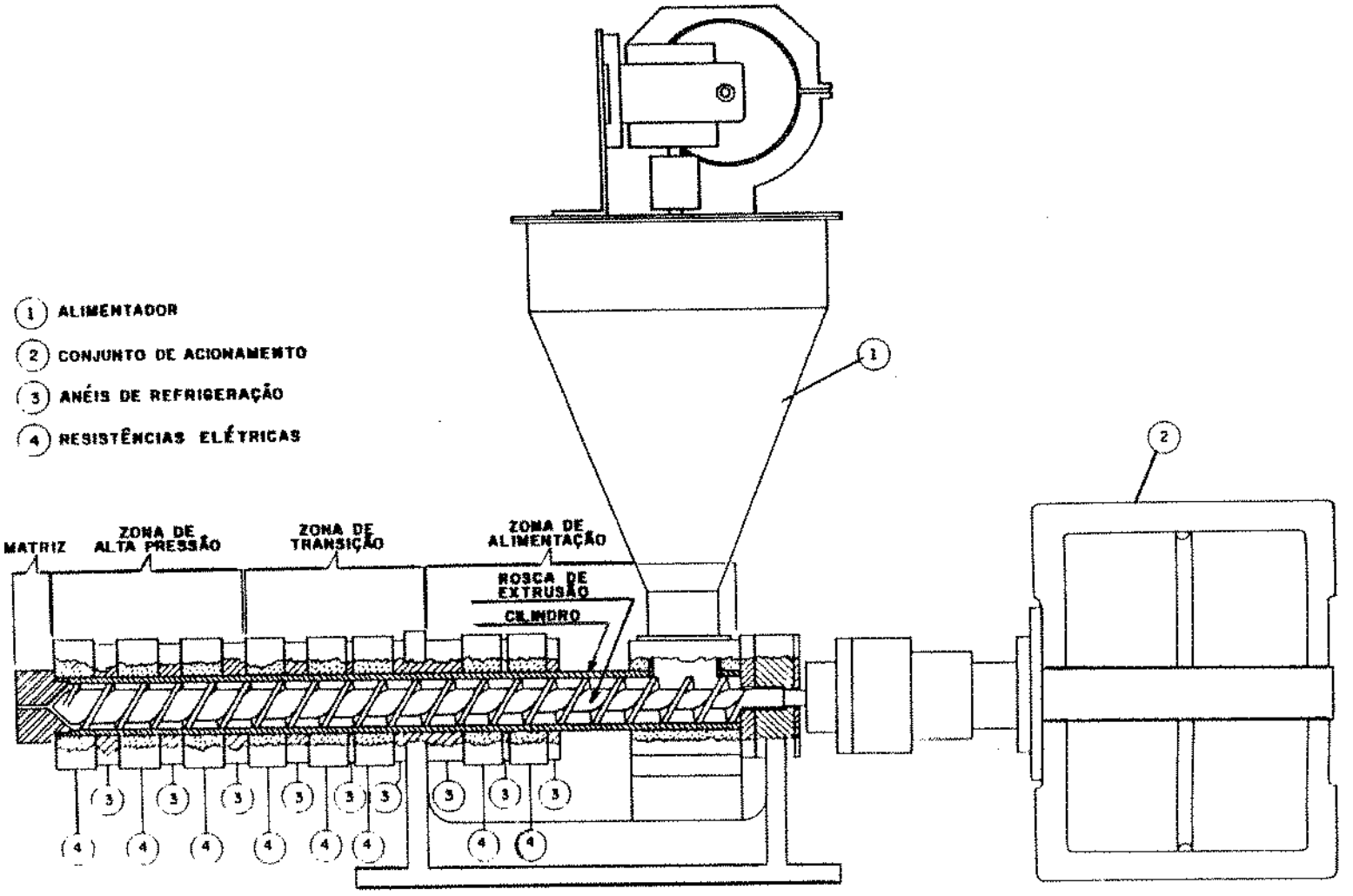


Figura-5: O extrusor mono rosca Brabender usado nos experimentos.

O processamento para obtenção da farinha de inhame extrusada é ilustrado na **Figura-6.**

3.4. OBTENÇÃO DA FARINHA DE INHAME EXTRUSADA

3.4.1 Processo

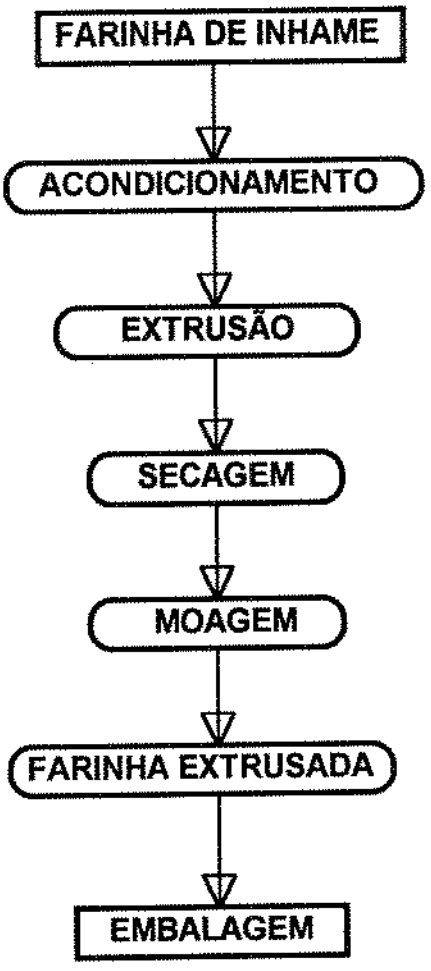


Figura-6: Fluxograma do processamento por extrusão da farinha de inhame .

As amostras foram acondicionadas para os diferentes níveis de umidade no misturador planetário Brabender conforme o delineamento experimental. O acondicionamento foi realizado com água destilada adicionada lentamente com bureta. A quantidade de água adicionada às amostras é calculada pela seguinte relação :

$$\mathbf{Y = (Uf - Ui) \times Pa / 100 - Uf}$$

onde

Y = quantidade de água a ser adicionada (ml)

Uf = Umidade final da amostra

Ui = Umidade inicial da amostra

Pa = Peso da amostra (g)

As amostras após homogeinização foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas sob refrigeração durante 24 horas para se obter um equilíbrio. Após este período, a umidade foi novamente conferida.

3.4.2 Processamento

Realizou-se em seguida a extrusão avaliando-se os principais parâmetros do processo acima citados. A extrusão de cada amostra só foi iniciada após as três zonas (alimentação, transição e de alta pressão) atingirem as temperaturas desejadas. A temperatura da primeira zona foi mantida em 80°C, enquanto que as demais variaram conforme as condições estabelecidas no delineamento experimental, sendo as temperaturas das zonas de transição e da alta pressão mantidas iguais em todos os experimentos. O produto extrusado foi coletado após o processo atingir o equilíbrio, verificado pela constância do gráfico de torque. Ao final do processamento os produtos foram submetidos às determinações de taxa de expansão e em seguida colocados em estufa a 45°C por 12 horas. Após a secagem, o produto foi moído em moinhos de facas Tigre e de rolos Brabender. Em seguida, foi classificado em peneiras com malha de 20 mesh (0,250 mm) de abertura utilizando-se um agitador de peneira Produtest. O material retido retornou para uma nova operação de moagem obtendo-se desta forma a farinha de

inhame extrusada padronizada. Finalmente o material foi armazenado em sacos plásticos para posterior utilização em análises.

3.5 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS EXTRUSADOS

3.5.1 Viscosidade da pasta

A viscosidade das amostras foi determinada no viscoamilógrafo Brabender de acordo com o método AACC 22-10 (1983). A concentração de amostra (46g/460ml H20) foi usada na dispersão da farinha extrusada na água.

Para interpretar os viscoamilogramas foram usados os seguintes parâmetros:

-*Viscosidade inicial (VI30)*:- valor da viscosidade no ponto onde se inicia o amilograma a temperatura de 30°C; .

-*Viscosidade a 95°C (V95)*: - valor da viscosidade ao atingir a temperatura de 95°C

-*Viscosidade a 50°C (V50)*: - valor da viscosidade obtido no ponto do ciclo de resfriamento quando a temperatura desce até 50°C .

3.5.2 Índice de Absorção de Água (IAA)

Foi realizado de acordo com o método de LINKO *et al* (1981) em duplicata através da dispersão da amostra em água a 30°C ,em seguida colocada no agitador Tecnal por 30 minutos e depois centrifugado a 3000 rpm por 10 minutos na centrifuga Fanem. O IAA é a relação entre o peso do resíduo e o peso seco da amostra do qual se subtraiu o peso do resíduo de evaporação do sobrenadante e expresso pela seguinte equação:

$$\mathbf{IAA = PRC \times 100 / PA - PRE}$$

onde:

PRC = Peso de resíduo de centrifugação (g),

PA = Peso da amostra (base seca)

PRE = Peso de resíduo de evaporação (g)

3.5.4 Índice de Solubilidade em Água (ISA)

O Índice de Solubilidade em Água foi calculado pela relação entre o peso do resíduo de evaporação e o peso seco da amostra, conforme o método de LINKO *et al.* (1980), em duplicata, conforme a equação:

ISA = PRE / PA

3.6 CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS

3.6.1 Índice de expansão (IE)

O Índice de Expansão foi realizado no produto após a extrusão antes da secagem. As medidas de diâmetros das amostras foram efetuadas nas superfícies mais uniformes possíveis. O IE foi calculado pela relação entre o diâmetro da amostra e o diâmetro da matriz, conforme a metodologia proposta por FAUBION& HOSENEY (1982a). O valor considerado foi obtido através da média aritmética de 10 medidas em diferentes partes da amostra de cada tratamento.

3.6.2 Dureza do extrusado.

A dureza do extrusado (Textura ou Resistência à ruptura) foi determinada utilizando-se o analisador de Textura "TA-XT2 - Texture Analyser" da Texture Technologies Scarsdale (NY/ Stable Micro Systems, Haslemere, Surrey, UK) acoplado a um micro computador AT 386 DX sendo que a sua capacidade é de 25,0 kg, com uma sensibilidade de força de 1,0 g uma sensibilidade de distância de 0,0025 mm e uma velocidade descendente do cabeçote de 5,0 cm/min para avaliar a força de quebra (em kg). As amostras, em formas cilíndricas de 50,0 mm de comprimento foram colocadas horizontalmente numa plataforma e uma faca de aço retangular (Warner Bratzler) de 12,0 x 7,0 cm serviu para romper a amostra de extrusado sobre o suporte. O valor considerado foi obtido através da média aritmética de 4 determinações de força de quebra para cada amostra.

3.6.3 Densidade Aparente:

Foi calculada a partir dos dados obtidos da média de cinco determinações de peso e volume das amostras de farinha de inhame usando-se a seguinte formula de acordo com HIMADRI *et al.*(1992):

$$\delta o = \frac{M(1 - w/100)}{V - M(w/100)}$$

Sendo que:

M = a massa da amostra,

V = volume ocupado pela amostra,

w/100 = umidade da amostra.

3.6.4 Cor :

A cor das amostras extrusadas e moídas foi determinada pelo método de colorímetro "Hunterlab" modelo D25-PC2 (Hunter Associates Lab. In, Reston, VA) de acordo com a metodologia proposta por FRANNCIS & CLYDESTAL, (1975). O sistema Hunter corrigido pela CIE é definido pelo espaço L*a*b* onde os valores de L* (luminosidade ou brilho) variam entre zero (preto) e 100 (branco) , no eixo [-a* (verde) até +a* (vermelho)] e no eixo [-b* (azul) até +b* (amarelo)]. Os resultados obtidos foram apresentados em termo de Diferença de Cor (ΔE) que expressa a maior ou menor diferença de cor que existiu entre o produto antes do processamento portanto considerada cor padrão, e o produto depois de ser processado. Usou-se a fórmula:

$$\Delta E = [\, \Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2 \,]^{1/2}$$

onde:

$$\Delta L = L_o - L_e \; ; \; \Delta a = a_o - a_e \; ; \; \Delta b = b_o - b_e$$

sendo que o índice (o) indica o valor da cor dos componentes do padrão e o índice (e) o dos extrusados de cada tratamento sob forma de farinha.

3.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

3.7.1 Análise estatística das características do inhame extrusado

A título de ensaio preliminar, foi realizada uma série de experimento de extrusão com farinha de inhame variando os teores de umidade, temperatura, rotação de parafuso, diâmetro de matriz e taxa de compressão. Diante dos resultados obtidos , optou-se por considerar as variáveis Umidade (U), Temperatura (T) e a rotação da rosca (R).

Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características tecnológicas dos extrusados, estabeleceu-se um experimento estatisticamente delineado em metodologia de superfície de resposta do tipo central composto rotacional de 2ª ordem. (BOX *et al.*, 1978). Os parâmetros do processo estabelecidos como variáveis independentes foram estudados em 3 níveis codificados como (-1, 0 ,+ 1) calculados de acordo com a seguinte equação:

$$xi = Xi - Z / \Delta Xi$$

onde:

xi = valor codificado da variável Xi

Xi = valor real da variável;

Z = valor real da variável no ponto central

ΔXi = valor do intervalo de variação de xi

Este delineamento apresenta também 2 níveis de variáveis axiais que são codificados como (- α) e (+ α). O valor depende do numero fatorial (F = 2^k) do delineamento e do número de variáveis independentes(K = 3) sendo o valor definido pela equação:

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = 1{,}681$$

Os valores máximos e mínimos de cada variável independente foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão e com base nos diversos ensaios preliminares. Para análise de resultados experimentais, a metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes (X_k),

a variável dependente ou resposta (Yi). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos como segue por (BOX & DRAPER, 1967):

$$Yi = F(X_1, X_2, \ldots\ldots, X_k)$$

Através de uma análise de regressão, pode ser ajustado para cada resposta (Y) um polinômio de segunda ordem com as variáveis explicativas (X_k). A expressão geral utilizada para predizer o comportamento de cada resposta avaliada pode ser escrita da seguinte forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \\ + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

onde:

Y_i = função resposta.

X_1, X_2, X_3 = valores das variáveis independentes.

β_0 = coeficiente relativo à interceptação do plano com o eixo resposta.

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = coeficientes lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados.

$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ = coeficientes dos variáveis quadráticas.

$\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ = coeficiente de interação entre as variáveis independentes.

ε = erro experimental .

O experimento foi conduzido num delineamento fatorial incompleto 3^3 (BOX & BEHRKEN, 1960) com três fatores ou variáveis independentes (temperatura, umidade, rotação da rosca) e três níveis codificados. Tanto os níveis codificados quanto os axiais ($-\alpha$, -1 , 0 , +1, $+\alpha$) e os fatores têm seus valores reais mostrados na **tabela-7** e o delineamento completo na **tabela-8.**

Tabela-7: Fatores e níveis de variação

NÍVEIS		FATORES OU VARIÁVEIS INDEPENDENTES		
Axiais	Codificados	X_1	X_2	X_3
$-\alpha = -1,681$		83	15,3	66
	- 1	100	18	100
	0	125	22	150
	+ 1	150	26	200
$+\alpha = +1,681$		167	28,7	234

X_1= Temperatura do processo (°C); X_2 =Umidade das amostras (%);

X_3 = Velocidade do parafuso (rpm).

A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA) usando o teste de distribuição F segundo o qual um modelo de regressão é significativo a um certo nível de significância, quando o valor do teste de distribuição F calculado é maior ou igual ao do teste F tabelado neste nível de significância; e quanto maior o teste F calculado, mais preditivo é o modelo (BOX & WETZ, 1973). O processamento dos dados e a análise estatística foram elaborados com o auxílio dos programas computacionais "Otimiza, Modreg" (BARROS NETO *et ali.*, 1995) e "Minitab for Windows". O modelo foi reajustado utilizando-se a técnica "Backward Elimination Procedure" de DRAPER & SMITH, (1966) que permite examinar a melhor regressão eliminando-se os termos não significativos isto é apresentando uma probabilidade de significância ($p \geq 0,05$) com excessão de alguns casos e considerando inclusive algumas interações.

Os modelos matemáticos empregados em geral nos processos de extrusão de alimentos apesar de estarem em evolução, são uma adaptação feita a partir da extrusão de plásticos. Todavia, esses modelos adaptados tornam-se muitos complicados devido à natureza heterogênea dos alimentos e da complexidade do processo. Para tanto, as similaridades, as diferenças e as vezes os equívocos no ajuste do modelo são considerados plausíveis. (JANSSEN, 1985); (EERIKAINEN & LINKO, 1989) e (MULVANEY *et al.* 1988).

A partir da equação de regressão obtida por esta técnica variando-se duas variáveis enquanto a terceira estudada permanece constante, foi possível elaborar gráficos tridimensionais de superfície de resposta bem como suas respectivas curvas de nível com auxilio do programa computacional "Basic Statistics and Tables"

Tabela-8: Delineamento experimental empregado no processo de extrusão da farinha de inhame e seus valores codificados e reais.

Tratamentos	Variáveis Codificados			Variáveis Independentes		
	x_1	x_2	x_3	X_1	X_2	X_3
1	- 1	- 1	- 1	100	18	100
2	1	- 1	- 1	150	18	100
3	- 1	1	- 1	100	26	100
4	1	1	- 1	150	26	100
5	-1	- 1	1	100	18	200
6	1	-1	1	150	18	200
7	-1	1	1	100	26	200
8	1	1	1	150	26	200
9	0	0	0	125	22	150
10	0	0	0	125	22	150
11	0	0	0	125	22	150
12	0	0	0	125	22	150
13	0	0	0	125	22	150
14	0	0	0	125	22	150
15	$-\alpha$	0	0	83	22	150
16	$+\alpha$	0	0	167	22	150
17	0	$-\alpha$	0	125	15,3	150
18	0	$+\alpha$	0	125	28,7	150
19	0	0	$-\alpha$	125	22	66
20	0	0	$+\alpha$	125	22	234

$\mathbf{X_1}$= Temperatura do processo (°C) $\mathbf{X_2}$ = Umidade das amostras (%)$\mathbf{X_3}$ = Velocidade do parafuso (rpm)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA CENTESIMAL

A composição química centesimal da farinha de inhame (*D. rotundata*) é mostrada na **Tabela-9.** Estes resultados são próximos aos encontrados por LAPE, (1994).

O conteúdo de carboidratos encontrado por diferença é a mistura de amido em maior percentagem juntamente com os açúcares solúveis, confirmando que o inhame é um alimento basicamente amiláceo conforme reportado por COURSEY, (1967). O conteúdo de proteínas comprova que o inhame é, depois da batata, a raiz com maior teor de proteínas.

Tabela-9 Composição química centesimal da farinha de inhame *

COMPONENTES	PERCENTAGEM (%)
Proteínas (N x 6.25)	7,25
Gordura	0,68
Fibras	2,36
Cinzas	2,25
Carboidratos	86,75 **

* Base seca

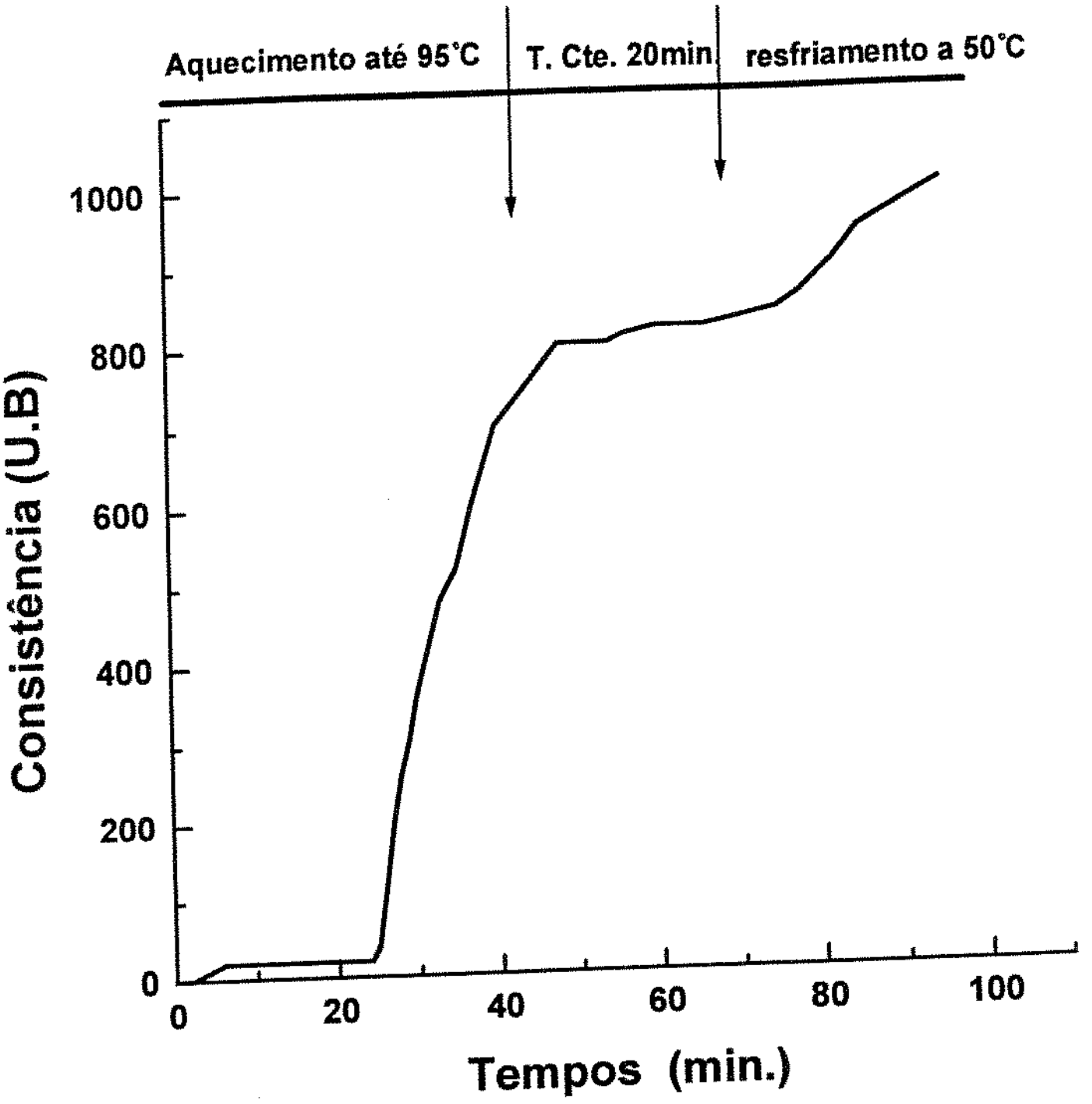
** Calculado por diferença.

4.2 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DA FARINHA CRUA DE INHAME

4.2.1 Viscoamilograma da farinha crua.

A viscosidade é uma das propriedades mais importantes dos materiais amiláceos. O amilograma descreve o comportamento destes materiais durante o aquecimento e permite avaliar as características do gel formado devido à modificação estrutural das moléculas de amido e também a tendência à retrogradação durante o resfriamento. Estas características determinam as propriedades funcionais das matérias primas amiláceas e suas diversas aplicações industriais.

A **Figura-7** mostra uma curva viscoamilográfica da farinha de inhame crua à concentração de 10%. Pode-se observar que a farinha de inhame não apresenta picos de viscosidade a quente para a concentração usada quando comparada com outras fontes tradicionais de amido. O perfil da curva de viscosidade mostra que a farinha de inhame *D. rotundata* possui uma alta estabilidade de pasta durante o aquecimento. Esta alta estabilidade do gel do amido de inhame é desejável em várias aplicações alimentícias, o que não é observada em outros tubérculos e raízes como a batata e o mandioca. Esta força do gel explica-se pelo fato de que as forças intermoleculares nos grânulos do amido não somente restringem a entrada de água mas mantêm juntas as moléculas inchadas do amido protegendo-as contra rompimentos. Através da curva pode-se concluir que o inhame possui uma fraca tendência à retrogradação. Isso se verificou no comportamento da curva no resfriamento a 50°C que ficou relativamente diferente dos demais amidos pois continua exibindo um crescimento constante, progressivo e mais gradativo ao contrário de um crescimento repentino com valor elevado característico dos materiais amiláceos com alto teor de amilose. Conclusões semelhantes foram descritas por MOOTHY & NAIR (1989). Entretanto essas observações contrastam com a afirmação de RODRIGEZ-SOZA, (1982) que descreveu esta caracterfistica do inhame como sendo uma forte tendência à retrogradação só que levou em consideração o pH da pasta.



* T.Cte 20min.= Temperatura de 95°C constante durante 20 minutos

Figura-7: Curva viscoamilográfica da farinha de inhame crua

4.3 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS FUNCIONAIS DOS EXTRUSADOS

Na **Tabela-10** são apresentados os valores dos resultados experimentais das variáveis independentes (temperaturas, umidades, e rotação da rosca) e seus efeitos nas propriedades fisico-químicas e funcionais da farinha de inhame extrusada. Essas propriedades são as variáveis dependentes ou respostas tais como: a Viscosidade inicial à 30°C (**VI 30**), a Viscosidade à quente a temperatura de 95°C (**V95**), a Viscosidade no resfriamento a 50°C (**V50**), o Índice de Solubilidade em Água (**ISA**), o Índice de Absorção de Água (**IAA**), o Índice de Expansão (**IE**), a Dureza (**DUR**), a Densidade Aparente (**DAP**), e a Diferença de Cor (**DCO**) através dos componentes " **L** " , " **a** ", e " **b** ". Os valores da farinha crua em certas propriedades funcionais e características fisico-químicas estão também mostrados, para efeito de comparação.

4.3.1 Viscoamilograma dos extrusados.

As curvas viscoamilográficas ilustram o comportamento do material amiláceo extrusado que, quando aquecidos em excesso de água, têm um comportamento evidenciado pela viscosidade a frio (V30), pela ausência de um pico de gelatinização, pelo declínio contínuo da viscosidade entre 50 e 95°C e pelo aumento progressivo da viscosidade no ciclo de resfriamento observado em viscoamilógrafo Brabender. Isso indica que neste caso, o processo de extrusão nas diferentes condições tratadas, provocou modificações estruturais no amido da farinha de inhame. A viscosidade da pasta a frio depende principalmente do grau de gelatinização dos grânulos de amido e da extensão de sua degradação molecular durante a extrusão. A viscosidade inicial decresce com o aumento da severidade do tratamento. Em outras palavras, os valores dependem da umidade inicial do produto antes do processo, da temperatura e da rotação. A diminuição da viscosidade da pasta a quente é explicada pelo rompimento da estrutura e desintegração dos grânulos de amido ocorridos no processo de extrusão e conseqüente perda da capacidade de inchar em água quente. O efeito das variáveis independentes do processo pode ser observado nas **Figuras-8 a 10** que são curvas tridimensionais de superficies quadráticas de resposta que permitem visualizar a influência da temperatura, da umidade, e da rotação da rosca nas variáveis dependentes.

Tabela-10: Resultados experimentais obtidos nas condições de extrusão.

	FATORES				VARIÁVEIS DEPENDENTES									
T	**X1**	**X2**	**X3**	**VI30**	**V95**	**V50**	**ISA**	**IAA**	**IE**	**DUR**	**DAP**	**" L"**	**" a"**	**" b"**	**DCO**
1	100	18	100	40	50	100	25,54	4,9	1,96	7,65	0,56	85,05	1,06	15,15	11,73
2	150	18	100	240	90	140	29,6	5,7	2,0	5,8	0,33	79,08	5,42	23,33	23,37
3	100	26	100	40	260	360	14,0	3,9	1,55	7,84	0,52	89,13	-0,45	11,6	6,27
4	150	26	100	760	100	140	30,51	7,0	1,26	7,14	0,51	84,83	1,43	20,23	15,71
5	100	18	200	120	90	120	37,0	6,2	2,05	7,53	0,55	84,98	1,39	16,74	12,91
6	150	18	200	320	80	100	30,0	5,4	1,95	3,98	0,26	79,78	5,13	22,58	21,3
7	100	26	200	160	140	240	20,0	6,0	1,85	9,35	0,54	89,36	-0,24	11,92	6,32
8	150	26	200	970	100	160	36,4	6,0	1,37	8,94	0,47	86,83	1,47	16,71	11,72
9	125	22	150	220	100	120	33,5	5,9	1,6	11,56	0,55	85,68	0,98	15,46	11,47
10	125	22	150	230	90	100	31,53	5,6	1,64	11,22	0,56	84,7	1,22	16,49	12,91
11	125	22	150	320	120	180	30,4	5,6	1,72	12,54	0,54	88,65	-0,28	14,62	8,85
12	125	22	150	300	140	200	33,0	6,0	1,72	11,82	0,55	88,34	-0,12	14,73	9,12
13	125	22	150	330	90	160	32,5	6,1	1,68	13,26	0,52	86,55	1,18	16,69	11,84
14	125	22	150	340	100	180	32,0	6,0	1,74	11,03	0,51	87,54	0,98	12,25	8,33
15	83	22	150	200	100	160	26,25	6,6	2,03	13,27	0,51	88,04	-0,39	12,82	7,98
16	167	22	150	360	40	100	37,0	6,8	1,2	5,94	0,37	83,57	2,97	21,23	17,46
17	125	15.3	150	350	130	220	34,4	6,8	2,62	5,78	0,36	84,04	3,2	19,78	16,09
18	125	28.7	150	340	90	120	33,4	7,4	1,3	4,28	0,56	83,23	0,98	15,19	13,15
19	125	22	66	340	140	250	28,0	6,1	1,85	4,5	0,52	87,93	1,13	16,5	10,59
20	125	22	234	260	60	90	35,5	6,2	1,55	8,33	0,56	84,96	1,18	16,09	12,44
Farinha crua				0	750	1000	11,07	2,7			0,50	93,77	-0,12	7,4	

T= Tratamento; **X_1**= Temperatura (°C); **X_2**= Umidade (%); **X_3**= Rotação da rosca (rpm);
VI30= Viscosidade inicial a 30°C (U.A); **V95**=Viscosidade a quente a 95°C (U.A); **IE**=Índice de Expansão;
V50= Viscosidade no resfriamento a 50°C (U.A); **DUR**= Dureza (kgf); **DAP**= Densidade Aparente (g/cm^3);
ISA= Índice de Solubilidade em Água (%); **IAA**= Índice de Absorção de Água (g gel/g); **"L"**= Luminosidade (Hunter);
"a"= Vermelho (Hunter); **"b"**= Amarelo (Hunter); **DCO** = Diferença de Cor.

4.3.2 Viscosidade Inicial da pasta (VI 30)

A viscosidade inicial da pasta (**VI 30**) define o comportamento da suspensão de material amiláceo em água à temperatura ambiente.

Os resultados da viscosidade inicial da pasta a frio a 30°C obtidos para farinha de inhame de acordo com os tratamentos , estão apresentados na **Tabela-10.**

O modelo de regressão elaborado a partir dos dados experimentais é definido através da análise de variância (ANOVA) e da equação de regressão que expressa a variação da VI30 em função das três variáveis do processo (temperatura, umidade, e rotação da rosca). Os resultados obtidos usando o programa computacional " Otimiza" e "Minitab for Windows" estão mostrados na **Tabela-11.**

O polinômio descrito na **Tabela-11** é a equação do modelo quadrático ajustado. O modelo, que é um ajuste de 2ª ordem, explica 72,6 % da variação de VI30 ou seja um coeficiente de correlação múltiplo ($R^2 = 0,726$), uma probabilidade $p = 0,048$ e um teste de distribuição F= 3. Este valor de F estatisticamente calculado é inferior ao valor da distribuição F tabelado a níveis de 1% e 5% de significância que foram 4,94 e 3,02 respectivamente. Isso indicaria que este modelo quadrático não explica melhor a regressão em termo significativo nestes dois níveis afim de rejeitar a hipótese (Ho) nula. Mas por via de análise, A 2ª ordem é considerada significativa a nível de 5% pois o valor do teste F tabelado neste nível é de fato praticamente igual ao calculado. O que é valido se levando em conta a complexidade do processo de extrusão cuja análise matemática envolve inúmeros parâmetros operacionais. O modelo da 1ª ordem confere um F = 12,2 e explica 78.6 % da variação ($R^2 = 0,786$) portanto significativo nos níveis verificados. A estimativa dos efeitos indicam também que a VI30 revelou-se dependente das 3 variáveis sendo que a umidade proporcionou efeitos de maior significância tanto linear quanto quadrático enquanto a temperatura e a rotação, os efeitos linear e de interação de acordo com a probabilidade p como é ilustrado na **Tabela-11.**

Tabela-11: Equação, Análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para VI30.

EQUAÇÃO

VI30	R^2
$4129,9 - 26.40T - 237,265U - 3,916R + 1,52U^2 + 1,42TU + 0,10UR$	72,6

T = temperatura
U= umidade
R= rotação da rosca
$p = 0,048$

ANOVA

Variação	S Q		M Q		G L		TESTE F		R^2 (%)	
	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
REGRESSÃO	-	-	-	71275,2	3	9	12,2	3	78,6	72,6
RESÍDUOS	-	-	18468,5	24244,3	10	10	-	-		
F. AJUSTE	-	-	-	45768,7	5	5	12,6	16,9		
ERRO PURO	-	13600	-	2720,0	5	5	-	-		
TOTAL	-	-	-	-	13	19	-	-		

Valores estatisticamente tabelados
1ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}3\text{-}10} = 6,55$ 2ª ordem$\Rightarrow F_{0,99\text{-}9\text{-}10} = 4,94$
2ª ordem$\Rightarrow F_{0,95\text{-}9\text{-}10} = 3,02$

ESTIMATIVA DOS EFEITOS

EFEITOs	*(p)*	EFEITOS	*(p)*
T = 141,25	0,003	**TU** = 282,5	0,028
U = 302,5	0,045	**TR** = 22,5	0,842
R = 122,5	0,051	**UR** = 42,5	0,038
U^2 =24,05	0,046		

SQ = soma quadrática **MQ** = média quadrática **GL** = grau de liberdade
R^2 = coeficiente de correlação múltipla

A **Figura-8a** mostra o efeito da temperatura e da umidade na VI30 quando a rotação do extrusor foi mantida em 150 rpm no ponto central. No intervalo de temperatura estudada, observou-se que os menores valores da VI30 correspondem às temperaturas mais baixas e às umidades mais altas. As temperaturas altas (acima de 150° C) e umidades altas (acima de 26 %), a VI30 apresentou seus valores mais altos. Observações semelhantes foram relatadas por CHANG (1989), OWUSU-ANSAH *et al.* (1983a) e SREBERNICH, (1989) que, trabalhando com material amiláceo, constataram que a VI30 é dependente principalmente das variáveis umidade e temperatura. O efeito da umidade na VI30 pode ser explicado pela lubrificação que o alto teor de água provoca na rosca do extrusor evitando assim a maior ocorrência da degradação mecânica dos grânulos de amido obtendo-se portanto valores altos de VI30. O valor intermediário de 360 U.B. observado quando combinaram-se a maior temperatura que é de 167°C, e a umidade de 22%, pode ser justificado pelo fato que com o aumento da temperatura, começa a ocorrer degradação das estruturas dos grânulos de amido, causado sobretudo pelo efeito térmico que limitam a capacidade de absorção de água a frio. Isto provoca uma redução na VI30, interpretaram EL- DASH *et al.* (1984). GOMEZ & AGUILERA (1984), relataram que a menor viscosidade inicial obtida a baixa temperatura pode ser atribuída principalmente ao efeito de cisalhamento mecânico na degradação dos grânulos.

Analisando as curvas de nível na **Figura-8a,** fica evidente que para produção de agentes espessantes de produtos instantâneos tais como pudins, farinhas lácteas, etc que requerem uma certa viscosidade inicial, deve-se trabalhar, no caso de inhame, numa faixa de temperaturas de 120 a 150°C e com uma faixa de umidades de 22 a 28%, mantendo-se a rotação da rosca em torno de150 rpm.

Na **Figura-8b,** mantendo-se constante a temperatura em um valor intermediário (125°C) e variando a umidade e a rotação, percebe-se que a rotação teve influência na variação de VI30. Nos baixos valores da rotação a variação foi branda, independentemente da variação da umidade, enquanto que à alta umidade e alta rotação a VI30 aumentou exibindo seu valor mais alto. A VI30 se manteve praticamente constante a baixas umidades, independentemente da variação da rotação. A contribuição da rotação na VI30 à alta umidade pode ser explicada pela predominância dos efeitos térmicos gerados pela rotação da rosca e pela temperatura (125°C) resultando em maior gelatinização, aumentando assim a viscosidade.

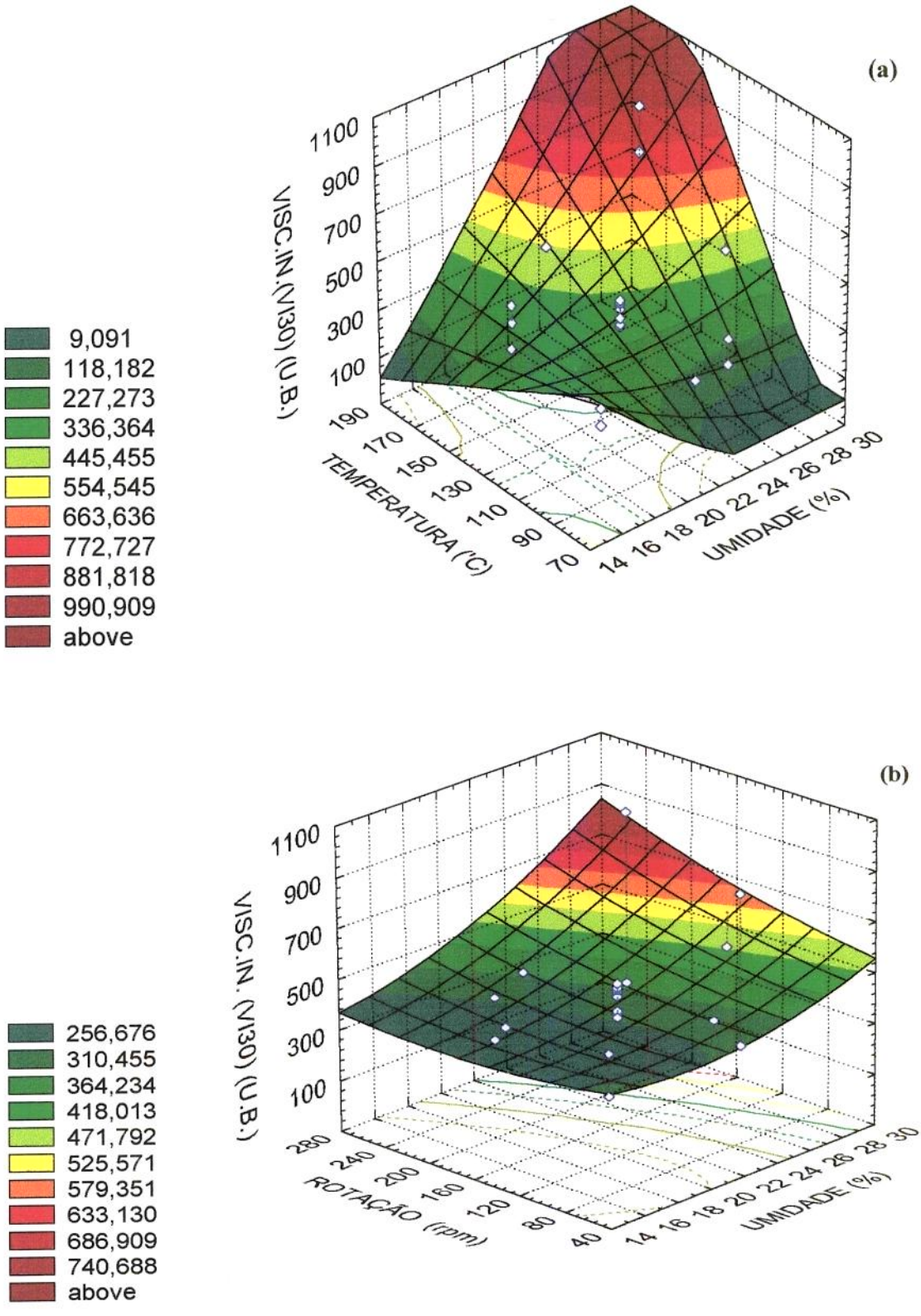


Figura-8: Influência das variáveis de extrusão na VI30 do produto: **(a)**- Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 125 rpm; **(b)**- Efeito da umidade e da rotação à temperatura de125°C.

4.3.3 Viscosidade da pasta a quente (V95)

As condições de extrusão estudadas possibilitaram a obtenção de amostras com valores de viscosidade a quente com maior concentração (ao redor de 140 U.B.).

Quando a estrutura do grânulo é destruída, ele perde a sua capacidade de inchar quando aquecido em água. Conseqüentemente apresenta baixo valor de viscosidade a 95° C. Esta propriedade tem a sua importância relacionada com o uso de amidos, que têm como característica funcional um valor alto para viscosidade a quente tais como aqueles empregados como agente espessante no cozimento (sopas, por exemplo), onde quanto maior for a viscosidade, menor será a concentração requerida.

Os valores obtidos experimentalmente para V95 nas diferentes combinações de variáveis de extrusão, de acordo com o delineamento podem, ser vistos na **Tabela-10.** A analise de variância (ANOVA) e a equação de regressão que expressa a variação da viscosidade da pasta a quente em função das três variáveis estão mostradas na **Tabela-12** sendo que a significância a nível $p = 0,050$. O modelo apresentou um teste F bem baixo tanto na forma linear de 1ª ordem (F= 3,2) quanto na forma quadrática de 2ª ordem onde F= 1,79 explicando assim 49,0% ($R^2 = 0,49$) e 61,72% ($R^2 = 0,6172$) da variação de V95, respectivamente. Considerando 1% de significância, as duas formas não foram significativas. Mas a 10%, observa-se que a 1ª ordem foi significativa com valor de F= 2,73 (tabelado). Apesar de que a 2ª ordem não seja significativa a este nível do teste F, ela apresentou o maior coeficiente de correlação R^2 mas com uma falta de ajuste cujo valor é próximo do aquele da 1ª ordem. Paratanto resolveu-se considerar o ajuste da 1ª ordem para os efeitos de significância e do perfil tridimensional da curva de superficie de resposta. A equação da **Tabela-12** é o modelo reajustado eliminando-se os termos não significativos. O estudo da contribuição mostrou que os três fatores do modelo de alguma forma com ênfase à umidade, influenciaram significativamente no processo, o que evidenciou-se através de seus efeitos lineares.

Tabela-12 Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para V95.

EQUAÇÃO

V95	R^2
51,34 - 0,85**T** + 9,06**U** - 0,225**R**	49,0

T = temperatura
U= umidade
R= rotação da rosca
$p = 0,050$

ANOVA

Variação	S Q		M Q		G L		TESTE F		R^2 (%)	
	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
REGRESSÃO	15137,54	24500,47	5045,85	2722,27	3	9	3,2	1,79	49,0	61,72
RESÍDUOS	15755,32	15194,53	1575,53	1519,53	10	10				
F. AJUSTE	13821,98	13261,20	2764,4	2652,23	5	5	7,14	6,86		
ERRO PURO	1933,33	1933,33	386,67	386,67	5	5				
TOTAL	30892,86	39695,0	-							

Valores estatisticamente tabelados
1ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}3\text{-}10} = 6,55$ 2ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}9\text{-}10} = 4,94$
1ª ordem $\Rightarrow F_{0,90\text{-}3\text{-}10} = 2,73$ 2ª ordem $\Rightarrow F_{0,90\text{-}9\text{-}10} = 2,35$

ESTIMATIVA DOS EFEITOS

EFEITOS	*(p)*	EFEITOS	*(p)*
T = -42,5	0,09	**TU** = -57,5	0,064
U = 72,5	0,015	**TR** = 17,5	0,540
R = -22,5	0,150	**UR** = -37,5	0,204

SQ = soma quadrática **MQ** = média quadrática **GL** = grau de liberdade
$\mathbf{R^2}$ = coeficiente de correlação múltipla

A **Figura-9** apresenta os diagramas de superfície de resposta correspondentes ao modelo reajustado que estabelecem a variação de V95 em função do teor da umidade, da temperatura e da rotação da rosca, sendo que uma das três variáveis é mantida constante.

A **Figura-9a,** mostra que a rotação que interferiu pouco no processo, foi mantida constante a 150 rpm no ponto central. Assim, observa-se que variações em sentidos crescentes dos fatores como temperatura e umidade provocaram um aumento da V95 enquanto que variações em sentidos decrescentes dos mesmos contribuíram para uma diminuição da V95. Em outras palavras, a combinação de valores altos da umidade com valores altos da temperatura propiciaram um aumento dos valores da V95; e baixos valores da umidade e da temperatura proporcionaram valores baixos para V95. Baixas umidades independentemente da variação da temperatura por sua vez, conduziram a uma diminuição dos valores da V95 sendo que quanto mais alta a temperatura, mais baixos foram esses valores. Observa-se também que às altas umidades independentemente da variação da temperatura e sobretudo em seus valores mais baixos, a V95 teve seus valores mais altos. Na **Figura-9b** o efeito da umidade aparece mais uma vez evidente pois o perfil da curva tridimensional mostra que mantendo a temperatura constante a 125°C, o fenômeno é parecido com da **Figura-9a** em termos de tendência, pois variações em sentidos crescentes da rotação e da umidade fizeram a V95 aumentar. Já, a variação desses mesmos fatores em sentidos decrescentes levaram à diminuição da V95, que teve valores baixos à baixa umidade e baixa rotação. É impotrante salientar que às baixas umidades, independentemente da variação da rotação a V95 teve valores baixos. A ocorrência dos mais altos valores para a V95 no tratamento à alta umidade e baixa rotação demonstra contudo que os grânulos de amido foram submetidos a uma degradação menos intensa onde predominou o efeito térmico devido ao maior tempo de residência dentro do cilindro do extrusor; o que acarretou o menor rompimento dos grânulos, resultando conseqüentemente em maior entumescimento. Esse fato explica também o papel lubrificante da água. Com o aumento da rotação, observou-se uma pequena diminuição dos valores da V95 em relação ao fenômeno anterior que pode ser interpretada considerando-se que o efeito mecânico resultou na maior degradação dos grânulos apesar do alto teor de umidade.

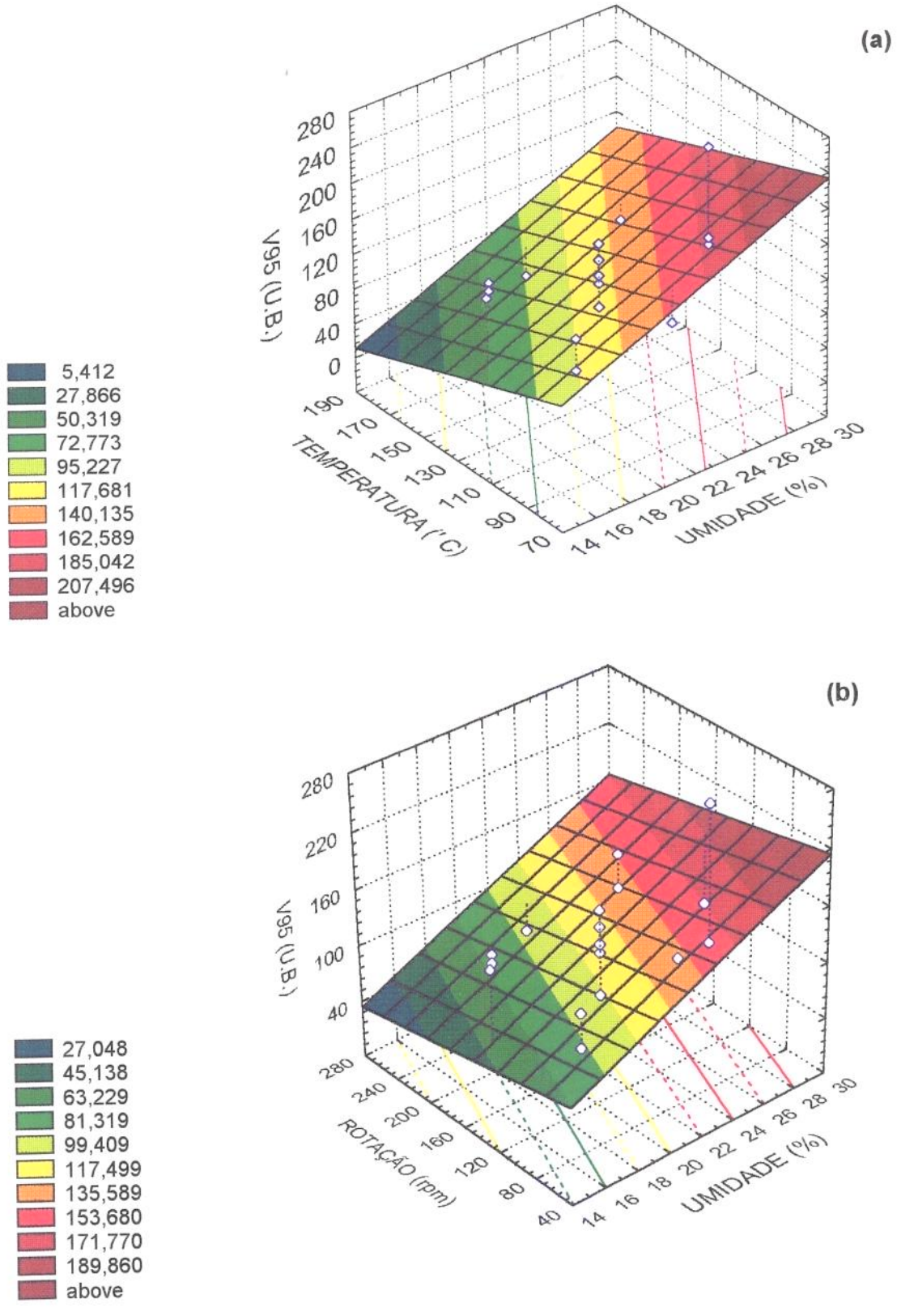


Figura-9: Influência das variáveis de extrusão na V95 do produto: **(a)**- Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 150 rpm; **(b)**- Efeito da umidade e da rotação à temperatura de 125°C.

4.3.4 Viscosidade da pasta no resfriamento (V50)

A viscosidade da pasta no resfriamento a 50°C é uma propriedade do amido que ocorre a medida que a temperatura no viscoamilograma diminui após atingir o valor máximo no aquecimento (95°C). O fenômeno de retrogradação do amido é basicamente uma cristalização decorrente do agrupamento das partes lineares das moléculas do amido através da formação de novas pontes de hidrogênio resultando na formação de precipitados e de géis poucos solúveis, afirmou COLLISON (1968). Esta propriedade é freqüentemente observada na pasta de amido gelatinizado e armazenado à baixa temperatura.

Em produtos extrusados, as propriedades desta viscosidade no resfriamento vai depender das modificações que ocorreram nas estruturas dos grânulos e das moléculas.

As mudanças que acontecem durante a retrogradação são de considerável importância no uso tecnológico do amido, principalmente em produtos como pudins , recheios de tortas e certas sobremesas onde deseja-se que o amido possua uma alta viscosidade a frio para que eles apresentem estabilidade quando conservados sob refrigeração. Os valores da V50 nas condições do processo são encontrados na **Tabela-10.**

O modelo de regressão para se obter a equação ajustada, a ANOVA e a estimativa dos efeitos, foram estabelecidos e podem ser vistos na **Tabela-13** com uma significância a nível de $p = 0,039$. O modelo não apresentou uma significância a nível de 1% para o teste de distribuição F da 1^a ordem e da 2^a ordem e explicou só 56,52% ($R^2 = 0,5652$) e 51,57% ($R^2 = 0,5157$) da variação da V50, respectivamente mas com valores relativamente baixos de falta de ajuste. A 1^a ordem é significativa a nível de 5% de significância para o teste F. Na equação, identificam-se os efeitos lineares e quadráticos da temperatura e da umidade e somente lineares da rotação copnsiderando o nível de significância $p \leq 0,05$ e demonstrando as suas influências evidentes na V50 tal como é mostrado através da estimativa dos efeitos.

Tabela-13: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para V50.

EQUAÇÃO

V50	R^2
$-712,085 + 9,136T + 41,619U - 1,37R - 0,011T^2 + 0,47U^2 - 0,4TU - 0,05UR$	51,57

T = temperatura
U= umidade
R= rotação da rosca
$p = 0,039$

ANOVA

Variação	S Q		M Q		G L		TESTE F		R^2 (%)	
	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
REGRESSÃO	35800,03	43997,34	11933,34	4888,56	3	9	4,33	1,18	56,52	51,5
RESÍDUOS	27542,83	41322,96	2754,28	4132,3	10	10				
F. AJUSTE	20009,5	33789,63	4001,89	6757,93	5	5	2,66	4,49		
ERRO PURO	7533,33	7533,33	1506,67	1506,67	5	5				
TOTAL	63342,86	85320,0								

Valores estatisticamente tabelados
1ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}3\text{-}10} = 6,55$ 1ª ordem $\Rightarrow F_{0,95\text{-}3\text{-}10} = 3,71$
2ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}9\text{-}10} = 4,94$

ESTIMATIVA DOS EFEITOS

EFEITOS	*(p)*	EFEITOS	*(p)*
$T = -70,0$	0,040	$U^2 = 7,53$	0,041
$U = 110,0$	0,020	$TU = -80,0$	0,010
$R = -30,0$	0,033	$TR = 20,0$	0,670
$T^2 = -6,61$	0,007	$UR = -20,0$	0,670

SQ = soma quadrática **MQ** = média quadrática **GL** = grau de liberdade
R^2 = coeficiente de correlação múltipla

A **Figura-10a** ilustra os efeitos da temperatura e da umidade na V50 para a rotação constante no ponto central a 150 rpm. A observação da curva tridimensional permite afirmar que os efeitos combinados de baixas temperaturas e de altas umidades fazem aumentar os valores da V50, enquanto que altas temperaturas e altas umidades mantêm os valores da V50 a níveis baixos (entre 100 e 140 U.B.). A V50 aumentou sensivelmente com o aumento da temperatura e diminuição da umidade e teve os seus menores valores quando essas duas variáveis estavam em seus níveis mais baixos e também nos mais altos.

Na **Figura-10b,** para uma faixa de rotação baixa, e com a diminuição da temperatura quando a umidade foi mantida constante a 22 %, a V50 teve seu maior aumento. Para produção de farinha de inhame extrusada com baixa grau de retrogradação, deve-se ajustar o equipamento para altas rotações da rosca, independentemente da faixa de temperatura onde a V50 apresentou os menores valores. Os valores da V50 diminuíram sensivelmente à alta temperatura e baixa rotação. Estas observações são semelhantes às obtidas por EL-DASH *et al.* (1984) que trabalharam com amido de milho. MERCIER *et al.* (1979) chegaram à mesma conclusão em estudos sobre extrusado de grits de milho.

A explicação para obtenção de menores valores para V50 vem do fato que, em tratamento severo, ocorreu degradação dos grânulos de amido e possíveis rompimento de sua estruturas moleculares que causaram a perda da capacidade de retrogradação das mesmas, diminuindo a viscosidade no resfriamento.

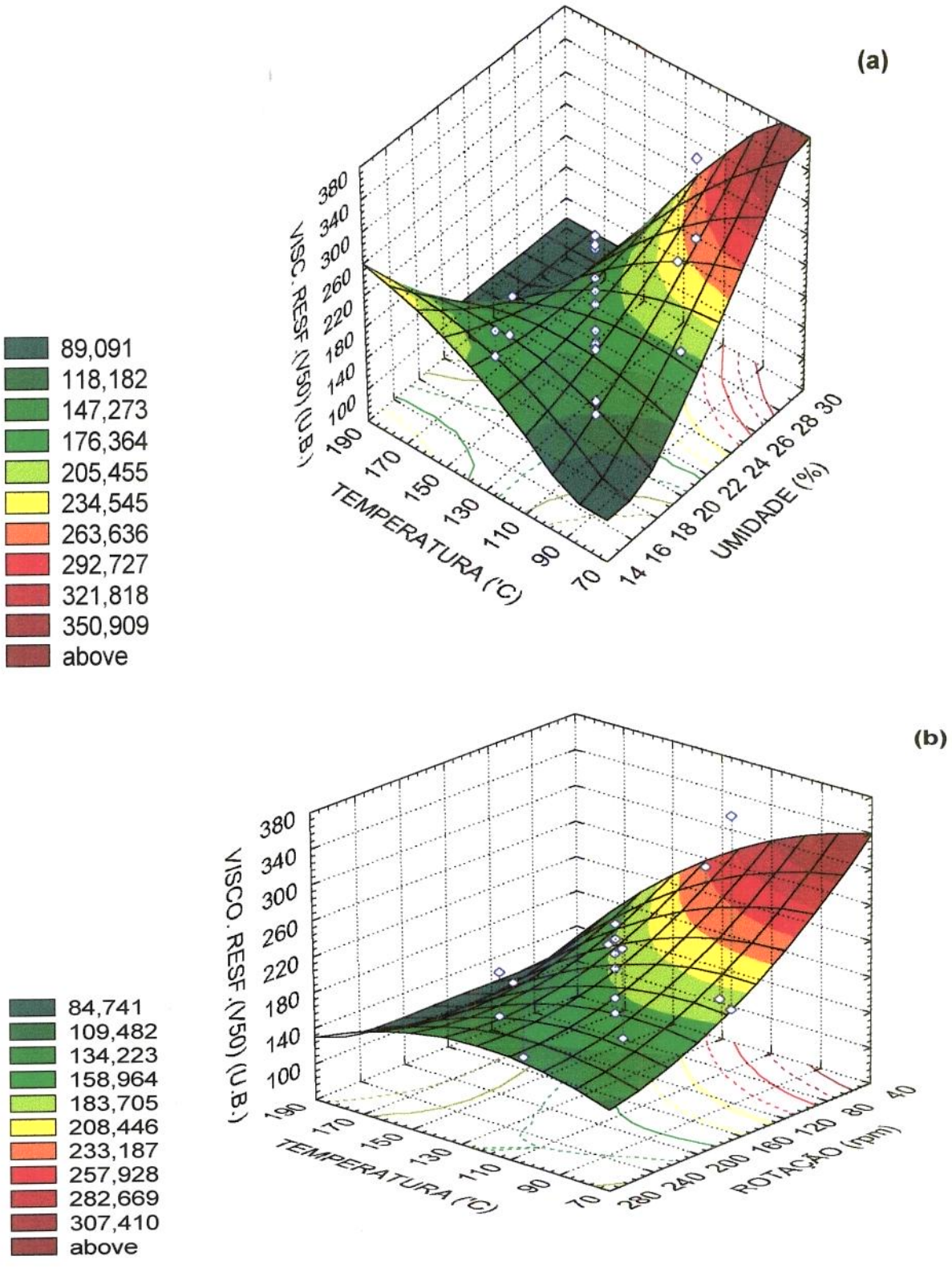


Figura-10: Influência das variáveis de extrusão na V50 do produto: **(a)**- Efeito da umidade e da temperatura à rotação de 150 rpm; **(b)**- Efeito da temperatura e da rotação à umidade de 22 %.

4.3.5 Índice de Absorção de Água (IAA)

O IAA depende da disponibilidade dos grupos hidrofílicos(-0H) para se ligar às moléculas de água e da capacidade de formação de gel das macromoléculas, afirmaram FAUBION *et al.* (1982b). Os grupos hidrofílicos disponíveis aumentam com o grau de gelatinização, enquanto que a capacidade de formação de gel diminui com a dextrinização. O IAA correlaciona-se bem com a viscosidade da pasta a frio porque apenas os grânulos de amido danificados e gelatinizados absorvem água e incham a temperatura ambiente, resultando em aumento da viscosidade.

Os valores de IAA encontrados experimentalmente sob diferentes condições de extrusão são mostrados na **Tabela-10** para o IAA. A ANOVA a equação de regressão ajustada, estão mostradas na **Tabela-14.** O estudo da ANOVA mostrou que o modelo não é adequado para expressar a variação da resposta devido primeiro, a não significância de p a nível de 5% ou seja $p = 0{,}258 > 0{,}05$, segundo, não foi também significativo a nível do teste F na forma linear ($R^2 = 0{,}3002$ ou 30,02% da variação) e na forma quadrática ($R^2 = 0.628$ ou 62,8% da variação) para 1, 5, e 10% de significância e com valores altos de falta de ajuste. Limitou-se contudo a fazer somente uma análise quantitativa do modelo do processo.

Tabela-14: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para IAA.

EQUAÇÃO

IAA	R^2
$958,07 - 5,16T - 66,57U + 6,99R + 0,02T^2 + 0,42U^2 + 0,42TU - 0,05TR + 0,01UR$	62,7

T = temperatura
U= umidade
R= rotação da rosca
$p = 0,258$

ANOVA

Variação	S Q		M Q		G L		TESTE F		R^2 (%)	
	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
REGRESSÃO	-	6,80	2,08	0,75	3	9	1,43	1,86	30,02	62,7
RESÍDUOS	-	4,05	4,85	0,40	10	10				
F. AJUSTE	-	3,81	4,61	0,76	5	5	19,78	16,36		
ERRO PURO	-	0,23	0,23	0,04	5	5				
TOTAL	-	10,85	6,93							

Valores estatisticamente tabelados

1ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}3\text{-}10} = 6,55$ 1ª ordem $\Rightarrow F_{0,95\text{-}3\text{-}10} = 3,71$

2ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}9\text{-}10} = 4,94$ 2ª ordem $\Rightarrow F_{0,95\text{-}9\text{-}10} = 3,02$

ESTIMATIVA DOS EFEITOS

EFEITOS	*(p)*	EFEITOS	*(p)*
$T = 0,78$	0,203	$U^2 = 0,21$	0,265
$U = 0,22$	0,514	$TU = 0,82$	0,140
$R = 0,57$	0,390	$TR = -1,12$	0,035
$T^2 = 0,07$	0,702	$UR = 0,02$	0,960

SQ = soma quadrática **MQ** = média quadrática **GL** = grau de liberdade
R^2 = coeficiente de correlação múltipla

A partir dos dados da **Tabela-15** é possível perceber a influência das combinações das variáveis temperatura, umidade e rotação sobre a resposta IAA. Assim, uma análise quantitativa permite observar que os efeitos destes fatores em seus menores valores implicaram em valores baixos do IAA. A medida que a temperatura e a umidade tiveram os seus valores aumentados independentemente da variação da rotação, os valores do IAA em sua maioria aumentaram também. Os mais altos valores do IAA que decorreram dos efeitos combinados dos mais altos valores da umidade e valores de intermediários para altos da temperatura e da rotação podem ser explicados pelo fato que os grânulos foram submetidos aos efeitos térmicos resultando portanto na liberação dos grupos hidrofílicos e conseqüentemente na maior facilidade de absorção de água. Os tratamentos com valores intermediários das três variáveis proporcionaram igualmente valores intermediários para IAA que oscilaram entre 5,5g.gel/g a 6,0g.gel/g. OWUSU-ANSAH *et al.*, (1983) observaram que na extrusão do amido de milho a interação entre a umidade e a temperatura foi o efeito mais significativo nas respostas de IAA. Por outro lado, um tratamento brando confere valores intermediários para o IAA.

Independentemente da variação da umidade, constatou-se que os menores valores da temperatura e da rotação provocaram os menores valores do IAA na maioria dos casos observados. Este fenômeno justifica a interpretação segundo o qual num tratamento ameno os grupos (-0H) não são liberados o suficiente para se ligarem às moléculas de água. Observou-se de modo geral que as três variáveis com seus valores elevados, tiveram influência considerável na variação de IAA que aumentou sensivelmente. Os trabalhos de MERCIER & FEILLET, (1975), CHAUHAN & BAINS (1988) e FAUBION *et al.* (1982b), relataram que o IAA aumenta com o aumento da temperatura e da rotação até um ponto máximo e depois tende a diminuir progressivamente.

Tabela-15: Efeitos das variáveis independentes no IAA.

	VARIÁVEIS INDEPENDENTES			VAR. DEP.
T	**X1**	**X2**	**X3**	**IAA**
1	100	18	100	4,9
2	150	18	100	5,7
3	100	26	100	3,9
4	150	26	100	7,0
5	100	18	200	6,2
6	150	18	200	5,4
7	100	26	200	6,0
8	150	26	200	6,0
9	125	22	150	5,9
10	125	22	150	5,6
11	125	22	150	5,6
12	125	22	150	6,0
13	125	22	150	6,1
14	125	22	150	6,0
15	83	22	150	6,6
16	167	22	150	6,8
17	125	15,3	150	6,8
18	125	28,7	150	7,4
19	125	22	66	6,1
20	125	22	234	6,2

T = tratamento; **X1** = temperatura; **X2** = Umidade; **X3** = Rotação da rosta

VAR. DEP`. = Variável Dependente.

4.3.6 Índice de Solubilidade em Água (ISA).

O Índice de Solubilidade em Água (ISA) depende da quantidade de moléculas solúveis e mede o efeito da gelatinização e da dextrinização. A característica de pegajosidade de alguns produtos amiláceos extrusados está relacionada com o aumento de sua solubilidade. O ISA aumenta de acordo com fatores como severidade do tratamento térmico, baixa umidade e grau de cisalhamento (MERCIER & FEILLET, 1975).

A **Tabela-10** mostra os valores de ISA encontrados para as farinhas extrusadas.

O modelo matemático de regressão ajustado resultou na equação final e na ANOVA da **Tabela-16.** A adequabilidade do modelo para expressar a reposta é dada tanto pela significância a nível de p =0,008, pelo teste F a nível de 1% de significância na sua forma quadrática para um coeficiente de correlação múltipla que explica 81.9% ou seja (R^2 = 0,819) da variação do ISA e pelos valores baixos de falta de ajuste do modelo.

A equação reajustada com a presença dos efeitos lineares das três variáveis, quadráticos da temperatura e da umidade e suas interações confirmam as suas importâncias na variação do ISA.

Tabela-16: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para ISA.

EQUAÇÃO

ISA	R^2
$34,27 - 0,057T - 3,033U + 0,36R - 0,03U^2 + 0,020\,T^2 + 0,36TU - 0,045TR$	81,9

T = temperatura
U= umidade
R= rotação da rosca
$p = 0,008$

ANOVA

Variação	S Q		M Q		G L		TESTE F		R^2 (%)	
	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
REGRESSÃO	395,89	583,38	131,96	64,82	3	9	6,3	5,0	65,3	81,9
RESÍDUOS	209,92	128,95	21,0	12,89	10	10				
F. AJUSTE	174,78	93,81	34,96	18,77	5	5	5,0	2,7		
ERRO PURO	35,14	35,14	7,02	7,02	5	5				
TOTAL	605,80	712,33			13	19				

Valores estatisticamente tabelados
1ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}3\text{-}10} = 6,55$ 2ª ordem$\Rightarrow F_{0,99\text{-}9\text{-}10} = 4,94$

ESTIMATIVA DOS EFEITOS

EFEITOS	(p)	EFEITOS	(p)
T = 9,3	0,003	U^2 = -0,34	0,031
U = -7,1	0,019	TU = 7,1	0,003
R = 7,8	0,014	TR = -0,9	0,029
T^2 = -1,15	0,021	UR= -1,8	0,099

SQ = soma quadrática **MQ** = média quadrática **GL** = grau de liberdade
R^2 = coeficiente de correlação múltipla

A **Figura-11a** mostra a curva tridimensional de superfície de resposta que destaca o efeito da umidade e da temperatura no ISA à rotação de 150 rpm. Nas condições do processo, constatou-se que altos valores de umidade em combinação com altos valores de temperatura provocaram os maiores aumentos do ISA quando esses dois parâmetros apresentaram os seus valores máximos. O ISA teve seus valores mínimos encontrados em baixas temperaturas e umidade acima de 25%. Abaixo de 25% de umidade, o ISA variou, aumentando-se até um certo ponto de seus valores intermediários com crescimento da temperatura, e em seguida voltou a cair. Os valores mais altos de ISA ocorreram nas condições de tratamento severo pois houve maior grau de gelatinização, desintegração dos grânulos de amido e possível despolimerização resultando em aumento do material solúvel.

O efeito da umidade e da rotação no ISA do produto à temperatura constante de 125°C é ilustrado na **Figura-11b**, em gráfico tridimensional onde é possível observar a influência da temperatura, da rotação da rosca e do conteúdo de umidade nas variações de ISA. Observou-se que a solubilidade da farinha de inhame extrusada aumentou com o aumento da rotação e diminuição da umidade evidenciando a ocorrência da desintegração do material amiláceo em condições severas de processo. DAVIDSON *et al.* (1984) e SMITH (1979) constataram também que a intensidade do tratamento influenciava muito no sentido de elevar o ISA. Por outro lado, baixos valores da rotação, independentemente da variação da umidade mantiveram o ISA em seus valores baixos. O ISA variou sensivelmente com o aumento da rotação à alta umidade e voltou a decrescer em seguida.

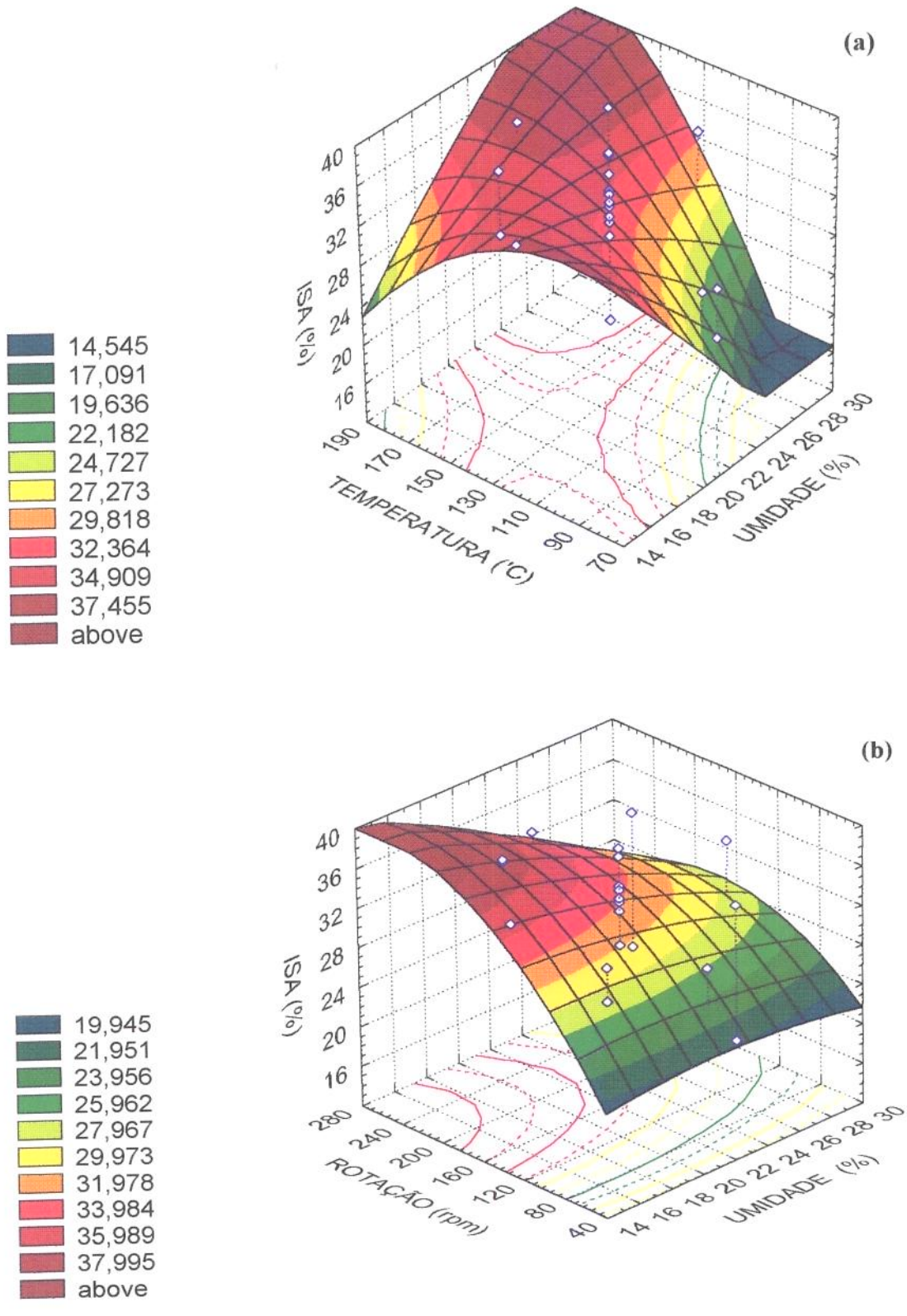


Figura-11: Influência das variáveis de extrusão no ISA do produto: **(a)**- Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 150 rpm; **(b)**- Efeito da umidade e da rotação à temperatura de 125°C.

4.4 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS FÍSICAS DOS EXTRUSADOS

4.4.1 Aparência dos extrusados

A **Figura-12** mostra os extrusados obtidos a partir da farinha de inhame nas diferentes condições experimentais. Observa-se que o diâmetro dos extrusados, considerado a princípio um indicativo do grau de expansão do produto, é bastante variado dependendo das condições empregadas. Isto ratifica que é possível produzir extrusados com diferentes aparências variando as condições do processo. Essas diferenças estão relacionadas com as características tecnológicas físicas que os produtos extrusados e moídos apresentaram.

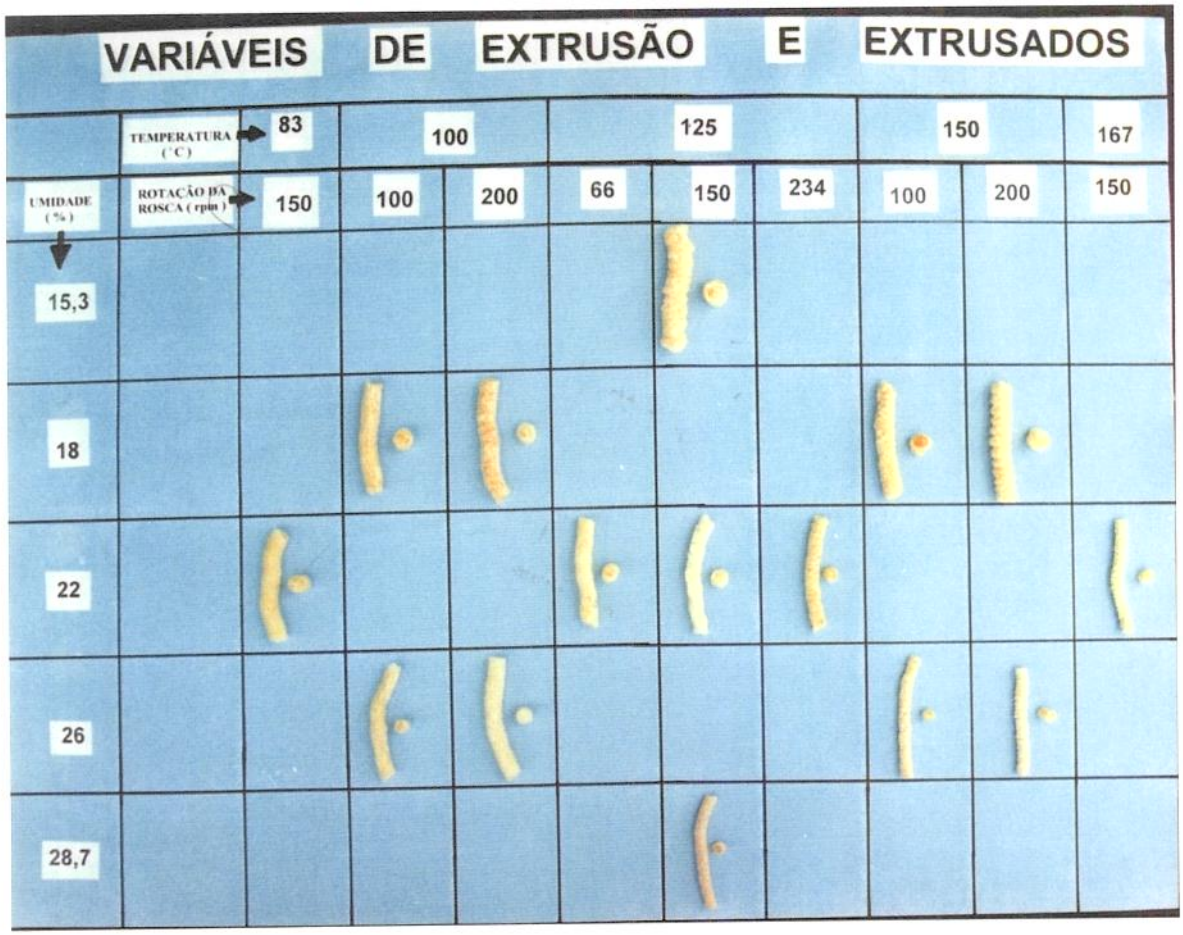


Figura-12: Aparência dos extrusados nas diferentes condições do processo.

4.4.2 Índice de Expansão

O fenômeno de expansão ocorre quando o amido está a uma temperatura superior à temperatura de transição vítrea, na fase amorfa onde os segmentos das cadeias moleculares adquiram uma forte mobilidade. Dentro da camisa do extrusor a água do material passa em fase superaquecida se a temperatura do extrusado ultrapassa 100°C sob alta pressão. Essa água evapora-se rapidamente logo na saída do produto do extrusor formando células de ar que ao fundir-se tornam-se macroscopicamente visíveis no produto final. O material amiláceo fundido vai então resfriar e solidificar-se em razão da energia de vaporização e do resfriamento por condução (COLONNA *et al.*, 1987).

Este fenômeno a priori é difícil de controlar devido à complexidade dos mecanismos do processo, e desempenha um papel essencial na aparência, dimensão e textura do produto. Segundo GUJSKA, e KHAN (1991), o grau de expansão afeta a densidade, a fragilidade e a maciez dos produtos extrusados. Este é um fator importante principalmente se o produto extrusado for utilizado como "snacks". O maior ou menor grau de expansão dos produtos extrusados vai depender das condições empregadas no processo.

Os dados relativos ao efeito das variáveis da extrusão sobre a expansão da farinha de inhame extrusada encontram-se na **Tabela-10.**

Por meio da análise estatística dos dados da **Tabela-10** obteve-se o modelo de regressão completo preditivo. A ANOVA e a equação de regressão que expressa a variação do Índice de Expansão das amostras extrusadas em função das variáveis estão apresentadas na **Tabela-17.**

O modelo foi altamente significativo a nível $p = 0,001$ e um teste F significativo a nível de 1% de significância tanto na 1ª ordem quanto na 2ª ordem e mostrou-se explicável no que diz respeito a falta de ajuste e erro puro cujos valores foram menores, explicando assim em termo de coeficiente de correlação 88,28%, ($R^2 = 0,8828$) da variação da resposta do IE no ajuste quadrático e 81,59% ($R^2 = 0,8159$) no ajuste linear. A equação ajustada demostra que somente a umidade e a temperatura pela ordem tiveram efeitos evidentes na expansão.

Tabela 17 Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para IE.

EQUAÇÃO

IE	R^2
$3,627 + 0,032\mathbf{T} - 0,24\mathbf{U} + 0,005\mathbf{U}^2$	88,28

T = temperatura
U= umidade
$p = 0,001$

ANOVA

Variação	S Q		M Q		G L		TESTE F		R^2 (%)	
	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
REGRESSÃO	0,58	1,85	0,19	0,2	3	9	14,78	8,37	81,59	88,28
RESÍDUOS	0,13	0,25	0,01	0,02	10	10				
F. AJUSTE	0,10	0,22	0,02	0,04	5	5	6,08	2,41		
ERRO PURO	0,03	0,3	0,06	0,0	5	5				
TOTAL	0,71	2,1			13	19				

Valores estatisticamente tabelados
1ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}3\text{-}10} = 6,55$
2ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}9\text{-}10} = 4,94$

ESTIMATIVA DOS EFEITOS

EFEITOS	*(p)*	EFEITOS	*(p)*
T = -0,21	0,003	**TU** = -0,18	0,012
U = -0,48	0,001	**TR** = 0,08	0,459
R = 0,11	0,924	**UR**= -0,09	0,408
$\mathbf{U}^2$ = 0,094	0,039		

SQ = soma quadrática **MQ** = média quadrática **GL** = grau de liberdade
$\mathbf{R}^2$ = coeficiente de correlação múltipla

A curva tridimensional de superfície quadrática da **Figura-13a** expõe com clareza a contribuição da temperatura e da umidade na variação de IE à rotação constante de 150 rpm. Assim observa-se que para uma faixa de umidade acima de 21 % e uma faixa de temperatura acima de 130°C, o IE apresentou seus menores valores. Em contrapartida, baixos valores de temperatura e de umidade proporcionaram os maiores aumentos do IE. Quanto menor a umidade à alta temperatura, mais cresceram os valores do IE. À alta umidade e baixa temperatura, o IE aumentou consideravelmente ficando em valores intermediários. Pesquisas realizadas por MERCIER & FEILLET (1975), GROSSMAM (1986) e CHANG (1989), mostraram comportamentos similares em amido extrusado de mandioca.

Na **Figura-13b** quando a temperatura foi mantida constante a 125°C variando a umidade e a rotação, na superfície quadrática, observou-se que o IE exibiu os mais altos valores, principalmente às baixas rotações e baixas umidades. Quanto às altas rotações, o aumento foi mais suave. Para os maiores valores da umidade, o IE apresentou valores baixos independentemente da variação da rotação. O perfil desta curva tridimensional comprova que a rotação não teve influência significativa na variação do IE.

OS valores observados para IE não estão totalmente de acordo com os resultados obtidos para ISA e para os valores de viscosidade, pois o aumento da extensão da gelatinização com variação da temperatura e umidade até determinado ponto não provocou necessariamente elevação do IE como relataram LINKO *et al.* (1981). Estes autores concluíram que com a desintegração granular, a partir de determinada temperatura, o IE tende a decrescer.

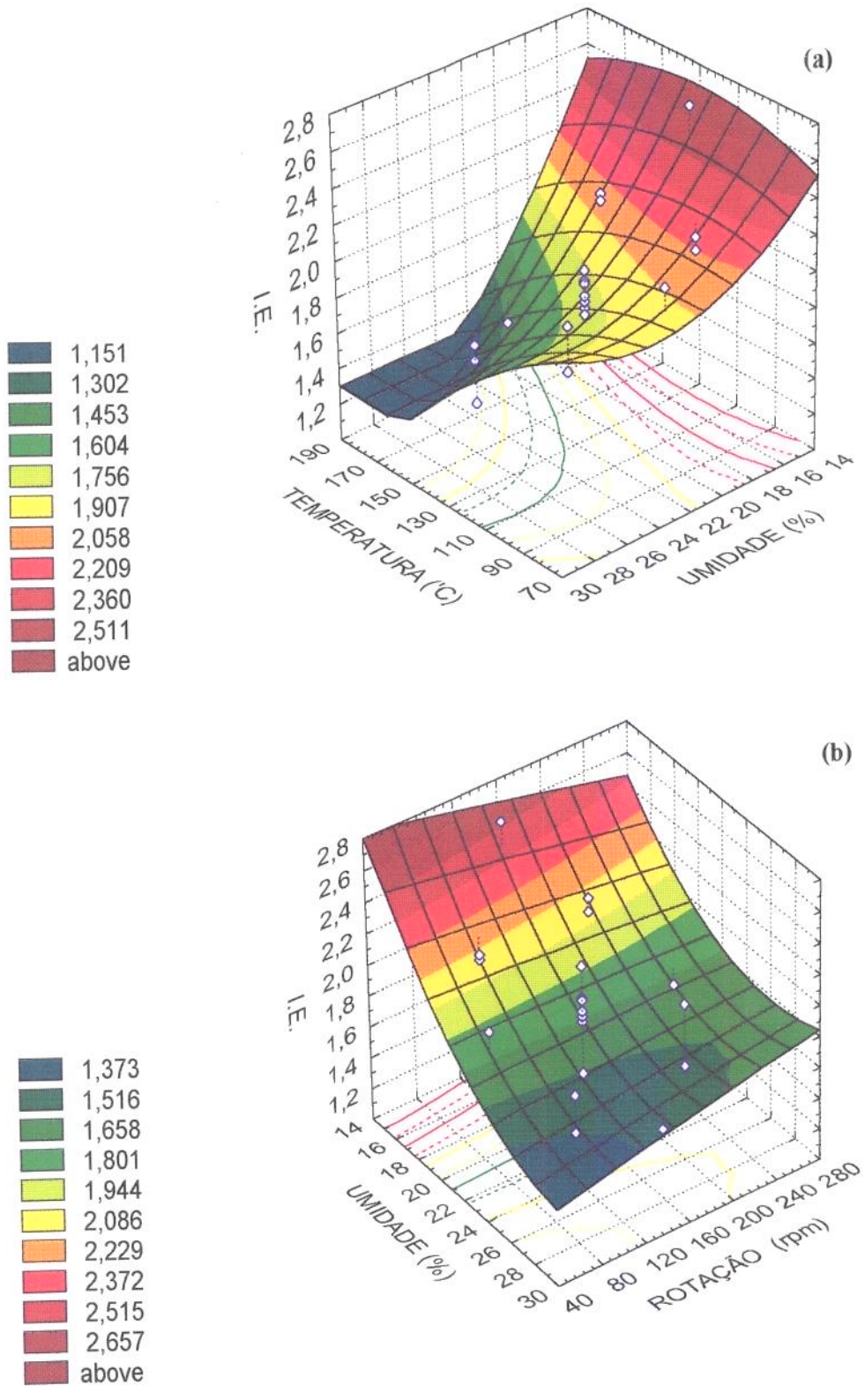


Figura-13: Influência das variáveis de extrusão no IE do produto: **(a)-** Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 150 rpm; **(b)-** Efeito da umidade e da rotação à temperatura de 125°C.

4.4.3 Densidade Aparente (DAP)

A Densidade Aparente ou massa volumétrica aparente é uma característica física importante em produtos extrusados pois interfere diretamente na embalagem e por via de conseqüência no custo do produto. As medidas de densidade devem ser somente feitas após secagem do material extrusado.

Os dados da densidade aparente para as condições experimentais deste trabalho são listrados na **Tabela-10.**

A partir destes dados foi elaborado um modelo matemático de regressão que expressa a relação entre as condições empregadas no processo e os valores obtidos da densidade aparente após os tratamentos. Este modelo apresentado na **Tabela-18** mostra a equação do modelo ajustado eliminando-se os termos não significativos, a análise de variância e a estimativa dos efeitos. O modelo, através do teste de distribuição $F_{0,99}$ da 2ª ordem da ANOVA e da significância a nível $p = 0,000$ mostrou-se altamente significativo e preditivo indicando um coeficiente de correlação múltipla elevado ($R^2 = 0,9418$), explicando 94,18% da variação da densidade aparente. A inexistência dos resíduos, do erro puro e a baixa significância da falta de ajuste justifica a adequabilidade total deste modelo. A forma linear por causa da incompatibilidade de seus valores é desprezível para explicar este modelo. A estimativa dos efeitos permite identificar na equação ajustada os efeitos linear, quadrático e de interção da temperatura e da umidade como variáveis de maior influência no processo.

Tabela-18 quação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para DAP.

EQUAÇÃO

DAP	R^2
$0,163 + 0,002T + 0,02U - 0,002U^2 - 0,037\ T^2 + 0,055\ TU$	94,18

T = temperatura
U = umidade
R = rotação da rosca
$p = 0,000$

ANOVA

Variação	S Q		M Q		G L		TESTE F		R^2 (%)	
	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
REGRESSÃO	0,06	0,14	0,02	0,16	3	9	4,44	17,98	57,14	94.18
RESÍDUOS	0,5	0,0	0,05	0,0	10	10				
F. AJUSTE	0,4	0,0	0,0	0,0	5	5	23,18	3,61		
ERRO PURO	0,0	0,0			5	5				
TOTAL	0,11	0,15			13	19				

Valores estatisticamente tabelados
1ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}3\text{-}10} = 6,55$
2ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}9\text{-}10} = 4,94$

ESTIMATIVA DOS EFEITOS

EFEITOS	*(p)*	EFEITOS	*(p)*
T = -0,15	0,000	$\mathbf{U^2}$ = -0,029	0,004
U = 0,08	0,000	**TU** = 0,06	0,000
R = -0,02	0,771	**TR** = -0,30	0,182
$\mathbf{T^2}$ = -0,037	0,000	**UR**= 0,01	0,490

SQ = soma quadrática **MQ** = média quadrática **GL** = grau de liberdade
$\mathbf{R^2}$ = coeficiente de correlação múltipla

Os gráficos tridimensionais de superfície de resposta que são ilustrados na **Figura-14**, a partir do modelo ajustado, mostra o comportamento da DAP em relação à variação 2 a 2 das variáveis empregadas no processo. Como a umidade e a temperatura foram os fatores que mais influenciaram no processo, achou-se por bem variá-las, fixando a rotação em 150 rpm. Para isso, observa-se na **Figura-14a** que os valores intermediários tanto da umidade (20 a 26%) quanto da temperatura (90 a 125°C) proporcionaram os maiores aumentos para os valores da densidade aparente. Altas temperaturas e baixas umidades contribuíram para diminuir o valor da densidade aparente, fato que foi também observado à baixa temperatura e alta umidade.

A **Figura-14b** descreve a expressão da equação ajustada da **Tabela-18** segundo a qual a rotação não teria influência significativa no processo. Nesta curva tridimensional, a densidade aparente variou praticamente somente em função da umidade, independentemente dos valores da rotação para um valor fixo de 125°C. Baixas umidades associaram-se com menores valores de densidade aparente, e altas umidades com maiores valores da densidade aparente, sendo que os valores mais altos de DAP apareceram à alta rotação.

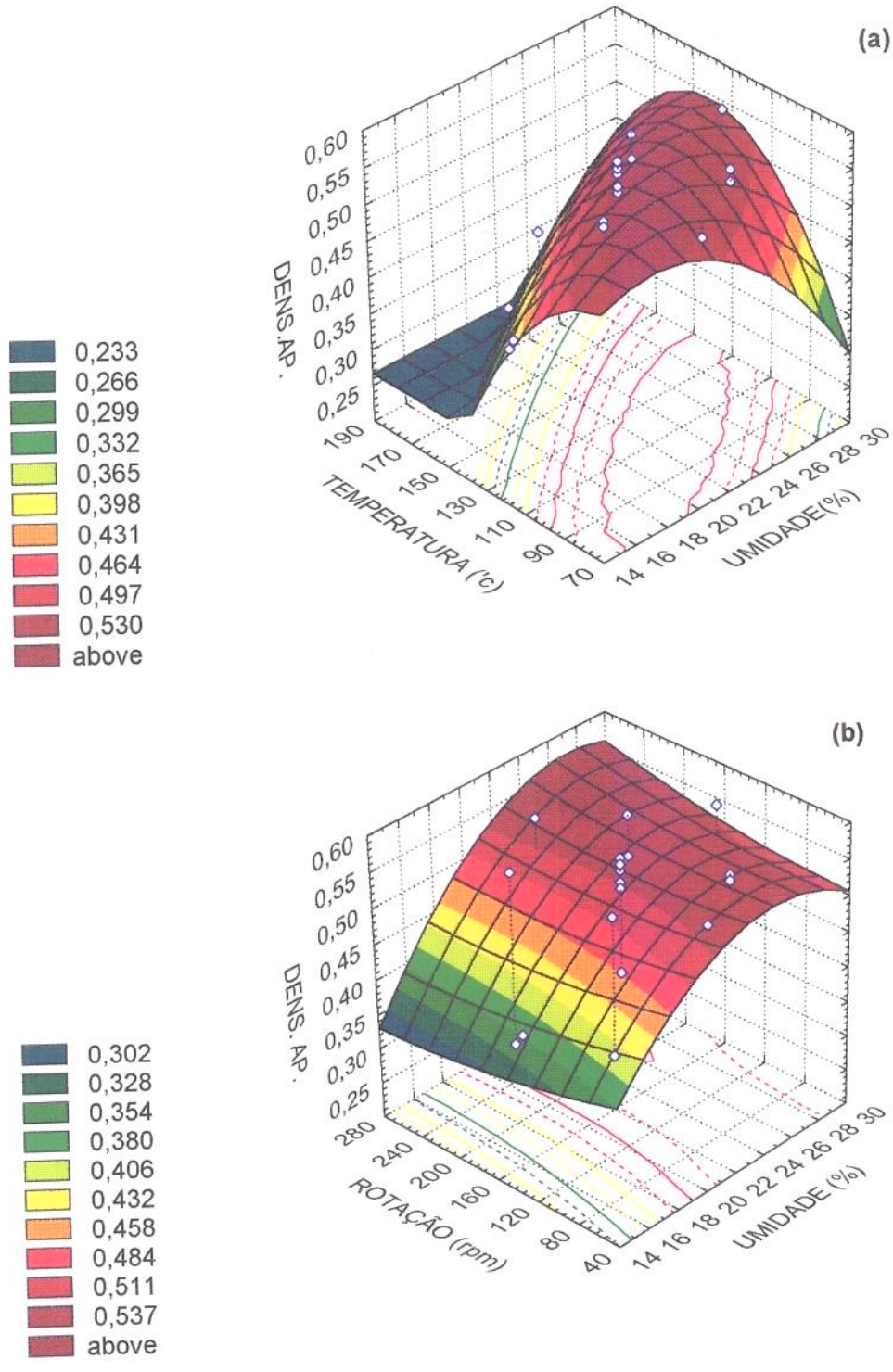


Figura-14: Influência das variáveis de extrusão na DAP do produto: **(a)**- Efeito da umidade e da temperatura à rotação de 150 rpm; **(b)**- Efeito da umidade e da rotação à temperatura de 125°C.

4.4.4 Relação entre Índice de Expansão e Densidade Aparente

O Índice de Expansão e a Densidade Aparente buscam descrever o grau de entumescência e as variações de peso e volume que sofreu a massa amilácea ao sair do extrusor. Deveria, a princípio, esperar que essas duas características se relacionassem uma com outra. Mas recentes trabalhos mostraram que nem sempre elas apresentam uma correlação, afirmaram PHILLIPS *et al.* (1984). A explicação para este fato vem do fato é que o Índice de Expansão considera a expansão somente na direção da força normal do fluxo dos extrusados, enquanto que a densidade aparente a considera em todas as direções.

Na **Figura-15a** é mostrada a influência da umidade numa possível relação expansão/densidade aparente. Observa-se que à alta umidade, a densidade aparente é inversamente proporcional ao índice de expansão, isto é, quanto maior a densidade menor o índice de expansão. Para valores menores da umidade, quanto maior o valor da densidade aparente, maior o valor do índice de expansão. Os baixos valores de umidade resultaram em baixos valores de densidade aparente independentemente da variação do índice de expansão.

Na **Figura-15b**, vê-se que quanto maiores os valores da temperatura, maiores são os valores da densidade aparente e menores os valores do índice de expansão. À alta temperatura, o produto apresentou menor Índice de Expansão independentemente da variação da densidade aparente.

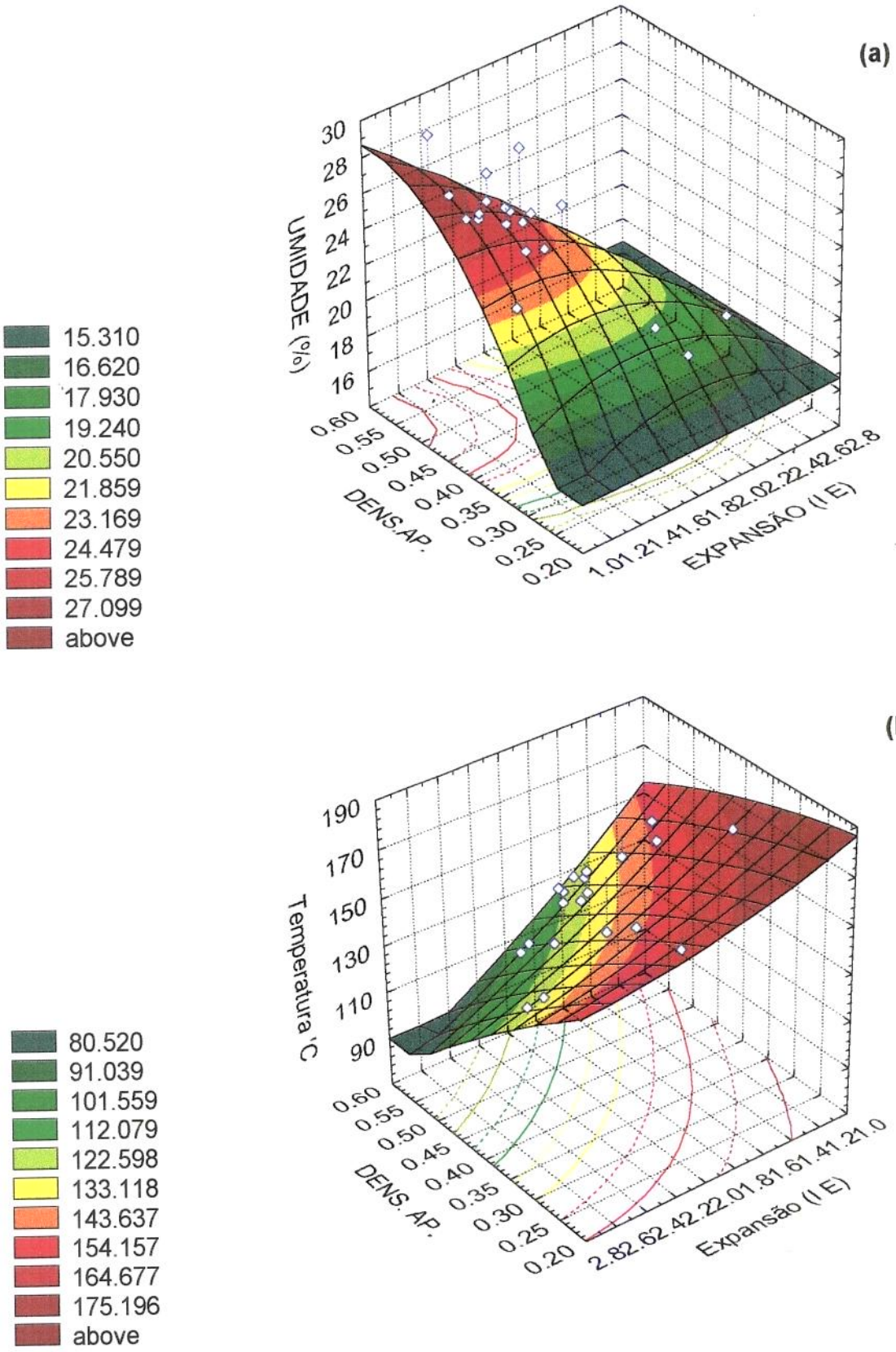


Figura-15: Influência das variáveis de extrusão na relação IE/DAP: **(a)**- Efeito da umidade; **(b)**- Efeito da temperatura.

4.4.5 Dureza

A dureza (resistência à ruptura) dos extrusados é uma propriedade onde a transição vítrea é de suma importância. Para o material extrusado, o aumento rápido da mobilidade molecular, a nível da temperatura de transição vítrea, provoca uma modificação rápida na crocância do produto (ATTENBURROW *et al.*, 1993). A dureza do extrusado depende então do grau de expansão e da forma na qual as células de ar são distribuídas na formação da estrutura final.

Os valores experimentais da dureza dos produtos obtidos estão mostrados na **Tabela-10.**

A equação ajustada com os termos significativos, o modelo de regressão e a estimativa dos efeitos aparecem na **Tabela-19.**

O modelo decorrente da análise estatística dos dados da tabela que segue foi significativo a nível $p = 0,002$. O teste F não apresentou significância a nível de 1% para o ajuste linear da 1^a ordem (F = 0,79) e para ajuste quadrático da 2^a ordem (F = 4,04). No entanto o teste F a nível de 5% da 2^a ordem pode ser considerado satisfatório em termo de significância e explicou 78,47% ($R^2 = 0,7845$) da variação da dureza. Neste caso, o ajuste da 2^a ordem do ponto de vista qualitativa e quantitativa explicaria melhor o modelo levando-se em conta também a falta de ajuste e o erro puro que tiveram valores menos expressivos. As três variáveis estudadas interferiram significativamente no processo, com ênfase à umidade como evidencia a estimativa dos efeitos em relação à equação do modelo.

Tabela-19: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para DUR.

EQUAÇÃO

DUR	R^2
$-35,99 - 0,066T + 4,12U + 0,084R - 0,131U^2 + 0,009TU + 0,049UR$	78,47

T = temperatura
U = umidade
R = rotação da rosca

$p = 0,002$

ANOVA

Variação	S Q		M Q		G L		TESTE F		R^2 (%)	
	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
REGRESSÃO	18,76	138,0	6,25	15,34	3	9	0,79	4,04	19,24	78,45
RESÍDUOS	78,75	37,92	7,87	3,79	10	10				
F. AJUSTE	67,63	26,80	13,53	5,36	5	5	6,08	2,41		
ERRO PURO	11,13	11,13	2,23	2,23	5	5				
TOTAL	97,51	176,0			13	19				

Valores estatisticamente tabelados

1ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}3\text{-}10} = 6,55$ 2ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}9\text{-}10} = 4,94$

2ª ordem $\Rightarrow F_{0,95\text{-}9\text{-}10} = 3,02$

ESTIMATIVA DOS EFEITOS

EFEITOS	*(p)*	EFEITOS	*(p)*
T = -0,97	0,046	$\mathbf{U^2}$ = -2,313	0,001
U = 2,73	0,036	**TU** = 1,72	0,032
R = 1,0	0,038	**TR** = 0,30	0,742
$\mathbf{T^2}$ = -0,695	0,103	**UR**= 1,97	0,236

SQ = soma quadrática **MQ** = média quadrática **GL** = grau de liberdade
$\mathbf{R^2}$ = coeficiente de correlação múltipla

Essas influências destacam-se melhor nos gráficos tridimensionais de superfície de resposta que aparecem na **Figura-16.** O comportamento da variação da dureza em função da temperatura e da umidade à rotação constante de 150 rpm mostra que os extrusados com maiores resistências a ruptura foram aqueles que foram tratados a uma faixa de umidade intermediária (18 a 23%) e a uma faixa de temperatura que variou até, 110°C exibindo assim valores mais altos. Nas temperaturas baixas e umidades relativamente altas ocorreu a predominância da compactação do material amiláceo, como acontece no processamento de macarrão. Altas temperaturas e baixas umidades reduziram bastante a resistência à ruptura quando esta apresentou seus menores valores conforme ilustrado na **Figura-16a.**

Na **Figura-16b,** quando a temperatura de extrusão foi mantida constante à 125°C, foi evidente observar a influência da combinação dos valores intermediários da rotação (100 a 150 rpm) e da umidade (18 a 23%) no aumento da resistência à ruptura do produto. Os valores extremos tanto baixos quanto altos de ambas as variáveis produziram os menores valores da resistência à ruptura.

A menor resistência a ruptura do produto foi atribuída principalmente à evaporação instantânea da água superaquecida antes da solidificação da estrutura, conferindo ao produto uma característica porosa e expandida. Entretanto, este fato também pode ser observado quando ocorre a predominância da compactação do material amiláceo.

A maior resistência a ruptura é atribuída á baixa pressão interna e conseqüentemente a uma evaporação lenta da água do produto na saída da matriz permitindo uma solidificação da estrutura antes que ocorra um grau adequado de expansão, o que limita a expansão do produto que tem a sua estrutura compactada como afirma CHANG, (1989).

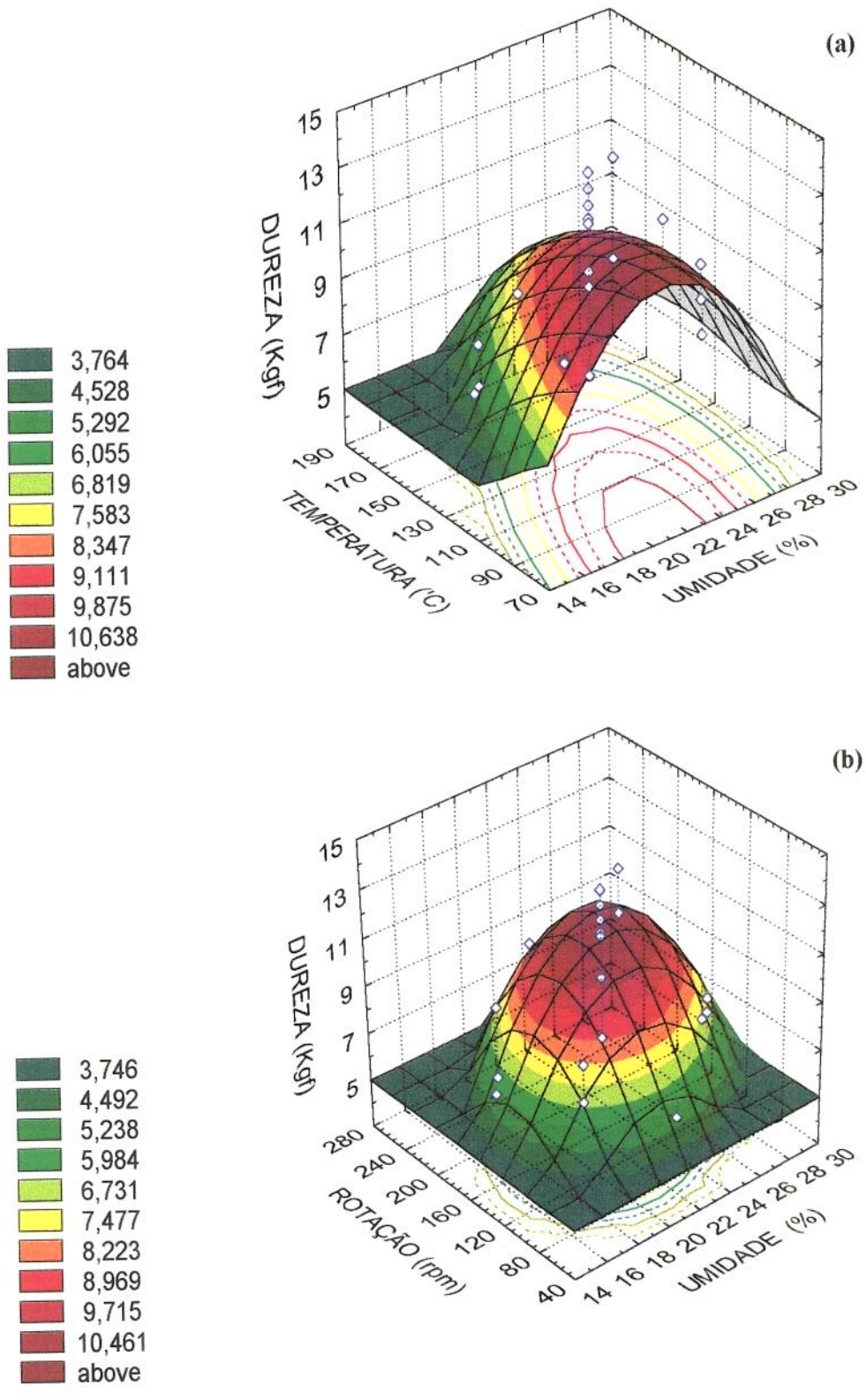


Figura-16: Influência das variáveis de extrusão na dureza do produto: **(a)**- Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 150 rpm; **(b)**- Efeito da umidade e da rotação à temperatura de 125°C.

4.4.6 Cor da farinha extrusada.

A formação de cor durante o processo de extrusão proporciona importante informação a respeito do grau do tratamento térmico. ΔE define a diferença de cor entre o produto extrusado e a matéria prima que é a farinha crua de inhame. A estabilidade da cor é uma das características de qualidade para alimentos extrusados que são normalmente consumidos diretamente sem um posterior tratamento térmico. MANOHARKUMAR *et al.* (1978) descreveram a importância das condições operacionais de extrusão na perda da cor no grits de milho. ΔE reflete a influência das variáveis sobretudo da energia aplicada ao processo em termo de temperatura e rotação da rosca na cor dos extrusados.

Os valores da diferença de cor calculados se encontram na **Tabela-10.** O modelo matemático de regressão que descreve a relação entre as variáveis do processo e a diferença de cor está mostrado na **Tabela-20** através da equação ajustada, da análise de variância (ANOVA) e da estimativa dos efeitos.

O estudo estatística do modelo para expressar melhor a resposta apresentou uma probabilidade $p = 0,004$ altamente significativa e no ajuste linear (1ª ordem) um teste de distribuição F = 13,44 que é um valor superior ao do ajuste quadrático (2ª ordem) onde o teste F = 6,78. Os dois testes são significativos a nível de 1% Em compensação o ajuste da 2ª ordem explicou 85,95 % ($R^2 = 0,8595$) da variação da diferença de cor enquanto o ajuste da 1ª ordem explicou 80,12 % ($R^2 = 0,8012$). Ambos os ajustes tiveram menores valores para resíduos, falta de ajuste e de erro puro.

O gráfico tridimensional de superfície de resposta da **Figura-17a** estabelecido a partir do modelo ilustra com clareza a influência maior da temperatura e a contribuição da rotação na diferença de cor quando a umidade é mantida a 22%. Percebe-se que a medida que a temperatura aumenta, cresce o valor da diferença de cor independentemente da variação da rotação. Os valores mais baixos da diferença de cor ocorreram quando a temperatura e a rotação estão em seus níveis mais baixos o que comprova que esses níveis não favorecem a ocorrência de reações de escurecimento não enzimático. Esses fatores comprometem a cor dos produtos processados por extrusão.

Na **Figura-17b,** o comportamento do gráfico tridimensional comprova efetivamente que a temperatura foi o fator que mais interferiu significativamente na mudança de cor da farinha de inhame extrusada fixando-se a rotação em 150 rpm e variando-se a temperatura e a umidade. Para tanto, quanto maior a temperatura, maior a Δ E independentemente da variação da umidade. Baixas temperaturas (tratamento brando), independentemente também da variação da umidade, proporcionaram baixos valores para ΔE.

Tabela-20: Equação, análise de variância (ANOVA) e estimativa dos efeitos da regressão para DCO.

EQUAÇÃO

DCO	R^2
$45,82 + 3,948T + 0,001U + 0,075R + 0,99T^2 - 0,005R^2 - 0,025TR$	85,95

T = temperatura
U= umidade
R= rotação da rosca

$p = 0,004$

ANOVA

Variação	S Q		M Q		G L		TESTE F		R^2 (%)	
	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
REGRESSÃO	245,27	318,03	81,75	35,33	3	9	13,43	6,79	80,12	85,95
RESÍDUOS	60,83	52,0	6,08	5,20	10	10				
F. AJUSTE	42,99	34,16	8,59	6,83	5	5	2,4	1,91		
ERRO PURO	17,94	17,84	3,56	3,56	5	5				
TOTAL	306,10	370,03			13	19				

Valores estatisticamente tabelados
1ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}3\text{-}10} = 6,55$
2ª ordem $\Rightarrow F_{0,99\text{-}9\text{-}10} = 4,94$

ESTIMATIVA DOS EFEITOS

EFEITOS	*(p)*	EFEITOS	*(p)*
T = 8,47	0,000	$\mathbf{R^2}$ = 0,506	0,046
U = -7,07	0,043	**TU** = -1,04	0,460
R = -0,95	0,028	**TR** =-1,57	0,035
$\mathbf{T^2}$ = 0,932	0,016	**UR**= -1,01	0,661

SQ = soma quadrática **MQ** = média quadrática **GL** = grau de liberdade
$\mathbf{R^2}$ = coeficiente de correlação múltipla

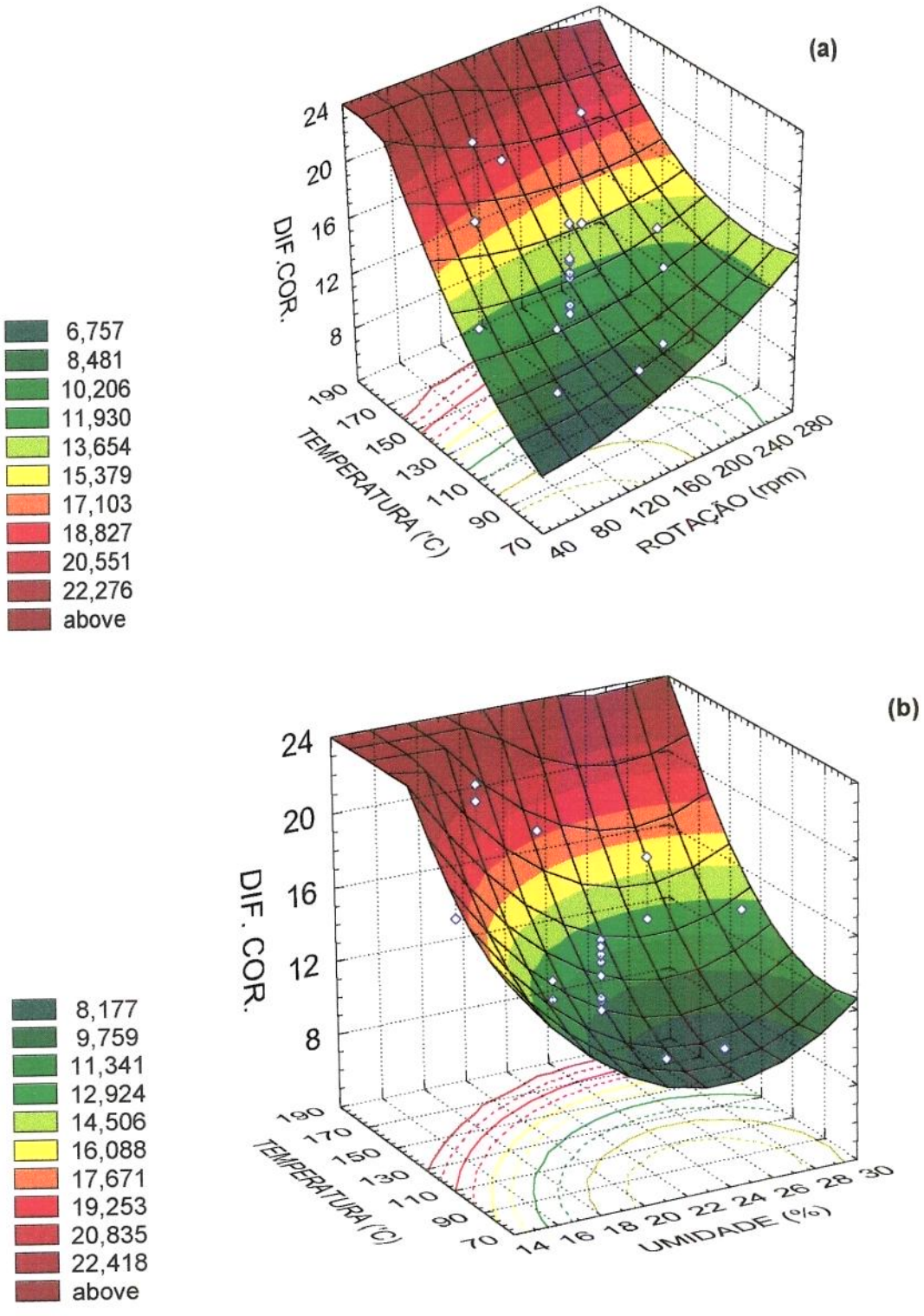


Figura-17: Influência das variáveis de extrusão na diferença de cor (ΔE) do produto: **(a)**-Efeito da temperatura e da rotação à umidade de 22 %; **(b)**-Efeito da temperatura e da umidade à rotação de 150 rpm..

5- CONCLUSÃO

A análise dos dados experimentais obtidos no que diz respeito às características tecnológicas do inhame (*D. rotundata)* permite concluir que:

As características funcionais e físicas que foram avaliadas nesta pesquisa proporcionaram para esta raiz os seguintes aspectos de ponto de vista da sua aplicação tecnológica.

- A viscosidade amilográfica usando 46g da farinha crua indicou a sua utilização em alimentos que podem receber tratamento térmico uma vez que possui uma alta estabilidade de pasta e uma resistência mecânica durante o cozimento. A tendência à retrogradação da pasta mostrou-se lenta não apresentando crescimento repentino, característico dos materiais amiláceos com alto teor de amilose.

- As curvas viscoamilográficas do material extrusado nas diferentes condições experimentais apresentaram ausência de pico de viscosidade durante o aquecimento e pela presença de viscosidade a frio. As propriedades viscoamilográficas mostraram-se dependentes praticamente das três variáveis empregadas no processo. De modo geral, a VI30 teve tendência de elevação para temperatura e umidade altas enquanto que a variação da V95 foi proporcional principalmente à variação da umidade. Quanto a V50, baixos valores da rotação e altos valores da umidade combinados com baixos valores da temperatura provocaram seus altos valores.

- Uma análise quantitativa do Índice de Absorção de Água (IAA), a despeito da curva tridimensional devido à não significância estatistica do modelo, permitiu concluir que as três variáveis influenciaram de fato nessa propriedade pois o aumento de pelo menos duas dessas variáveis implicava no acréscimo do IAA; por outro lado, o Índice de Solubilidade em Água (ISA) já significativo aumentou com altos valores de temperatura, de rotação da rosca e baixa umidade.

- .Valores altos de temperatura e de umidade contribuíram para a queda do IE, enquanto baixos valores da umidade independente da variação da temperatura proporcionou um aumento do IE.

● valores intermediários das variáveis temperatura e umidade produziram extrusados com maiores resistências à ruptura (DUR). Alta temperatura, assim como alta e baixa umidade, reduziram a dureza.

● Os valores intermediários da temperatura (110 a 130°C) e a umidade (20 a 24) influenciaram significativamente a Densidade Aparente (DAP).

● Quanto à Diferença de Cor (ΔE), o modelo mostrou que os efeitos térmicos e mecânicos dos fatores tiveram influência preponderante na variação da Diferença de Cor. Quanto maior o valor destes fatores maior, é esta diferença.

O uso tecnológico do inhame através do processo de extrusão pode ser realizado para a produção de vários produtos tais como:

⇨ snacks onde uma boa crocância é considerada como uma característica importante do produto, podendo ser obtido a partir de combinação de três parâmetros tais como alta expansão e valores intermediários de dureza e de ISA.

⇨ Uma boa qualidade de farinha pre-gelatinizada é obtida a partir da combinação de valores altos tanto da VI30 quanto do IAA e valores menores para ISA.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. - AACC. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists.** 7a ed. rev. St. Paul, (AACCMethods: 44-15; 16-10; 30-20; 81-31), 1976

2. ANDERSON, R.A; CONWAY, H.F. PFEIFER, V.V.& GRIFFIN Jr, E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. ***Cereal Sci. Today***, 14(1): p. 4-11, 1969

3. ATTENBURROW, G.E. ; DAVIES, A.P. ; GOODBAND, R.M. & INGMAN, S.J. The frature behaviour of starch and gluten in the glassy state. ***J. Cereal Sci.***, 16, p. 1-12, 1993.

4. BAQUAR, S.R.; OKE,O.L. Mineral constituents of Nigerians yams .***Nutr. Rep. Int.*** 15: p 265-272, 1977

5. BARROS, N.B.; SCARMINIO, I.S. & BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos** Editora da Universidade Estadual de Campinas-Unicamp, Campinas, Sries manuais,

6. BELL, A. Mineral Content of yam tubers: raw, boiled and as flour. In: ***Tropical Root Crops: Production and Uses in Africa,*** ed Terry, E.R; Dokuev; Arene, O.B.; Mahunga, N.M. IDRC-221e, Otawa, Canada, pp 157-160, 1983

7. BJÖRCK, I. ASP, N. G. The effect of extrusion-cooking on nutricional value. ***J. Food Eng.***, (2) 281-308, 1983

8. BOX, G.E.P.; BEHEKEN, D. W. Somenew three level designs for the study of quantitative variables. ***Tehnometrics,*** 2(4): 455-475, 1960

9. BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. **Empirical Model-Building with Response Surface**, a book to be published, 1967 .

10. BOX, G.E.P.; HUNTER,W.G. & HUNTER, J.S. **Statistics for experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building.** John Wiley and Sons, New York , 1978.

11. BOX, G.E.P.; WETZ, J. Criteria for judging adequacy of estimation by approximate response function. University of Wisconsin. ***Tecnical Report***, 9 , 1973

12. BRADBURY, J. H. ; COLLINS, J. G. Digestibility of proteins of histological components of cooked and raw rice. ***Brit.Nutr***. 52: p. 507-513, 1984

13. BRADBURY, J. H. SINGH, U. Ascorbic acid and dehydroascorbic acid content of tropical root crops of the South Pacific.***J. Food Sci***. 51: p. 975-978, 1986a

14. BRADBURY, J. H. SINGH, U.Thiamin, Riboflavin and Nicotinic acid contents of tropical root crops from the South Pacific.***J. Food Sci***. 51: p. 1563-1564, 1986b

15. BRADBURY, J.H.; HOLLOWAY W.D. Tropical Root Crops of the South Pacific: ***Chemistry, Nutrition and Agriculture. Australian Centre for International Agicultural Research,*** Canberra, Australia, in press, 1988

16. BRADBURY, J.H.; BRADSHAW, K.; JEALOUS, W. Effect of Cooking on Nutrient content of tropical Root Crops from the South Pacific. ***J. Food Sci.Agric.*** 43: 333-342, 1988

17. BURKILL, I. H. The organography and the evolution of the *Dioscoreacea* , the family of the yams. ***J. Linn, Soc. (Bot),*** 56: p.319- 412, 1960

18. CHAN, H. T. J. ; KAO-JAO, T. H. Anthocyanin composition of taro. ***J. Food Sci.,*** 42: p 19- 21 ,1977.

19. CHANG, Y. K. Efeito da concentração de ácido, umidade e temperatura na hidrolíse de amido de mandioca por extrusão termoplástica visando a produção de álcool, Campinas, FEA, Unicamp, tese (doutorado), 1989, 183 p.

20. CHARBONNIERE, R. ; DUPRAT, P. & GUILBOT, T. Changes in various starches by extrusion cooking processing II. Physical struture of extruded products. ***Cereal Sc. Today***, 18: p. 286, 1973.

21. CHAUHAN, G.S. & BAINS, G.S. Effect of some extruder variables on physico chemical properties of extruded rice legume blends. ***Food Chemistry***. 27(3): p. 213-224, 1988

22. CHEFTEL, J.C ; CUQ, J.L.; LORIENT, D. Aminoacids , peptides and proteins In : ***Food Chemistry (2nd edn.),*** ed. Fennema, O. R ; Marcel Dekker, New York .. . p.245-269, 1985

23. CHEFTEL, J.C. Nutritional effects of extrusion cooking. ***Food Chemistry, 20(3):263-283,*** 1986

24. CHIANG, B.Y. & JOHNSON, J.A.Gelatinisation of starch in extruded products. ***Cereal Chem.*** 54(3): 436-443, 1977

25. CLARK, J.P. Texturization by extrusion. ***J. Text.Studies*** 9(1-2): 109-123, 1978

26. COLLISON, R. Starch retrogradation. ch. VI. In. **Starch and its derivatives**. Ed. by Radley, J. A. 1º Ed Chapman and Hall ltd, London, 1968

27. COLONNA, P.; DOUBLIER, J.L.; MELCION, J.P.; DE MONTREDON, F. & MERCIER,C. Extruson cooking and drum drying of wheat starch.I. Physical and macromolecular modification. ***Cereal Chem.*** 61(6): 538-543,1984.

28. COLONNA, P.; BULEON, A. & MERCIER, C. *Pisum satirum* and *Vicia faba* carbohydrates: structural studies of starches. ***J. of Food Sc.*** 46: p 88-93, 1981

29. COLONNA, P.; BULEON, A. & MERCIER, C. Physically modified starches In. ***Critical Reports on Applied Chemistry.*** vol. 13, Starch: Properties and potencial. T. Gaillard ,ed. John Wiley & Sons; NewYork p. 79-114, 1987

30. COLONNA, P. & MERCIER, C. Macromolecular modification of manioc starch components by extrusion cooking with and without lipids. ***Carbohydrates Polymers.*** 3: p. 87-108, 1983.

31. COURSEY, D.G.; AIDOO, A. Ascorbic acid levels inGhanaian yams. ***J. Sci. Food Agri.*** 17: p. 446-449, 1966

32. COURSEY, D.G. **Yams.** London, Longmans, 1967

33. COURSEY, D.G. and MARTIN, F.W. The past and future of yams as crop plants. ***Proc. 2nd Int. Symp. Trop. Root Crops,*** Hawaii, 1:87-90; 99-101., 1970.

34. DAVIDSON, S. PASSMORE, R. ***"Human nutrition and dietetics"*** p. 167, Churchill Livingtone, Edinburgh 1979.

35. DAVIDSON, V.J.; PATON, D.; DIOSADY, L. & LAROCQUE,G. Degradation of wheat in a single screw extruder: Characteristics of extruded starch polymers. ***J. food Sci.*** 48(5): 453-458, 1984.

36. DIOSADY, L.L. : PATON,D. ROSEN, N. RUBIN, L.J. & ATHANASSOULIAS, C Degradation of wheat starch in single screw extruder: Mechanico-kinetic break-down of cooked starch. ***J. Food Sci.*** 50, p. 1697-1699, 1706, 1985.

37. EERIKÄINEN, T. & LINKO, P. Extrusion cooking Modelling, Control and Optimization. *In:* **Extrusion cooking.** Mercier, C. Linko, P. & Harper, J. M. (ed.) AACC. St. Paul, p. 157, 1989.

38. EL-DASH, A.A. Aplication and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y. & MUNCH, L. eds. ***Cereals: a renewable resource, theory and practice.*** St Paul, Minnesota, AACC. p.1-52, 1982.

39. EL-DASH, A.A. ; GONZALES, R. & CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: **Extrusion cooking technology.** Jowitt, R. ed. , London, Elsevier Applied science Publishers, p. 51-74, 1984

40. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. ***FAO Production Yearbook*** .Roma , Italy (1991).

41. FAO/ WHO Energy and Protein Requirements. Tech. Rep. Series 724. Expert Consultation. World Health Org. Geneva, 1985

42. FAUBION, J. M.; HOSENEY , R. C. High- Temperature Short- time extrusion cooking of wheat starch and flor. I . Effect of moisture and floour type on extrudaded properties . ***Cereal Chem.*** 59(6): 529-533, 1982a

43. FAUBION, J.M. ; HOSENEY,R. C. & SEIB, P.A. Functionality of grain components in extrusion Cereal Foods World. 27(5) ,p 212, 1982b

44. FITCHALI, J. & van de VOORT, F.R. Fundamental and pratical aspects of twin screw extrusion. ***Cereal Foods World.*** 34(11): 921-9, 1989.

45. FRANCIS, B.J.; HALLIDAY, D. ; ROBINSON, J.M.Yam as a source of edible protein. ***Tropical Science.*** 17: p. 103-110, 1975

46. FRANCIS, F.J.; CLYDESDALE, F. M. ***Food colorimetry***: theory and aplications.The AVI Publishing Co., Inc., 477p., 1975

47. GALLANT, D.J.; BEWA, H.; BUY, Q. H. ; BOUCHAT, O.; SZYLIT & SEALY, L. ***Starch/ Stärke***, 34, p. 255, 1982

48. GIMMLER, N. ; LAWN, F.& MEUSER, F. Influence of Extrusion Cooking Conditions on the Efficiency of the Cationization and Crboxymethylation of Potato Starch Granules.***Starch/Stärke*** , 46 , Nr 7 , p 268-276, 1994

49. GOMEZ, M.H. & AGUILERA, J.M. Change in the starch fraction durante extrusion cooking of corn. ***J. Food Sci.*** 48(2): p. 378-381, 1983

50. GOMEZ, M.H. & AGUILERA, J.M. A physicochemical model for extrusion process of corn starch. ***J Food Sci.*** 49(1): p. 40-43, 63, 1984

51. GUJKA, E. & KHAN, K. Functional properties of extrudates from high starch fration on pinto beans and corn meal blended with legume high protein fraction. ***J. Food Sci.*** 56(2): p. 431-435. 1991

52. GUY, R. C. E. & HORNE, A. W. Extrusion and co-extrusion of cereals. In : Blanshard J. M. V. , Mitchell, J. V. , (Ed), . **Food Structure Its Creation and Evaluation.** 331-349 Butteworths, London, 1988

53. GROSSMANN, M.V. E. Efeito da extrusão termoplástica na gelatinização do amido de mandioca visando a produção de álcool. Campinas, FEA, UNICAMP, Tese (Doutorado). 1986, 124 p.

54. HARMUTH-HOENE, A. E. & SEILER, K. Einfluss verschiedener Extrusionsbedingungen auf die Proteinqualität bei Weizenvllkorn-Extrudaten. ***Getreide Mehl Brot*** 38:245-249, 1984

55. HARPER, J.M. Food Extrusion, CRC. ***Crit. Rew. Food Sci. and Nutr***., vol.II N° 2, p. 155-215, 1979

56. HARPER, J.M. **Extrusion of foods.** Boca Ratón, CRC Press, V.I , 1981

57. HARPER, J.M. Extrusion and texturization of foods. ***Food Technology*** 40(3): 70-76, 1986.

58. HIMADRI, K.; DAS, A.; LAMBREV JEN HI TE, S. AKTERIAN, & TANTCHVEV, S. Response Surface Modelling of Extrusão Texturing of Defatted Soya Grits. ***J. Food Sci. Technol.*** 29(3): p. 141-146, 1992.

59. JAFFE, G.M. Vitamin C. In:***"Hand book of vitamins: Nutricional biochemical and Clinical aspects"*** MACHLIN (ed) ch. 5 p. 199 Marcl Dekker Inc. New York, 1984

60. JANSEN, G.R..; HARPER, J.M., O'DEEN, L. Nutritional evaluation of blended foods made with a low-cost extruder cooker, ***J. Food Sci.*** 43: p. 912-925., 1978.

61. JANSSEN, L.P.B.M., **Twin-screw extrusion**, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 172p. 1978

62. JANSSEN, L.P.B.M., Models for cooking extrusion. *In.*: **Food Engineering and Process Application, Unit Operations**. Vol. 2. . Elsevier Applied Science Publishers, New York, 1986

63. KETIKU, A.O.; OYENUGA,V.A. Preliminary report on the carbohydrate constituents of cassava root and yam tubers. ***Nigerian J. Sc.*** 4: p. 25- 30, 1970

64. KOUASSI, B.; VASSEUR, J.; FOURNET,B; DUBOIS, J.Ativités invertasiques de cultures de Dioscorea.***Rev. cyt. Biol. Veget.***7: p. 97-108, 1984.

65. LAPE, M. & TRECHEE, S. Nutritional quality of yam *(D.rotundata and D. dumetorum)* flours for growing rats. ***J. Sc. Food Agric.*** 66: p. 447-455, 1994.

66. LASER-REUTERSWÄRD, A. ; ASP, N. G. ; BJÖRCK, I. & RUDÉRUS, H. Effect of collagen content and heat treatment on protein digestibility and biological value of meat products ***J. Food Technol.*** 17: 115-123, 1982

67. LAWTON, B.J.; HENDERSONN, G. A. & DERLATSKA, E. J. The effets of extrusion variables on the gelatinization of corn starch. ***Can. J. Chem. Eng.*** 50(40): p. 168-172, 1972

68. LEACH, H., W., Gelatinization of starch, in ***Starch: Chemistry and Technology I. Fundamental Aspects,*** Whistler, R. L. and Paschall, E. F. Eds. Academic Press, New York, p 281, 1965

69. LEON, J. In: ***Araceas. Fundamentos botânicos de los cultivos tropicales***.Inst. Interamericano de Ciências Agrícolas de la O.E.A San José, Costa Rica, p. 132-138, 1968

70. LIENER, I.E.; KAKADE, M.L. Protease inhibitors.In: ***Toxic constituents of plants foodstuffs.*** ed. Liener, I.E. Academic, New York, p. 7-71,1980

71. LINKO, P.; COLONNA, P. & MERCIER, C. HTST extrusion of cereal based materials. In: POMERANZ, Y., ed. ***Advances in Cereal Science and Technology***, AACC, v.4, P:145-235, 1981.

72. LINKO, Y.Y.; VIORINEN, LINKO, P. The effect of HTST-Extrusion on retention of cereal amylase and on enzymatic hydrolysis of barley starch. In: ***Food Process Engeneering***, vol. 2., 1980.

73. LORENZ, K. & JOHNSON, J. A. Starch hydrolysis under high temperatures and pressures. ***Cereal Chem.*** , 49: p 616-628, 1972.

74. MANOHARKUMAR, B.; GERSTENKORN, P. ; SEILER, K. & BOLLING, H. On measurement of colour of maize and its products.***Indian J. Food Sci. Technol. vol. 15*** Jan-feb. 1978

75. MARTELLI, F.G., **Twin-screw extruders. A basic understanding.** Van Nostramd Reinhold Company, New-york, 1983, 220 p.

76. MARTIN, F. W. & RUBERTE, R. Yams (Dioscorea spp.) for the production of chips and fresh fries. ***J. Agric. Univ. Puerto. Rico.***56: 228- 234, 1972.

77. MARTIN, F.W.; THOMPSON, A.E.Protein content and amino acid balance of yams. ***J. Agric. Univ. Puerto Rico***. 57: p. 78-83, 1973

78. MARTIN, F.W. Tropical yams and their potential . part 3 . *Dioscorea* alata, ***Agriculture Handbook*** 495 p, Washington, D.C., USDA Agriculture Research Station, 1976

79. MARTIN, F.W. and SADIK, S. Tropical yams and their potentials - part 4. ***Agriculture Handbook.*** 502 p. Washington, D.C., USDA Agriculture Research Station., 1977.

80. MAZURS, E.G.; SCHOCH, T.J.; KITE, F.E. Graphical analysis of the Brabender viscosity curves of various starches.St. Paul ***Cereal Chem.*** 34(3): 141- 152, 1957

81. MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. ***Cereal Chemistry.*** 52(3-1): 283-297,1975

82. MERCIER, C. Effect of extrusion cooking on potato starch using a twin-screw french extruder. ***Die Stärke.*** 28(2) 48-52, 1977

83. MERCIER, C.; CHARBONNIERE,R.; GALLANT,D. & GUILBOT,A.Structural modification of various starches by extrusion cooking with a twin-screw french extruder.In: Blanchard & Mitchell ed. ***Polysaccharides in food.*** Butter worths,1979

84. MERCIER, C. Veränderungen der Struktur und Verdaulichkeit von Getreidestärken beim Extrudieren. ***Getreide Mehl Brot***, 34: 52-56, 1980

85. MISAWA, M. and MATSUBARA, M. Studies on the manufacturing of the powder of tuber of yam. ***Jap. Food Sci. Technol.*** 12: 23-29., 1965.

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

87. MOY, J.H.; SHADBOLT, B; STOEWSAND, G.S & NAKAYAMA, T. O. M.The acriolity fator in taro processing. ***J. Food Procc. and Preserv***. ,3: p.139-144, 1979.

88. MOY, J. H.;NIP, W.K.; LAI, A.O. ; TSAI, W.Y T. & NAKAYAMA,T.O. Development of extruded taro produtos. ***J.Food Sci.***, 45: p 652-656, 1980.

89. MOORTHY, S.N.; NAIR, S. G. Studies on Dioscorea rotundata starch properties. ***Starch/ Stärke***. 41,(3): 81-83, 1989.

90. MULVANEY, S.J.; HSIEH, F. ONWULATA, C. ; BRENT, J. & HUFF, H. Computer Control and Modelling of an Extruder: Dynamics. ASAE Meeting Chicago 3- 88-6517, 1988.

91. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES: (N.A.S) Taro-roots and tubers. In: ***Underexploited Tropical Plants with Promissing Economic Value.*** Washington, D.C p. 37-43, 1975

92. O'DEA, K., NESTEL, P. J. & ANTONOFF, L. Physical fators influencing postprandial glucose and insulin responses to starch. ***Am. J. Clin. Nutr***. 33: 760-765, 1980.

93. OLKKU, J. & LINKO,P. Effects of thermal processing on cereal based food sistems.In: Dawney, W. K. ed. ***Food Quality and Nutrition Research priorities for thermal processing.*** London, Applied Science Publishers, 1977

94. OPUTE, F.I. and OSAGIE, A.U. Fatty acid composition of total lipid from some tropical storage organs. ***J. Sci. Fd. Agric***. 29: 959-962 ,1978.

95. OSTERGARD, K. & BJORCK, I. Effect of extrusion cooking on starch and dietary fiber in barley. ***Food Chemistry***, 34(3): 215-27, 1989.

96. OWUSU-ANSAH, J.; VAN DER VOORT, F.R. & STANLEY, D.W. Physicochemical changes in corn starch as a function of extrusion variables. ***Cereal Chem.***60(4): 319-324, 1983

97. PALMER, J.K. Carbohydrates in sweet potato ; Proccedings of the first International Symposium. ed. Villareal, R.L.; Griggs, T.D. ***Asian Vegetable Research & Development Center***. Shanhua, Taiwan, p. 135-140 1982

98. PASSMORE, R.; EASTWOOD, M.A. ***Davidson & Passmore Human Nutrition and Dietetics***.(8 th. edn) Churchill Livingstone, Edinburgh, p. 228, 1986

99. PHILLIPS, R., D., CHHINNAN, M., S., and KENNEDY, M., B. Effect of Feed moisture and barrel temperature on physical properties of extruded cow-pea meal. ***J. Food Sci.*** 49(5), p. 916-919, 1984

100. PICHA, D.H. HPLC determination of sugars in raw and baked sweet potatoes. ***J. Food Sci.*** 50: p. 1190-1198, 1985

101. PORTER, R. S. & CASALE, A. Recent studies of polymer reactions caused by stress. ***Polym. Eng.Sci.,*** 25, 129-156, 1985

102. RANDALL, J. M. ; SARE, R. N. ; SHULTZ, W. G. ; FONG, R. Y. & SAUNDERS, R. M. Rice bran stabilization by extrusion cooking for extraction of edible oil. ***J Food Sci.*** 50: 361-368, 1985

103. RASPER, V. Proc. First Intern. Symp. Trop. Root Crops, Univ. West Indies, Trinidad, 2, p 48, 1967

104. RODRIGUEZ-SOZA, E. J.; PARSI-ROS, O. & GONZALEZ, M.A. ***J Agri. Univ. Puerto Rico*** 65 , p. 154, 1981

105. RODRIGUEZ-SOZA, E. J.; PARSI-ROS, & GONZALEZ, M.A. J. ***Agri. Univ.Puerto Rico.***66, p. 27, 1982

106. SELVENDRAN, R.R; DUPONT, M.S. Analysis of dietary fiber and recent developments In: ***Developments in food analysis technics***. London,p. 1-69, 1984

107. SCHOCH, T.J, "The fractionation of starch" ***Adv. Carbohyd.Chem.,*** 1: p.247, 1945.

108. SCHWEIZER, T.F. & REIMANN, S. Influence of drum-drying and twin-screw extrusion cooking on wheat carbohydrate. I. A comparison between wheat starch and flours of diferent extration. ***J. Cereal sci.*** 4: p. 193-203, 1986

109. SMITH, O. B. Extrusion and forming: Creating new food. ***Food Eng.*** 17(17): 48-50, 1975

110. SMITH, O. B. Why Extrusion cooking ? ***Cereal Foods World.*** 21(1): 4-7, 1976

111. SMITH, O. B. Technical aspects of extrusion. ***Cereal Food World.*** 24(4): p. 132-140, 1979

112. SPLITTSTOESSER, W.E.; MARTIN, F.W.; RHODES, A.M. The amino acid composition of fives species of yam (Dioscorea spp.). ***J. Amer. Soc. Hort. Sci.***98: p. 563-567, 1973

113. SPLITTSTOESSER, W.E. Protein and total amino acid content before and after cooking of yam (Dioscorea Spp). ***Hort. Science***. 11: p. 611, 1976

114. SPLITTSTOESSER, W.E. Protein quality and quantity of tropical roots and tubers. ***Hort.Science***, 12(4): p. 294-298, 1977.

115. SREBERNICH, S.M. Efeito da umidade, temperatura, velocidade do parafuso e diâmetro da matriz nas características do amido de sorgo submetido à extrusão termoplástica. FEA, UNICAMP. Dissertação (Mestrado), 1989 107 p.

116. TAMATE, J.; BRADBURY, J.H. Determination of sugars in tropical root crops using spectroscopy: comparison with the HPLC method. ***J. sci. food Agri.***32: p.1291-1302, 1985

117. TANAKA,T. **Cyclopedia of edible plants of the World**. Nako, S. ed. Keigaku Publishing Co., Tokyo , 250-257, 1970.

118. THEANDER, O. In: **The analysis of Dietary fibre in Food.** Eds. W.P.T. James & Thunder, O. New-york and Basel, p.242, 1981