

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Paralisa

Este exemplar corresponde a redação
fiscal da tese defendida por Amauri
Rosenthal e aprovada pela Comissão
Julgadora em 29.12.88.
Campinas, 29 de dezembro de 1988.

A. R.

Presidente da Banca

DESENVOLVIMENTO E OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO
PARA PRODUÇÃO DE FLOCOS DE MILHO VERDE POR
DESIDRATAÇÃO EM ROLOS SECADORES (DRUM-DRYER)

AMAURI ROSENTHAL

Engenheiro de Alimentos

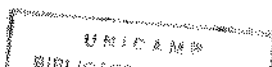
22/88

Orientador

Prof. Dr. VALDEMIRO CARLOS SOARBIERI

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Uni-
versidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre
em Ciências de Alimentos

Campinas
1988



"O problema não é inventar, é ser inventado
hora após hora e nunca ficar pronta
nossa edição convincente".

Carlos Drummond de Andrade-1, sem título.

"E se Deus é canhoto
e criou com a mão esquerda?
Isso explica, talvez, as coisas deste mundo".

Carlos Drummond de Andrade-2, "Hipótese".

Para Rosires, é claro,
pela força e amor nosso
de cada dia.

Aos meus pais,
pelo apoio e estímulo
constante.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Valdemiro Carlos Sgarbieri, pelo apoio e orientação durante a realização desta pesquisa.

Aos Profs. Mariângela Petenati, Emilio Conteras-Guzman, Miriam Dupas Rubinger, Ruth dos Santos Garruti, pela importante colaboração no planejamento deste trabalho e discussão dos resultados obtidos.

Aos Profs. Cecília Cândolo, Sebastião Amorim e Maria Lúcia Setina, pelo auxílio na realização das análises estatísticas.

Ao Instituto de Tecnologia de Alimentos, em especial à Seção de Química, pelo auxílio na realização das análises de vitaminas, e às Seções de Produtos Cárneos, Produtos Desidratados e Legumes e Hortaliças, pela concessão do uso das plantas pilotos de processamento.

À Vera Lúcia Bueno Kimura, pesquisadora e técnica do Centro de Tecnologia da UNICAMP, pelo auxílio nas análises de cor.

À CAPES, pela bolsas de pós-graduação e de auxílio para redação de tese concedidas.

À FAPESP, pela bolsa concedida no período inicial do curso.

À ABIA, pelo fornecimento das cópias e capas do trabalho.

Ao pessoal do laboratório de Bioquímica Nutricional, pela amizade e apoio constantemente dedicados.

Aos funcionários da F.E.A. - UNICAMP, que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao Valdeci, Nilo, Jaqueline, Judith, Cleusa, Ana Paula, Aracilda e Creuza.

Aos amigos, pelo estímulo, e em especial ao Baldo, ao Rubão e ao Ramon.

A todos que, direta ou indiretamente, auxiliaram na realização desta pesquisa.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMO	ix
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Produção e consumo de milho	3
2.1.1. Produção	3
2.1.2. Consumo	4
2.1.3. Formas de consumo	4
2.2. Processos de conservação de milho verde	6
2.2.1. Enlatamento	8
2.2.2. Congelamento	8
2.2.3. Desidratação	9
2.2.4. Preparo da matéria-prima para os processos de conservação	10
2.3. Composição química e valor nutricional do milho	12
2.3.1. Milho normal	12
2.3.2. Nutrimaiz	15
2.4. Utilização de secadores de rolos na desidratação de alimentos	16

2.5.Alteração de qualidade devido a desidratação em rolos secadores	18
2.5.1.Reação de escurecimento não-enzimático	20
2.5.2.Perdas de vitaminas e pigmentos	24
2.6.Alteração de qualidade e importância da embalagem no armazenamento de produtos desidratados	28
2.7.Estudos de sistemas alimentares através da metodologia de superfície de resposta	31
3.MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1.Selecção, cultivo e colheita da matéria-prima	33
3.2.Caracterização da matéria-prima	34
3.2.1.Proteína bruta e nitrogênio não-protéico	34
3.2.2.Lipídios totais	34
3.2.3.Fibra	35
3.2.4.Cinzas	35
3.2.5.Umidade	35
3.2.6.Açúcares totais e redutores	35
3.2.7.Composição em aminoácidos	36
3.3.Preparo da matéria-prima para a secagem	36
3.4.Desidratação da polpa em secador de rolos	37
3.5.Estudo do efeito da velocidade de rotação dos rolos e da pressão de vapor no interior dos rolos sobre o rendimento da secagem e qualidade do produto	38
3.5.1.Obtenção das amostras para o estudo	38
3.5.2.Cálculo do rendimento do processo	39
3.5.3.Teor de umidade dos flocos	39
3.5.4.Valor nutritivo da proteína dos flocos	39

3.5.5. Porcentagem de lisina disponível	44
3.5.6. Teor de carotenóides totais	49
3.5.7. Teor de tocoferóis totais	49
3.5.8. Teor de tiamina	49
3.5.9. Índices de absorção de água e de solubilidade em água	50
3.5.10. Propriedades de pasta	51
3.5.11. Perfil de sabor	52
3.5.12. Determinação da cor	53
3.5.13. Análises estatísticas	54
3.5.13.1. Metodologia	54
3.5.13.2. Delineamento experimental	55
3.6. Estudo da vida-de-prateleira do produto	57
3.6.1. Obtenção das amostras para o estudo da vida-de- prateleira	57
3.6.2. Especificação da embalagem para o produto	57
3.6.3. Avaliação da estabilidade do produto durante o armazenamento	60
3.6.3.1. Valor nutricional da proteína	60
3.6.3.2. Índice de peróxidos	60
3.6.3.3. Índice de acidez titulável	60
3.6.3.4. Teor de carotenóides totais	61
3.6.3.5. Perfil de sabor	61
3.6.3.6. Análises estatísticas	61

3.7. Avaliação econômica do processo	62
3.7.1. Fluxograma quantitativo do processo	62
3.7.1.1. Dimensionamento do processo e rendimento das operações	62
3.7.1.2. Demanda de água	63
3.7.1.3. Demanda de vapor	64
3.7.1.4. Geração de efluentes	64
3.7.2. Valores de compra dos principais equipamentos.	65
3.7.3. Investimento total	66
7.3.1. Investimento fixo	66
7.3.2. Capital de giro	68
3.7.4. Custos totais de produção	69
3.7.4.1. Custos fixos	70
3.7.4.1.1. Salários e encargos relativos à mão-de-obra indireta.	71
3.7.4.1.2. Depreciação de prédios e equipamentos	71
3.7.4.1.3. Manutenção	72
3.7.4.1.4. Seguros	72
3.7.4.1.5. Impostos ao capital	72
3.7.4.2. Custos variáveis	72
3.7.4.2.1. Salários e encargos relativos à mão-de-obra direta ..	73
3.7.4.2.2. Água	73
3.7.4.2.3. Energia elétrica	73
3.7.4.2.4. Matéria-prima	74
3.7.5. Custo total unitário	74

3.7.6. Preço de venda do produto	75
3.7.7. Estimativa da receita total e lucro bruto	75
3.7.8. Ponto de equilíbrio da unidade industrial	75
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.1. Composição centesimal e composição em aminoácidos da matéria-prima	77
4.2. Efeito da velocidade de rotação e pressão de vapor no rendimento do processo e qualidade do produto	80
4.2.1. Rendimento do processo e umidade dos flocos ...	80
4.2.2. Qualidade nutricional da proteína e disponibi- lidade de lisina	87
4.2.3. Tiamina, carotenóides e tocoferóis totais	94
4.2.4. Índice de absorção de água, índice de solubili- dade em água e propriedades de pasta	102
4.2.5. Diferença em cor e perfil de sabor	108
4.2.6. Avaliação global do efeito da pressão de vapor e velocidade de rotação no rendimento do pro- cesso na qualidade do produto	115
4.3. Estudo da vida-de-prateleira dos flocos de milho ver- de armazenados à temperatura ambiente	120
4.3.1. Especificação da embalagem flexível com base na permeabilidade ao vapor d'água	120
4.3.2. Alteração da qualidade nutricional da proteína com o armazenamento	123
4.3.3. Alteração do índice de peróxidos	126
4.3.4. Alteração no teor de ácidos graxos livres	128
4.3.5. Alteração no teor de carotenóides totais	130

4.3.6. Alteração no perfil de sabor	131
4.3.7. Avaliação global da vida-de-prateleira e embalagem	133
4.4. Avaliação econômica do processo	134
4.4.1. Fluxograma quantitativo do processo	134
4.4.2. Valores de compra dos principais equipamentos ..	136
4.4.3. Investimento fixo, capital de giro e investimento total	137
4.4.4. Custos de produção	137
4.4.4.1. Custos fixos	137
4.4.4.2. Custos variáveis	139
4.4.4.3. Custos totais de produção	140
4.4.5. Custo total unitário e preço de venda do produto	141
4.4.6. Estimativa da receita total e lucro bruto	141
4.4.7. Ponto de equilíbrio ou de nivelção	141
5. CONCLUSÕES	145
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
APÊNDICES	169

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
1. Composição centesimal das dietas utilizadas nos ensaios biológicos	41
2. Formulação da mistura salina utilizada nos ensaios biológicos	42
3. Formulação da mistura vitamínica utilizada nos ensaios biológicos	43
4. Composição básica da solução (meio "basal") empregada no preparo do meio de cultura utilizado na determinação de lisina disponível por método microbiológico	47
5. Composição do suplemento em aminoácido utilizado na preparação do meio de cultura empregado na determinação de lisina disponível por método microbiológico	48
6. Codificação das variáveis pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos e níveis do desenho experimental utilizado no estudo da secagem	55
7. Delineamento estatístico genérico para duas variáveis a três níveis utilizado no estudo da secagem	56
8. Combinação aleatória dos nove testes de processamento (ordem de realização dos experimentos) utilizados no estudo da etapa de secagem	56
9. Porcentagens sobre o valor de compra dos principais	

equipamentos empregadas para a estimativa de cada ítem do investimento fixo	68
10. Composição centesimal da matéria-prima utilizada nos estudos	77
11. Composição em aminoácidos essenciais e "Escore Químico" da fração protéica da matéria-prima em relação a uma proteína padrão	79
12. Rendimento da secagem e umidade dos flocos resultante de diferentes combinações de velocidade de rotação e pressão de vapor empregadas no secador de rolos	80
13. P.E.R., digestibilidade aparente da proteína e teor de lisina disponível para os flocos processados sob diferentes combinações de velocidade de rotação e pressão de vapor no secador, para a matéria-prima (grãos) "in natura" e branqueada e para a caseína	88
14. Teores de tiamina, carotenóides totais e tocoferóis totais nos flocos processados sob diferentes combinações de velocidade de rotação e pressão de vapor no secador e na matéria-prima (grãos) "in natura" e branqueada	95
15. Índice de absorção de água, índice de solubilidade em água e algumas propriedades de pasta obtidas para os flocos processados sob diferentes combinações de velocidade de rotação e pressão de vapor no secador de rolos	103
16. Perfil de sabor e diferença total em cor dos flocos	

produzidos a partir de diferentes combinações de velocidade de rotação e pressão de vapor no secador de rolos	109
17. Intervalos de variação dos valores obtidos através de modelos matemáticos para as variáveis estudadas e intervalos de valores adotados como "mais satisfatórios"	118
18. Valores obtidos para os parâmetros empregados na especificação do filme de polietileno a ser utilizado como embalagem e taxa de permeabilidade ao vapor d'água (T.P.V.A.) mínima requerida para o filme visando um período de armazenamento mínimo de 300 dias	122
19. Valores de P.E.R. obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do estudo de vida-de-prateleira	123
20. Valores de digestibilidade aparente obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do estudo de vida-de-prateleira	124
21. Valores de P.E.R. corrigidos com base no valor da caseína padrão (2,50) obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento	125
22. Valores de digestibilidade aparente obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento e corrigidos com base no valor médio obtido para a caseína (89,0%)	125
23. Índice de peróxidos obtido para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento	126
24. Índice de acidez livre obtido para os lotes 3 e 7 ao longo da estocagem	128

25. Teores de carotenóides totais obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento	130
26. Perfil de sabor encontrado para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento	132
27. Valores de compra dos principais equipamentos necessários para a implantação de uma unidade industrial com capacidade de produção de 152,7 kg/h de flocos de milho verde	136
28. Valores estimados para os itens do investimento fixo correspondentes a implantação de uma unidade industrial com capacidade de produção de 152,7 kg/h de flocos	138
29. Custos fixos correspondentes a seis meses de operação de uma unidade com capacidade de produção de 152,7 kg/h de flocos de milho verde	139
30. Custos variáveis relativos a seis meses de operação de uma unidade industrial com capacidade de produção de 152,7 kg/h de flocos de milho verde	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

1. Comparação entre quantidade de milho verde ofertado e preço obtido mensalmente no Entreposto Terminal do CEAGESP em São Paulo, no ano de 1976	6
2. Ficha modelo para caracterização do perfil de sabor dos flocos	53
3. Superfície de resposta em duas perspectivas para "rendimento" em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	82
4. Superfície de resposta em duas perspectivas para "umidade" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	83
5. Superfície de resposta em duas perspectivas para "P.E.R" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	90
6. Superfície de resposta em duas perspectivas para "digestibilidade aparente da proteína" em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	91
7. Superfície de resposta em duas perspectivas para "porcentagem de lisina disponível" nos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	92
8. Superfície de resposta em duas perspectivas para "teor	

de tiamina" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação	98
9. Superfície de resposta em duas perspectivas para "teor de carotenóides totais" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	99
10. Superfície de resposta em duas perspectivas para "teor de tocoferóis totais" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	100
11. Superfície de resposta em duas perspectivas para "índice de absorção de água" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	105
12. Superfície de resposta em duas perspectivas para "índice de solubilidade em água" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	106
13. Superfície de resposta em duas perspectivas para "viscosidade inicial da pasta" formada a partir dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	107
14. Superfície de resposta em duas perspectivas para "impressão global de sabor" para os flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	111
15. Superfície de resposta em duas perspectivas para "sabor estranho" verificado nos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação" dos rolos	112
16. Superfície de resposta em duas perspectivas para "dife-	

rença total em cor" dos flocos em relação à matéria-prima em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos	115
17. Linhas demarcatórias e localização das regiões correspondentes aos "níveis mais satisfatórios" das variáveis ..	117
18. Curvas isotermas de absorção de umidade para os lotes 3 e 7 empregados no estudo de vida-de-prateleira	121
19. Fluxograma quantitativo do processo para produção de 152,7 kg/h de flocos de milho verde	135
20. Representação gráfica do ponto de equilíbrio de uma unidade industrial com capacidade de produção de 152,7 kg/h de flocos de milho verde	142

RESUMO

O presente trabalho objetivou: 1. estudar um processo para preparo e desidratação de polpa de milho verde utilizando-se um cultivar de elevado valor nutritivo (Nutrimaiz) como matéria-prima e um secador de rolos ("drum-dryer") para a secagem; 2. estudar a vida-de-prateleira do produto desidratado (flocos) acondicionado em sacos constituídos de um filme de polietileno especificado com base na permeabilidade ao vapor d'água; 3. proceder uma análise econômica preliminar envolvendo estimativas de investimentos e custos necessários para a instalação e operacionalização de uma unidade industrial para produção dos flocos.

O processo tecnológico compreendeu duas fases distintas: a primeira na qual a polpa foi preparada mediante a moagem dos grãos em um moinho tipo "cutter" seguido de moagem em moinho coloidal e a segunda consistindo na desidratação da polpa em um secador de rolos.

A desidratação foi estudada como uma função de duas variáveis independentes com níveis pré-estabelecidos, i.e., pressão de vapor no interior dos rolos (50, 60 e 70 lb/pol^2) e velocidade de rotação dos rolos (1,5; 2,0 e 3,0 r.p.m.). Os efeitos no rendimento e nas características nutricionais, sensoriais e tecnológicas do produto foi avaliado utilizando-se a Metodologia de Superfície de Resposta.

O rendimento foi afetado, principalmente, pela veloci-

dade de rotação sendo menos afetado pela pressão de vapor (temperatura) dos rolos. Os maiores níveis de rendimento (11,58 a 11,88 kg/h.m²) foram obtidos com níveis elevados de velocidade de rotação (entre 2,5 e 3,0 r.p.m.) e de pressão de vapor (entre 66,8 e 70 lbf/pol²). Essa condição, no entanto, não acarretou os melhores resultados para certas variáveis, relacionadas com aspectos nutricionais e tecnológicos.

Níveis elevados de velocidade de rotação (entre 2,5 e 3,0 rpm) combinado com níveis inferiores de pressão de vapor (entre 50 e 55 lbf/pol²), além de resultar em valores de rendimento elevados, também originou um produto com os melhores resultados para as características nutricionais (em termos de qualidade da proteína), sensoriais e tecnológicas, embora apresentasse menores valores, em termos relativos, para tocoferóis, carotenóides e tiamina.

Os valores médios de F.E.R. e digestibilidade aparente do produto desidratado foram 2,2 e 75,2%, respectivamente, e as taxas de redução média correspondentes com relação à matéria-prima foram 15,4% e 6,5%, respectivamente.

As taxas de redução média de tiamina, carotenóides e tocoferóis devido à desidratação foram 31,9%, 34,9% e 19,0%, respectivamente. Os teores médios finais desses componentes foram 1,88, 8,73 e 45,6 ppm, respectivamente.

O filme de polietileno utilizado para o acondicionamento dos flocos foi definido com o objetivo de evitar aglomeração

do produto durante a estocagem. O filme com uma taxa de permeabilidade ao vapor d'água de 1,5 g de água/m².dia e uma espessura de 64 micra foi adequado para acondicionar 700 g de produto de modo a propiciar uma vida-de-prateleira de 180 dias. Após esse período foram detectadas elevações nos índices de peróxido e de acidez livre, as quais foram acompanhadas pela piora do perfil de sabor do produto.

A avaliação econômica do processo foi efetuada considerando-se uma unidade industrial com capacidade de produção de 152,7 kg de flocos/hora (ou 1681,4 kg de espigas/hora). Assumiu-se também que a unidade operaria com 3 turnos diários de trabalho de 7 horas cada, durante 180 dias/ano.

Os custos anuais e os investimentos totais estimados para essa unidade foram de 51.363 OTN e 110.058 OTN, respectivamente. O ponto de equilíbrio da unidade industrial foi de 61,5%, considerando-se uma margem de lucro de 20% na comercialização do produto, o que corresponderia a um preço de venda unitário de 0,13 OTN/kg de flocos.

SUMMARY

The present investigation aimed at: 1. study of a process for preparation and dehydration of sweet corn pulp using a cultivar of high nutritive value (Nutrimaiz) as raw material and drum-dryer; 2. study of shelf-life of the dehydrated product (flakes) packed in polyethylene film (bag) which was specified based on water vapor permeability; 3. a preliminary economical analysis for the installation of a commercial unit for producing the flakes.

The whole process comprehended two phases: the first one in which the pulp was prepared with the use of a cutter and a coloidal mill, the second one consisted in the dehydration in a drum-dryer.

The dehydration was studied as a function of two sets of independent variables, i.e., steam pressure in the drums (50, 60 and 70 lbf/in²) and velocity of the drums (1.5, 2.0 and 3.0 rpm). The effects on the yield and nutritive, organoleptic and technological characteristics of the products was evaluated using as tool the Response Surface Methodology.

The yield was affected, mainly, by the velocity of the drums and less influenced by the steam pressure (temperature). Maximum yields (11.58 to 11.88 kg of flakes/hour) were obtained for steam pressure in the range of 66.8 to 70 lbf/in², combined with drums velocity in the range of 2,5 to 3,0 rpm, although this

condition don't lead to the best results for certain variables, related to nutritive value and technological characteristics.

Higher drums velocities combined with lower steam pressures (50 to 55 lbf/in²) also resulted in high yields, and this condition also resulted in the best results for nutritive (in terms of protein quality), organoleptic and technological characteristics, although it resulted in lower levels of tocopherols, carotenoids and thiamine.

Average value of PER and apparent digestibility of the dehydrated product was 2.2 and 75.2%, respectively, and the average reduction with respects to raw material was 15.4% and 6.5%, in the same order.

Average reduction of thiamine, carotenoids and tocopherols due to dehydration of the pulp was 31.9%, 34.9% and 19.0%, respectively. Final average content of each component in the flakes was 1.88, 8.73 and 45.6 ppm, respectively.

The polyethylene film utilized for packaging was defined with the objective of avoiding agglomeration during storage. The film with a water permeability index of 1.5 g water/m².day and a thickness of 64 micra was adequate for conditioning 700 g of product and a shelf-life of 180 days. Thereafter an elevation of free acidity and peroxide indexes were detected which were accompanied worsening of the flavor profile of the product.

The economical evaluation was performed considering a production unit with a capacity of 152.7 kg flakes/hour (or 1681.4 kg of corn ears/hour). It was also assumed an operation of 180 days/year and three working periods of seven hours per day.

The estimated total annual costs and the total investment for this unit was 51,369 "OTN" and 110,058 "OTN", respectively. The break even point for the industrial unit was 61.5%, considering a margin of interest of 20% in the commercialization of the product and a unit cost for marketing of 0,13 "OTN"/kg of product.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, embora ocupe uma posição de destaque no cenário mundial em termos de volume de milho produzido, com uma produção equivalente à aproximadamente 4,5% da produção mundial (correspondente à 3ª maior produção, de acordo com a FAO, 1986), apresenta um baixo consumo "per capita" de milho, sendo de mais de 70% a parcela da produção destinada a alimentação animal (MINISTÉRIO DO INTERIOR, 1984).

Apesar de pouco consumido, o milho, notadamente no estágio de "milho verde" de maturação, parece ser bastante apreciado pela população brasileira, sendo a falta de produtos à base de milho verde disponíveis no mercado consumidor uma das razões apontadas como causa do baixo consumo. O consumo de milho verde tem se restringido ao produto "in-natura", durante o período de safra, e ao produto enlatado, ao longo do ano, sendo este último praticamente o único produto industrializado tendo por base o milho no estágio de "verde" com volume significativo de produção.

A produção de flocos de milho verde pode ser uma interessante alternativa, capaz de contribuir para o incremento do consumo de milho verde ao longo do ano, tanto para ser consumido "in natura" como para ser empregado na elaboração de produtos formulados à base de milho verde.

Este trabalho teve como objetivos gerais estudar o processo de produção de flocos de milho verde através da desidratação da polpa integral em rolos secadores ("drum-dryer"), a partir da utilização de uma matéria-prima de elevado valor nutritivo

(variedade Nutrimaiz), bem como estudar a vida-de-prateleira do produto e, finalmente, proceder uma avaliação preliminar da viabilidade econômica do processo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PRODUÇÃO E CONSUMO DE MILHO

O milho (*Zea mays*, Linneus) está classificado como uma planta herbácea monocotiledônea, monóica, pertencente a família das gramíneas (INGLETT, 1970a; MINISTÉRIO DO INTERIOR, 1974). Considera-se este cereal como originário do México e da América Central, tendo sido um alimento básico das antigas civilizações Maya, Azteca e Inca, que povoaram o hemisfério ocidental (INGLETT, 1970b; FANCELLI, 1981).

2.1.1. PRODUÇÃO

Atualmente, o milho constitui-se num dos mais importantes cereais cultivados no mundo, sendo suplantado em produção apenas pelo trigo e arroz (FANCELLI, 1981). De acordo com dados estatísticos da FAO (1986), a produção mundial, em 1985, foi de 490 milhões de toneladas, quantidade correspondente a aproximadamente 27% da produção total de cereais.

O Brasil, a despeito da elevada produção, apresenta baixo índice de produtividade agrícola médio para o milho situando-se, nesse aspecto, apenas no 12º lugar, em termos mundiais. Apesar disso, o milho é a cultura mais extensamente cultivada em território nacional (FANCELLI, 1981).

2.1.2. Consumo

Contrariamente ao que ocorre no Brasil, o milho constituiu-se no principal ingrediente das dietas de grande parcela da população mundial (BRESSANI, 1972; INGLETT, 1970b), sendo o México, a América Central, a América Latina e a África as principais regiões de maior consumo "per capita" de milho.

Na América Latina, segundo BRESSANI & ELIAS (1972), grande parte da população depende do milho primordialmente como fonte de proteína da sua alimentação, consumindo o milho sob as mais variadas formas. Os principais países latino-americanos consumidores de milho são: Guatemala, México, Nicarágua, El Salvador, Honduras, Colômbia, Venezuela e Bolívia, onde o consumo diário oscilava entre 120 e 350 gramas por habitante, em 1972 (BRESSANI & ELIAS, 1972). O consumo "per capita" de milho no Brasil se situava, então, segundo os mesmos autores, em torno de 100 gramas por dia.

2.1.3. Formas de Consumo

O milho consumido diretamente para a alimentação humana no Brasil é empregado em diversos tipos de culinária, que podem ser genericamente enquadrados em duas categorias básicas: a culinária do milho verde e a culinária do milho seco.

Na culinária do milho verde são empregados grãos colhidos em determinado ponto da fase leitosa de maturação do grão,

conhecido como ponto de milho verde (SAWAZAKI, POMMER & ISHIMURA, 1979) e situado entre 21 e 35 dias após o florescimento (TOSELLO, 1975 apud FANCELLI, 1981). Os grãos colhidos nesse ponto são consumidos diretamente após o cozimento da espiga, ou utilizados no preparo de pratos como pamonha, curau, bolos, sorvetes, sopas, cremes, etc. (SAWASAKI *et alii*, 1979).

Devido ao rápido processo de maturação do grão, à curta duração da safra e a alta perecibilidade, o milho verde tem o seu consumo "in natura" restrito normalmente às imediações das regiões produtoras durante três a quatro meses por ano, ocorrendo uma redução da oferta e uma elevação abrupta dos preços nas demais épocas do ano, conforme mostrado na Figura 1.

Já a industrialização do milho verde tem se limitado ao processo de enlatamento dos grãos e em menor escala ao congelamento dos mesmos para a sua conservação.

Na culinária do milho seco, por outro lado, são empregados grãos colhidos no estágio farináceo de maturação, 50 a 80 dias após o florescimento, dependendo do cultivar considerado. Os grãos, nesse caso, costumam ser utilizados na fabricação de fubá integral ou de farinha de milho torrada. Com esses produtos fazem-se igualmente vários pratos, como polenta, angú (purê de milho seco feito com fubá integral) e cuscuz (MINISTÉRIO DO INTERIOR, 1974).

Nos países industrializados, o milho seco para consumo humano é processado por indústrias que utilizam processos sofisticados de moagem por via seca ("dry-milling") ou por via úmida ("wet-milling") (INGLETT, 1970b) enquanto que, em países em de-

envolvimento, a matéria-prima é processada por métodos tradicionais e limitados, envolvendo operações de torrefação e moagem dos grãos (MINISTÉRIO DO INTERIOR, 1974).

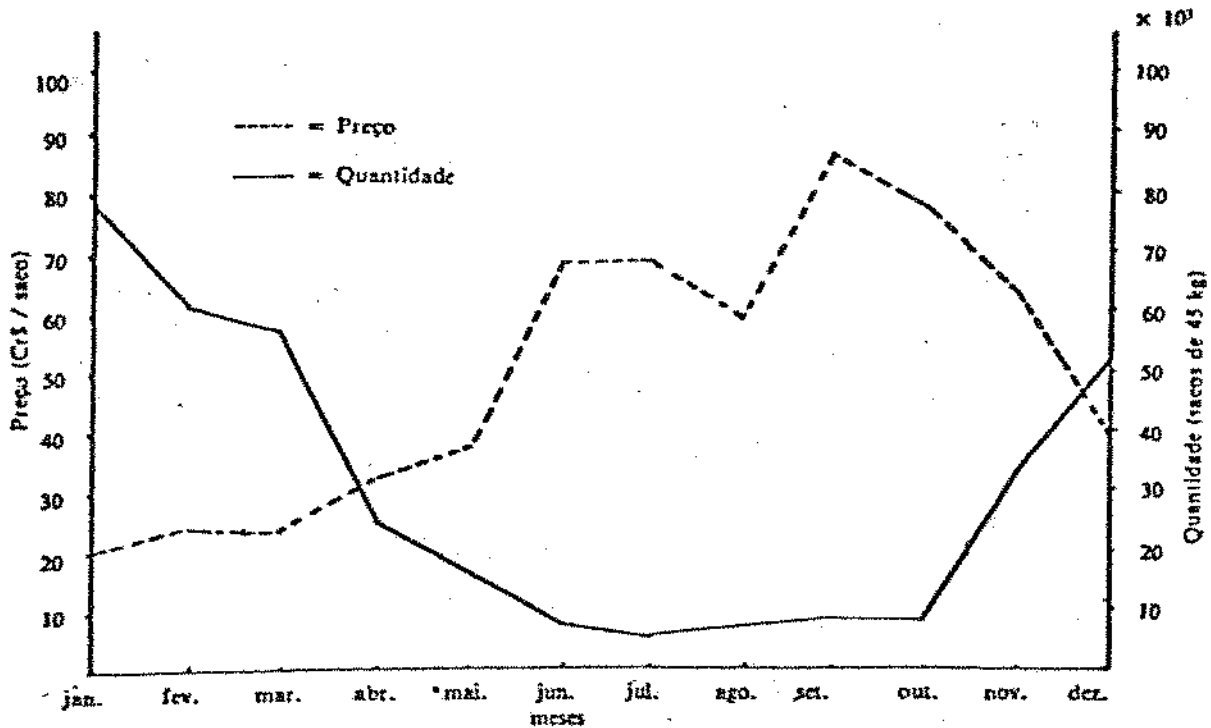


FIGURA 1. Comparação entre quantidade de milho verde ofertado e preço obtido mensalmente no Entrepasto Terminal do CEAGESP em São Paulo, no ano de 1976. Fonte: CEAGESP apud SAWASAKI *et alii*, 1979.

2.2. PROCESSOS DE CONSERVAÇÃO DE MILHO VERDE

Os cultivares de milho atualmente utilizados pela maioria das indústrias processadoras de milho verde são variedades enquadradas no grupo genético sacarata (FANCELLI, 1981), generica-

mente conhecidas por milho doce, em virtude da predominância de sacarose em seus grãos. As características desse grupo são condicionadas pelo fator genético sugary (su), embora outros mutantes como o shrunken-2 (sh₂), brittle-2 (bt₂) e outros, em simples ou duplas combinações, também possam acumular açúcares simples no endosperma.

Embora o milho doce e outros milhos especiais mutantes de endosperma, como opaco-2 e superdoce, apresentem boas qualidades para consumo no estágio de milho verde de maturação (ISHIMURA *et alii*, 1986), suas utilizações tem sido exclusivas no Brasil para enlatamento e congelamento, principalmente em função de que seus baixos teores de amido não permitem a confecção de determinados pratos tradicionalmente elaborados a partir de milho verde "in natura" (SAWASAKI *et alii*, 1979).

Assim, o cultivo de milho no Brasil para consumo "in natura" no estágio de milho verde tem sido feito quase sempre com cultivares comuns, de endosperma normal, característicos de grãos dentados amarelos, acarretando grandes variações nos tipos de grãos (de dentados a duros) e grande desuniformidade no ponto de maturação do milho verde vendido no mercado varejista (SAWASAKI *et alii*, 1979; ISHIMURA *et alii*, 1986).

O milho doce costuma ser processado no estágio leitoso de maturação, no ponto de milho verde (com uma umidade correspondente de 68 a 75%), devido as características de textura e sabor que então apresenta. São três basicamente os processos industriais empregados na conservação do milho verde: enlatamento, congelamento e desidratação (NELSON & STEINBERG, 1970)

2.2.1. Enlatamento

Existem dois tipos principais de produtos enlatados obtidos a partir do milho verde: o produto de grãos inteiros e o produto estilo creme. No primeiro, que representa o único tipo produzido no Brasil, são empregados grãos inteiros oriundos de uma operação de corte profundo rente ao sabugo para a retirada dos grãos da espiga, procedendo-se em seguida o enlatamento dos grãos em salmoura (CRUESS, 1973). Já no segundo é procedido um corte somente da porção superior do grão preso ao sabugo e posteriormente uma raspagem do material situado na metade inferior do grão remanescente na espiga, sendo o produto resultante dessas operações ocasionalmente misturado com sal, açúcar e mais esporadicamente com amido (CRUESS, 1973), sendo finalmente disperso e suspenso originando um creme suave que é então enlatado (NELSON & STEINBERG, 1970). O enlatamento em ambos os casos é seguido de exaustão, recravação e esterilização, podendo no caso do produto estilo creme optar-se por uma pasteurização prévia do creme antes do enchimento.

2.2.2. Congelamento

Existem igualmente no caso do congelamento dois tipos diferentes de produtos: as espigas congeladas e os grãos inteiros e soltos congelados.

No caso dos grãos soltos, após o branqueamento é procedido o resfriamento dos grãos geralmente por imersão em água gelada, seguido de drenagem dos mesmos em esteiras, de acondicionamento em envoltórios plásticos ou de papelão impermeável e, finalmente, de congelamento em congeladores de túnel ou de placas (até -25°C) seguido de armazenamento entre -18°C e -20°C (LIMA, 1981).

No caso das espigas, são procedidas operações similares às descritas para o congelamento dos grãos, porém previamente a operação de embalagem do produto (NELSON & STEINBERG, 1970).

2.2.3. Desidratação

Embora alguns estudos tenham demonstrado haverem possibilidades definitivas para a produção de produtos aceitáveis resultantes da desidratação de milho verde (JERGER, ZOELLNER & TISCHER, 1953; NELSON *et alii*, 1955), a quantidade de milho verde desidratado produzida atualmente é muito pequena, não havendo conforme NELSON & STEINBERG (1970) dados disponíveis indicativos de produção significativa desse produto.

A maioria desses estudos tem em comum a utilização de secadores de bandeja em que é empregado um fluxo de ar quente paralelo ou transversal à entrada do produto como meio de secagem, sendo a secagem normalmente procedida em várias fases, com aplicação de temperaturas elevadas do ar nas fases iniciais e temperaturas inferiores nas fases finais, dependendo da umidade do

produto em cada fase (NELSON *et alii*, 1954; STEINKRAUS & MacDONALD, 1967; WATSON *et alii*, 1979). Nesses processos, porém, as temperaturas iniciais requeridas são elevadas podendo resultar, segundo WATSON *et alii* (1979), em perdas de aroma e baixas taxas de reidratação do produto.

2.2.4. Preparo da matéria-prima para os processos de conservação

O preparo da matéria-prima para os processos de conservação do milho doce envolve, de um modo geral, a seguinte sequência de operações: despalhamento, inspeção e escolha das espigas, remoção dos grãos das espigas (operação denominada desgranamento ou debulhamento), limpeza dos grãos, branqueamento e resfriamento (CRUESS, 1973; NELSON & STEINBERG, 1970). Uma alternativa que pode ser empregada consiste em proceder-se as operações de branqueamento e resfriamento antes do desgranamento e, portanto, diretamente nas espigas e não nos grãos soltos, de modo a promover a gelatinização do amido presente no milho reduzindo as perdas deste e de outros materiais solúveis durante as operações de desgranamento, lavagem e limpeza dos grãos (NELSON & STEINBERG, 1970).

A operação de branqueamento, que pode ser considerada crítica na etapa de preparo da matéria-prima, consiste no fornecimento de uma determinada quantidade de calor (normalmente calor úmido) ao alimento, geralmente através da imersão do mesmo em água aquecida ou por injeção direta de vapor. A principal finalidade da operação de branqueamento consiste na inativação de enzi-

mas responsáveis pelo escurecimento subsequente do produto bem como pelo desenvolvimento de sabores indesejáveis durante a estocagem do mesmo (FOULSEN, 1986).

O parâmetro geralmente utilizado para se determinar a adequação do tempo e temperatura de branqueamento é a inexistência de atividade de peroxidase no produto (MASURE & CAMPBELL, 1944; BEALE & GOULD, 1959), embora é sabido, de acordo com NELSON & STEINBERG (1970), que após um período de estocagem a -18°C determinadas amostras de milho verde branqueado podem apresentar um teste positivo de peroxidase, devido à renaturação da enzima.

O tempo normalmente empregado para o branqueamento dos grãos soltos é, conforme NELSON & STEINBERG (1970), de 2 a 4 minutos, enquanto que o normalmente empregado para o branqueamento das espigas varia de 5 a 12 minutos (TESSLER, 1968 *apud* NELSON & STEINBERG, 1970). Contudo, segundo alguns autores, o tempo efetivamente necessário para a inativação completa da enzima peroxidase é, no caso do milho na espiga, 20 minutos (DIETRICH *et alii*, 1970; MIZRAHI, KOPELMAN & PERLMAN, 1975).

Uma operação eventualmente empregada no preparo da matéria-prima para os processos de conservação em adição às operações anteriormente citadas, notadamente nos processos de desidratação que utilizam ar quente como meio de secagem, é a operação de sulfitação. A sulfitação consiste na imersão dos grãos de milho verde em soluções diluídas contendo dióxido de enxofre, e visa proteger o produto contra o escurecimento durante a estocagem.

Embora a sulfitação seja, segundo NELSON *et alii* (1954), o principal parâmetro que influencia a estabilidade de milho doce desidratado com ar quente durante a estocagem, bem como um agente protetor contra a injúria térmica durante a desidratação permitindo a utilização de maiores temperaturas do ar de secagem (NELSON & STEINBERG, 1970), o dióxido de enxofre parece não ser uniformemente absorvido pelos grãos e a absorção parece se dar num período de tempo muito curto, havendo riscos de que uma eventual dosagem excessiva possa fornecer um sabor indesejável ao produto final (HAYES, NELSON & STEINBERG, 1956). Além disso, segundo o "Institute of Food Technologists" (IFT, 1986), a adição de dióxido de enxofre em alimentos causa consideráveis perdas de tiamina, embora previna a oxidação das vitaminas A e E.

2.3.COMPOSIÇÃO QUÍMICA E VALOR NUTRICIONAL DO MILHO

2.3.1.Milho normal

A composição química do milho varia de acordo com o genótipo do cultivar utilizado, com o tipo de solo, clima, disponibilidade de nutrientes para a planta e estágio de maturação do grão (FANCELLI, 1981).

O milho normal seco é um alimento com baixo teor de proteínas e alto teor de carboidratos, o que faz com que o milho, como todos os cereais, seja considerado uma excelente fonte calórica (BRESSANI, 1972). O principal carboidrato encontrado no milho é o amido, que perfaz mais de 70% do grão, sendo 27% do ami-

do composto por amilose e 73% composto por amilopectina.

Os lipídios constituem outro importante componente do milho, perfazendo cerca de 5% do grão, 80% dos quais são encontrados no germe e apenas 1% no endosperma (WEBER, 1978; NILSSON *et alii*, 1968).

O teor de proteínas se situa em torno de 10%, sendo a maior parte (cerca de 80% do total) localizada no endosperma.

Com relação a qualidade nutricional, a maior limitação apresentada pela proteína do milho normal é a deficiência dos aminoácidos essenciais lisina e triptofano, decorrente do alto teor de proteínas da classe prolamina (solúveis em solução aquosa de etanol) que perfaz cerca de 50% da proteína total do grão. As prolaminas, além da limitação em lisina e triptofano, são também consideradas de baixa digestibilidade para os animais monogástricos, determinando o baixo valor nutricional da fração protéica do milho normal.

Com relação aos componentes minerais, o milho é especialmente carente em cálcio (contendo aproximadamente 0,03% desse elemento) sendo o potássio e o fósforo os elementos minerais mais abundantes (presentes em cerca de 0,35% cada um) (MERTZ, 1970).

Finalmente, com relação às vitaminas, enquanto o milho amarelo pode ser considerado uma fonte razoável de vitamina A, contendo aproximadamente 490 UI de atividade por 100 gramas, o milho branco praticamente não tem atividade dessa vitamina (WATT & MERRIL, 1963 *apud* MERTZ, 1970). Essa diferença se deve à presença de carotenos, pigmentos pertencentes à classe dos carotenóides e que são precursores da vitamina A, presentes em cerca de

22 mg/kg no milho amarelo e inexistentes no milho branco. Deve-se salientar que parte dos pigmentos carotenóides presentes no milho amarelo pertencem a outra categoria de substâncias que não a dos carotenos, denominada xantofilas, e que embora também contribuam para a coloração dos grãos amarelos, não possuem atividade vitamínica (WRIGHT, 1987).

Nesse sentido, LEE, McCOON & LeBOWITZ (1981) avaliaram o valor de vitamina A do milho doce, que compreende os cultivares normalmente destinados ao enlatamento, concluindo que o valor real desta vitamina era bem menor nessa classe de milho em relação aos valores até então divulgados na literatura, possivelmente devido a inclusão de carotenóides não pró-vitamina na quantificação da atividade vitamínica. Assim, nesse estudo, seis lotes de milho doce comerciais enlatados apresentaram valores de atividade de vitamina A variando de 44 a 59 UI.

Além da presença da vitamina A, o milho tanto amarelo quanto branco também possui uma certa quantidade de vitamina E, correspondente a cerca de 1,6 UI/100 gramas de milho normal seco (CONTRERAS-GUZMAN; STRONG III & SILVA, 1982). Já as demais vitaminas lipossolúveis estão presentes em quantidades desprezíveis no milho (MERTZ, 1970).

Com relação às vitaminas hidrossolúveis, o milho apresenta uma certa quantidade de todos os tipos com exceção da vitamina B₁₂ (WRIGHT, 1987). No entanto, embora possua uma quantidade relevante de niacina, é sabido que, assim como em outros cereais, a niacina do milho não se encontra disponível para os animais monogástricos incluindo o homem (CHRISTIANSON *et alii*,

1968). Da mesma forma, KIES, KAN & FOX (1984) reportaram como sendo zero a disponibilidade de vitamina B-6 no milho beneficiado para consumo humano, embora o seu teor total de piridoxina seja igualmente considerável.

2.3.2. Nutrimaiz

A partir da descoberta de MERTZ *et alii* (1964) e NELSON *et alii* (1965) dos genes opaco-2 (*o2*) e floury-2 (*fl2*) modificadores das proteínas do endosperma do milho, que atuam diminuindo o teor de prolaminas (ou mais particularmente da zeína) e aumentando o teor das frações albumina, globulina e glutelina, com o conseqüente aumento do teor de lisina e triptofano (SGARBIERI *et alii*, 1977; SCHONHAUS & SGARBIERI, 1983), foram incrementadas as pesquisas com vistas a obtenção de cultivares com melhores composição e valor nutricional.

Além disso, a descoberta que a presença do gene sugary modifica extensivamente o conteúdo de açúcares do endosperma pela diminuição do amido e aumento do teor de açúcares e polissacarídeos solúveis (ANDREW *et alii*, 1944; BLACK *et alii*, 1966; CREECH, 1968), bem como as descobertas que a combinação de genes modificadores de proteínas com genes modificadores dos açúcares possui um certo efeito aditivo (MISRA *et alii*, 1975; SILVA *et alii*, 1978), levou ao desenvolvimento de variedades com alterações simultâneas das frações protéica e de carboidratos.

Nesse sentido, SILVA *et alii* (1978) recentemente anunciaram a obtenção pelo Instituto Agronômico de Campinas de uma

variedade duplo-mutante denominada Nutrimaiz, resultante do cruzamento das variedades Maya opaco-2 (Su02) com Doce Cubana (su02).

Os estudos da composição e valor nutritivo do Nutrimaiz em comparação com seus ascendentes e com o milho normal em dois estádios de maturação (milho verde e milho seco) foram procedidos por SGARB

IERI *et alii* (1977 e 1982), revelando que o Nutrimaiz possui, similarmente ao milho Doce, cerca de duas vezes mais açúcares totais e vinte vezes mais polissacarídeos solúveis que o milho Normal. Além disso, seu teor de proteína e suas características nutricionais protéicas foram superiores às do milho Normal, Doce e mesmo do Opaco, com alto teor de lisina e triptofano e baixo teor relativo de leucina em ambos os estádios de maturação.

2.4.UTILIZAÇÃO DE SECADORES DE ROLOS NA DESIDRATAÇÃO DE ALIMENTOS

Os secadores de rolos ou tambores ("drum-dryers") consistem de um ou mais tambores côncavos aquecidos internamente, sobre os quais é aplicada uma camada fina e uniforme de solução ou suspensão para remoção de umidade (SPADARO, WADSWORTH & WIX, 1966; NONHEBEL & MOSS, 1971). O meio de aquecimento é geralmente vapor saturado sendo o calor transferido por condução através das paredes metálicas dos tambores para a camada do material a ser seco, ocorrendo então a vaporização da água durante a revolução dos tambores. O material desidratado é removido da superfície dos tambores por meio de facas longitudinais, as quais são comprimi-

das contra os tambores numa posição adequada em relação ao ponto de alimentação do material a ser desidratado.

Numerosos tipos de alimentos podem ser desidratados com sucesso em secadores de tambor, como o leite, cuja desidratação para produção de leite em pó era originalmente procedida em secadores de rolos até ser substituída por desidratação em atomização (em "spray-dryers"), devido a melhor qualidade do produto resultante deste último processo. Provavelmente o maior uso de secadores de rolos em indústria de alimentos ainda hoje ocorra na fabricação de produtos desidratados a base de cereais visando a alimentação infantil ("baby foods"), da mesma forma como relatado por SPADARO *et alii*, em 1966.

Outra utilização de bastante destaque dos secadores de rolos é na produção de flocos de batata-doce, sobre os quais foram divulgados a maior parte dos estudos relacionados com o efeito das variáveis operacionais no rendimento do processo e umidade do produto (WADSWORTH *et alii*, 1967; SPADARO & PATTON, 1961; SPADARO *et alii*, 1966).

Outros alimentos cuja desidratação em secadores de rolos já se mostrou conveniente foram: batata branca; polpa de maçã; tomate; pessego; peras; damasco; alimentos a base de peixe; gluten de trigo; sopas; abóbora; figo (SPADARO *et alii*, 1966).

Finalmente, uma utilização adicional dos secadores de rolos além da simples desidratação é a produção de farinhas e amidos pré-gelatinizados (COLONNA *et alii*, 1984; FRITZE, 1973) cuja utilização tem sido bastante incrementada nas indústrias de alimentos.

A utilização de secadores de rolos para a desidratação de polpa (ou creme) de milho verde foi anteriormente mencionado por NELSON & STEINBERG (1970), onde produtos formulados à base de milho verde foram desidratados com vistas ao abastecimento do mercado institucional Norte-Americano, embora não tenha havido aparentemente divulgação dos resultados e conclusões desses estudos em revistas científicas.

2.5. ALTERAÇÃO DE QUALIDADE DEVIDO À DESIDRATAÇÃO EM SECADORES DE ROLOS

Analogamente aos demais métodos de preservação de alimentos envolvendo aplicação de calor, a desidratação, embora aumente o período potencial de consumo (vida-de-prateleira) e promova algumas modificações nutricionais desejáveis nos produtos (LUND, 1975; SGARBIERI, 1981; BENDER, 1972), acarreta como contrapartida a destruição de certos nutrientes em relação à matéria-prima de origem, quando consumida fresca e "in natura" (LUND, 1975).

Além das perdas de nutrientes, outros efeitos adversos de natureza físico-química podem ocorrer devido ao processamento térmico de alimentos, como alteração de cor, perdas de aromas característicos dos produtos, desenvolvimento de aromas indesejáveis resultantes de reações de deterioração e alterações em características relacionadas com o estado de agregação do alimento (como solubilidade e turgor) (THIJSSSEN & KERKHOF, 1977).

Assim, segundo LUND (1975), um dos principais desafios da indústria de alimentos é minimizar as perdas de nutrientes durante o processamento térmico, enquanto promove um processo que garanta uma vida-de-prateleira prolongada e características sensoriais e tecnológicas adequadas para o produto.

A ocorrência de reações de deterioração como resultado de processamentos térmicos, como no caso da desidratação, depende da intensidade dos tratamentos, da atividade de água, composição e pH do alimento e da presença de oxigênio e luz durante o processamento (HARRIS, 1975)

No entanto, diferentemente dos demais métodos de preservação que envolvem processamento térmico (aplicação de calor), a desidratação apresenta segundo LABUZA (1972) um fator a mais influenciando nas taxas de reações de deterioração além da combinação tempo-temperatura determinante da intensidade dos processos, qual seja, a variação da atividade de água, dificultando bastante a elaboração de modelos que possibilitem prever as alterações de qualidade resultantes das condições operacionais, de modo a permitir uma otimização do processo.

O efeito genérico da redução da atividade de água na velocidade das reações de deterioração dos alimentos foi interpretado por BLUESTEIN & LABUZA (1975), que sugeriram que a medida que se procede uma diminuição na atividade da água partindo-se de valores elevados (característicos de sistemas correspondentes a soluções diluídas), as soluções aquosas tornam-se mais concentradas, provocando em geral aumentos nas taxas de reações devido a aproximação dos reagentes. O aumento da viscosidade do sistema

acarreta entretanto, segundo esses autores, uma difusão dos reagentes cada vez mais dificultada provocando a partir de um determinado valor de atividade de água, diminuições nas taxas das reações.

Dentre as principais reações de deterioração ocorridas em alimentos durante a desidratação e que são responsáveis pela diminuição do valor nutricional e alterações das características sensoriais, merecem especial destaque a reação de escurecimento não-enzimático e as reações de degradação de vitaminas e pigmentos.

2.5.1. Reação de escurecimento não-enzimático (Reação de Maillard)

A reação de escurecimento não-enzimático ou reação de Maillard representa uma das principais transformações químicas que ocorrem com as proteínas dos alimentos e consiste na reação de grupos amínicos provenientes principalmente de aminoácidos, com grupos aldeídicos ou cetônicos, provenientes principalmente de açúcares redutores.

Esse tipo de reação ocorre mesmo em temperatura ambiente em alimentos desidratados e com teor intermediário de umidade, sendo porém fortemente catalizadas pelo calor (SGARBIERI, 1981).

O resultado da reação de Maillard é o escurecimento dos alimentos que adquirem coloração parda ou marrom bronzeada, coloração esta que é característica e apreciada em um grande nú-

mero de produtos (carnes cozidas e assadas, crosta de pães, etc.) (SGARBIERI, 1981; BENDER, 1972), tendo porém uma influência negativa na qualidade sensorial de vários outros (TRESSL, 1978 *apud* FOX, LONCIN & WEISS, 1983).

Do ponto de vista nutricional, a reação de Maillard pode acarretar segundo SGARBIERI (1981) diminuição na biodisponibilidade de aminoácidos essenciais; diminuição na digestibilidade de proteínas; acúmulo de produtos de degradação que poderão interferir com a fisiologia normal dos seres vivos que os assimilam.

Dos aminoácidos, a lisina é que apresenta maior sensibilidade a reação de Maillard, devido a presença do grupo ϵ -amino (HANNAN & LEA, 1952).

O efeito da reação de Maillard no comprometimento biológico ou destruição de aminoácidos foi extensamente estudado por vários autores (MOHAMMAD *et alii*, 1949; SGARBIERI *et alii*, 1973a) assim como a correspondente diminuição do valor nutricional das proteínas (SGARBIERI *et alii*, 1973b; OSNER & JOHNSON, 1968; HALEVY & GUGGENHEIM, 1953; BENDER, 1972), sendo bastante variável o grau desses efeitos em função do tipo de proteína, características do meio e, principalmente, do tratamento empregado, notadamente no que diz respeito a relação tempo/temperatura do processo ou das condições de estocagem empregadas.

A dependência da reação de Maillard com a temperatura foi estudada por vários autores e revisada por LABUZA & SHAFERO (1977 *apud* FOX *et alii*, 1983), que compilaram valores de energia de ativação variando entre 77 e 220 $\text{Kj}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Embora vários estudos tenham avaliado o efeito da desidratação na reação de escurecimento não-enzimática e no consequente comprometimento do valor nutricional da proteína, poucos estudos relacionaram a extensão da reação com as variáveis do processo de desidratação, sendo o trabalho de FOX *et alii* (1983) uma das poucas exceções.

A maioria dos estudos versando sobre a ocorrência de reação de Maillard devido a desidratação em rolos secadores está relacionada com o processamento de leite em pó. Assim, já na década de 30, NEVENS & SHAW (1933) constataram diminuição na digestibilidade aparente da proteína do leite em pó produzido tanto por rolos secadores como por atomização em "spray dryer" em relação ao leite fresco integral, de 91,8% para 87,4%, contestando estudos anteriores "in vitro" em que se registraram uma maior digestibilidade do leite em pó em relação ao leite fresco.

MAURON *et alii* (1955) detectaram uma destruição de 13% de lisina no leite integral pela desidratação em rolos secadores além de um nível de inativação de lisina (diminuição de biodisponibilidade) de 20%, em relação ao leite cru. Em amostras em que foram detectados, nesse estudo, sinais visíveis de caramelização, os níveis de inativação de lisina alcançaram até 45%.

O efeito da desidratação por secadores de rolos sobre o valor nutricional de alimentos destinados a alimentação infantil foi também avaliado em alguns estudos. ABRAHANSON *et alii* (1979) estudaram, nesse sentido, os efeitos de diferentes processamentos sobre a biodisponibilidade de aminoácidos essenciais em alimentos infantis à base de leite e cereais, constatando que enquanto a

adição de sacarose ao produto antes da desidratação em rolos secadores acarretou um valor de NPU (Net protein utilization) de 60 no produto final, a adição de glicose resultou em um valor de NPU de 34. As diferenças obtidas pela adição de açúcar antes ou depois do produto ser seco em tambor também foram muito significativas. Assim quando os açúcares foram adicionados após a secagem do produto até 4% de umidade, os valores de NPU foram de 72, 80, 83 e 70 para sacarose, glicose, frutose e lactose, respectivamente. Quando a adição foi feita antes da secagem, os resultados foram 69, 35, 48 e 38%. As perdas foram ainda maiores quando o produto foi seco até 1,5% de umidade. A suplementação com lisina restituiu os valores originais de NPU.

WALTER *et alii* (1983) estudaram o efeito da secagem de purê de batata doce em rolos secadores (com temperatura nos rolos de 160°C) em comparação com a secagem procedida com ar forçado (60°C) sobre o valor nutricional da proteína, dado pelo quociente de eficiência protéica (PER), pela composição em aminoácidos e pela disponibilidade nutricional relativa de lisina. Os valores de PER encontrados para os produtos foram respectivamente 1,27 e 2,22 (corrigidos para caseína 2,50) para o produto seco em rolos e com ar forçado, sendo que embora os teores de lisina para os dois produtos fossem bem próximos (cerca de 5g/16gN), a disponibilidade relativa de lisina mostrou-se bem superior no 2º caso.

ESCHER & HEUKOM (1971) relataram um estudo envolvendo uma otimização das condições de secagem de suco de maçã em secador de rolos com base no escurecimento não-enzimático. O estudo envolveu a avaliação do efeito da pressão de vapor no interior

dos cilindros e do tempo de retenção no secador sobre a umidade do produto e sobre o grau de escurecimento não-enzimático avaliado pelo coeficiente de extinção molar, concluindo que ambas as variáveis são mais condicionadas pela pressão de vapor do que pelo tempo de residência do produto no secador.

Um estudo do efeito da desidratação de milho verde da variedade Nutrimaiz através de vários processos (liofilização a 25-30°C; secagem em rolos com pressão a 40 lbf/pol²; atomização em "spray-dryer" com temperatura de entrada de 160°C e de saída de 70°C; secagem em túnel a 70°C) no valor nutritivo da proteína e na composição de aminoácidos, foi anteriormente procedido por REYNA *et alii* (1984), sem no entanto se ater em estudos mais aprofundados de cada processo. Os resultados revelaram uma composição em aminoácidos semelhantes para os quatro produtos, sendo que com relação ao FER o produto liofilizado apresentou valor idêntico ao da caseína (2,6), seguido do produto obtido nos rolos secadores (2,3), por atomização (1,5) e no secador de túnel (1,3). Já os valores de digestibilidade resultaram em 80,0% para o produto liofilizado, 82,5% para o produto seco em rolos secadores, 86,4% para o produto seco por atomização e 79,5% para o produto seco em secador de túnel.

2.5.2. Perdas de vitaminas e pigmentos devido à desidratação em rolos secadores

Segundo BLUESTEIN & LABUZA (1975) existem diferenças fundamentais entre a forma de dependência das taxas de degradação

de vitaminas hidrossolúveis e lipossolúveis com relação a atividade de água. Assim, enquanto no caso das vitaminas hidrossolúveis a relação entre a taxa de destruição e atividade de água obedece a regra geral de perdas de nutrientes hidrossolúveis conforme proposto por LABUZA (1972), no caso dos nutrientes lipossolúveis a taxa de destruição diminui com a diminuição da atividade de água até um mínimo situado entre 0,3 e 0,4, voltando a aumentar para valores inferiores de atividade de água. Esse mínimo, segundo esses autores, é causado pelo balanço entre hidratação e mobilidade dos catalizadores e reagentes, hidratação dos intermediários da sequência de reação e destruição de radicais livres.

Das vitaminas hidrossolúveis uma das mais termolábeis e de importância no milho é a tiamina (vitamina B₁). FARRER (1955) em sua revisão sobre a destruição térmica de tiamina, considerou que a perda desta vitamina devido ao calor poderia ser facilmente prevista por uma reação de 1^a ordem, relacionando também a taxa de destruição com a forma da vitamina presente no alimento e com outros fatores intrínsecos e extrínsecos ao alimento e concluindo, de uma maneira geral, que a taxa de destruição aumenta com aumento de pH (sendo bem mais acentuada na região alcalina), e com a presença de oxigênio e de metais.

BLUESTEIN & LABUZA (1975) compilaram resultados de vários estudos referentes a destruição de tiamina devido a desidratação de produtos vegetais com ar quente concluindo que, em geral, as perdas situam-se em torno de 5% (sendo de 4-5% no caso de milho), embora perdas de até 30% tenham sido registradas para certos produtos (como cenoura e batata).

FOX, LONCIN & WEISS (1982) sustentaram que os estudos publicados até então sobre perdas de tiamina não forneciam dados suficientes que permitissem a determinação do efeito da redução de água na taxa de destruição de tiamina, isoladamente ou de forma combinada com outros fatores (como pH e temperatura), sugerindo um procedimento para a busca de combinações ótimas dos parâmetros de processo.

ROBERTS (1985) comparou as perdas de tiamina em frutas devido a desidratação, congelamento e enlatamento, concluindo que as perdas devido a desidratação superam a dos outros dois processos, acarretando destruição de em média 55% dessa vitamina.

A destruição de tiamina devido a desidratação em rolos secadores foi aparentemente pouco estudada. MILLER, GUADAGNI & KOW (1973) reportaram, nesse sentido, perdas de aproximadamente 20% de tiamina na produção de feijão em pó através de secador de rolos duplos (127°C por 30 segundos).

Com relação as perdas de vitaminas e pigmentos lipossolúveis, LABUZA (1971) sustentou que obedecem ao mecanismo geral de oxidação a partir de radicais livres característicos de lipídios, ao qual corresponde uma baixa energia de ativação (10-15 kcal/mol) e um longo tempo de indução.

Os carotenóides, por exemplo, responsáveis pela coloração de amarelo ao avermelho e que incluem em seu grupo certos precursores de vitamina A, sofrem uma fácil degradação com consequente perda de cor e da atividade pró-vitáminica, principalmente devido à oxidação. Embora fatores como temperatura, exposição à luz, atividade de água e presença de metais influam na estabili-

dade dos carotenóides, o fator mais importante é claramente a presença de oxigênio (AMAYA, 1984).

BELLA MÔNICA & McDOWELL (1965) procederam a secagem de cenoura por diferentes métodos e determinaram o teor de B-caroteno total e de trans-isômeros, que é a forma com 100% de atividade pró-vitáminica, concluindo que as perdas de B-caroteno (variando de 10 a 26%) bem como de trans-B-caroteno (variando de 20 a 40%) foram maiores que as esperadas se a taxa de destruição fosse somente devido ao mecanismo de oxidação a partir do radical livre, sugerindo a ocorrência também de reações térmicas diretas responsáveis pela destruição dos carotenóides. Nesse sentido, BOSKOVIC (1979) sugeriu um esquema para explicar os prováveis caminhos da degradação do trans-licopeno, correspondente a isomerização térmica trans-cis que pode ocorrer com os carotenóides durante cozimento, aquecimento e desidratação.

Com relação às perdas de vitamina E devido a desidratação de alimentos, há pouca literatura disponível. Considerando que essas perdas também envolvem principalmente um mecanismo de oxidação semelhante ao envolvido na oxidação de lipídios, esperase, segundo BLUESTEIN & LABUZA (1975), que estas sejam pequenas. Nos processamentos de sementes oleaginosas, por exemplo, onde temperaturas muito altas são utilizadas, assume-se segundo esses autores que somente 5% da vitamina E é perdida.

Já segundo HARRIS (1975), os tocoferóis são estáveis a fervura vigorosa em ácido na ausência de oxigênio e também são estáveis à luz visível. No entanto, segundo esse mesmo autor, são instáveis a temperatura ambiente na presença de oxigênio indican-

do que, também no caso dos tocoferóis, o oxigênio é fator mais importante que a temperatura com relação a taxa de destruição.

2.6. ALTERAÇÃO DE QUALIDADE E IMPORTÂNCIA DA EMBALAGEM NO ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS DESIDRATADOS

Segundo PASSY & MANNHEIN (1977) *apud* CABRAL & FERNANDES (1980) a vida-de-prateleira, ou vida útil de um alimento pode ser definida como sendo o período de armazenamento em que é mantida a aceitabilidade do produto pelo consumidor, utilizando como critério um determinado indicador de qualidade, como alteração de cor, sabor, textura ou perda de valor nutritivo.

De acordo com HEARNE (1964) os principais danos a que os alimentos estão sujeitos durante o armazenamento são: contaminação microbiana; contaminação de insetos e roedores; oxidação, hidrólise e reversão de gorduras; reações de escurecimento não-enzimático; alterações devido ao ganho de umidade; alterações devido a perda de umidade; atividade enzimática; perda do valor nutritivo; interação com os recipientes; perda das qualidades estéticas.

Os principais fatores determinantes dos processos de deterioração dos alimentos durante a estocagem são a atividade de água, a temperatura ambiente, o pH do alimento, a maior ou menor presença de oxigênio e a quantidade de luz incidente.

Dentre os principais processos de deterioração que ocorrem com os alimentos desidratados destacam-se o escurecimento não-enzimático, a oxidação de lipídios e a oxidação de pigmentos

e vitaminas.

A oxidação de lipídios, cujo mecanismo já foi estudado por vários autores (DUGAN, 1976; LABUZA, 1971), consiste basicamente na formação de peróxidos como consequência da interação entre radicais livres de ácidos graxos e oxigênio, seguido da decomposição dos peróxidos originando compostos voláteis (como aldeídos e cetonas) responsáveis pelo odor e sabor rançosos característicos, que tornam os alimentos inaceitáveis.

Os radicais livres de ácidos graxos insaturados, que originam e propiciam a propagação do processo de oxidação dos lipídios, podem, juntamente com os hidroperóxidos formados, catalisar reações de oxidação de pigmentos e vitaminas, bem como participar de interações com proteínas, provocando diminuição do valor nutricional do produto.

A ação conjugada da temperatura e da luz acelera o processo oxidativo (CABRAL & FERNANDES, 1980). Já a influência da atividade de água sobre a oxidação dos lipídios obedece os princípios gerais que regem a dependência das reações de destruição de nutrientes lipossolúveis com a atividade de água, conforme discutido anteriormente.

Assim, segundo LABUZA (1971), a taxa de oxidação de lipídios é mínima para produtos com atividade de água variando de 0,3 a 0,4, ocorrendo um aumento desta à medida que esses valores aumentam ou diminuem.

A taxa de oxidação pode ser considerada influenciada pelo conteúdo de umidade, segundo KAREL & HEIDELBAUGH (1975), com relação a no mínimo três importantes aspectos: um efeito antioxi-

dante devido a hidratação de metais catalizadores, que decresce assim a ação catalítica desses metais; um efeito antioxidante devido a ligação de hidroperóxidos, reduzindo suas reatividades; um efeito pró-oxidante, devido ao aumento da mobilidade de reagentes e catalisadores.

Já o efeito da atividade de água e dos demais fatores condicionantes da taxa de reação (com destaque para temperatura e tempo) sobre o escurecimento não-enzimático e sobre as perdas de pigmentos e vitaminas durante o armazenamento, é análogo ao efeito desses fatores durante o processamento térmico, conforme abordado anteriormente.

Esses processos deteriorativos são, da mesma forma, acelerados com a elevação da temperatura e atividade de água durante o armazenamento.

Assim sendo, dois dos princípios fundamentais de preservação dos alimentos durante a estocagem são a manutenção dos fatores ambientais em níveis desfavoráveis para a ocorrência dos processos deteriorativos e a proteção do produto através da utilização de embalagens, caso não sejam diretamente controlados os fatores ambientais desfavoráveis, em níveis adequados.

Portanto, a principal função das embalagens com relação a alimentos desidratados, é proteger os produtos contra os agentes aceleradores de processos deteriorativos, como a penetração de umidade, oxigênio e luz de modo a prolongar ao máximo a vida-de-prateleira dos produtos.

2.7. ESTUDOS DE SISTEMAS ALIMENTARES ATRAVÉS DA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

A procura de soluções ótimas em sistemas alimentares é um dos aspectos fundamentais da pesquisa em ciências e tecnologia de alimentos, notadamente no que se refere a busca de meios mais eficientes para o processamento e formulação de alimentos através de métodos de otimização (BORSATO & SILVA, 1985).

Atualmente, o desenvolvimento de modelos matemáticos e o uso da metodologia estatística tem possibilitado um rápido desenvolvimento de novos produtos com minimização de custos e melhoria na qualidade (EVANS, 1982).

Os planejamentos multifatoriais têm sido muito empregado na modelagem de sistemas a serem otimizados, principalmente quando há uma relativa falta de conhecimentos sobre o comportamento das variáveis envolvidas, o que é comum acontecer em sistemas alimentares (BORSATO & SILVA, 1985). Entre esses planejamentos experimentais destaca-se a metodologia de superfície de resposta (DANG, 1976; HAULY, SILVA & RAO, 1980).

A metodologia de superfície de resposta (MSR) consiste de um conjunto de técnicas matemáticas e estatísticas, que permite a análise de problemas onde k variáveis independentes ou fatores (quantitativos) influenciam uma variável dependente ou resposta. As variáveis independentes (x_1, x_2, \dots, x_k) por hipótese, são contínuas e controladas com erro desprezível e a resposta é uma variável aleatória (IDA *et alii*, 1983), que poderá ser uma função dos níveis nos quais esses fatores são combinados.

A expressão matemática desta relação é representada por:

$$y = \theta (x_{1u}, x_{2u}, \dots, x_{ku})$$

onde $u = 1, 2, \dots, N$ representa as N observações procedidas no experimento fatorial e x_{iu} representa o nível do i -ésimo fator na u -ésima observação (COCHRAN & COX, 1957). A função θ é chamada superfície de resposta e seu conhecimento fornece um completo resumo dos resultados do experimento, bem como permite prever a resposta para valores de x_{iu} que não foram testados no experimento (COCHRAN & COX, 1957).

A metodologia de superfície de resposta possibilita, assim, o desenvolvimento de modelos matemáticos preditivos, a partir de dados experimentais, que podem então ser usados para interpolações (HENIKA & PALMER, 1976 apud SILVA et alii, 1981) em uma região específica de interesse, bem como elucidar o efeito das variáveis independentes, individualmente ou de forma combinada, sobre as variáveis de resposta.

Finalmente, a aplicação de determinados métodos de otimização nas equações representantes das funções obtidas pela metodologia de superfície de resposta, como o método do gradiente, o método de Newton, o método analítico (BORSATO & SILVA, 1985), permitem determinar, em última instância, segundo BOX, HUNTER & HUNTER (1978) quais valores das variáveis independentes permitiriam um máximo para uma variável de resposta específica, o que embora relevante não é a pretensão do presente trabalho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. SELEÇÃO, CULTIVO E COLHEITA DA MATÉRIA-PRIMA

Para a produção dos flocos optou-se pela utilização como matéria-prima de um híbrido simples denominado L₉₀ X L₆₀, derivado do Nutrimaiz e especialmente adequado a industrialização. Tal híbrido foi sintetizado originalmente a partir do plantio alternado em um determinado lote de 4 linhas de 20 metros da linhagem L₉₀ (suoz) para uma linha da linhagem L₆₀ (suoz), num campo com 18 metros de largura. No florescimento a linhagem L₉₀ foi emasculada para a obtenção do híbrido simples (F₁).

Após a seleção do F₁, o híbrido resultante possuía porte baixo, alta produtividade, resistência ao acamamento e espigas com grãos profundos, superiores a 12 mm de profundidade. Este híbrido, que apresentava também alta uniformidade foi, assim, especialmente adequado à industrialização no estágio de milho verde.

Para suprir a demanda necessária para a realização dos ensaios, os híbridos foram cultivados em glebas experimentais na UNICAMP e colhidos 25 dias após a polinização, no estágio leitoso de maturação.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Uma amostra do híbrido utilizado como matéria-prima no estudo foi liofilizada e moída (100 mesh) sendo destinada para a caracterização com relação a composição química básica e composição em aminoácidos, conforme metodologia descrita a seguir.

3.2.1. Proteína bruta e nitrogênio não-potéico

O conteúdo de nitrogênio total foi determinado pelo método semimicro-Kjeldahl nº 46-12 da AACC (1976). O conteúdo de proteína bruta foi calculado multiplicando-se o teor de nitrogênio total pelo fator 6,25. O teor de nitrogênio não-protéico foi determinado após precipitação das proteínas hidrossolúveis com ácido tricloroacético (TCA 5% p/v) segundo o método descrito por BECKER *et alii* (1940).

3.2.2. Lipídios totais

O teor de lipídios totais foi determinado de acordo com o método de BLIGH & DYER (1959).

3.2.3.Fibra

O teor de fibra foi determinado pelo método descrito por VAN SOEST & WINE (1967), sendo a amostra submetida a um tratamento prévio com enzima alfa-amilase conforme descrito por McQUEEN & NICHOLSON (1979).

3.2.4.Cinzas

O conteúdo de cinzas foi determinado por incineração em mufla por 2 horas a 600°C, segundo o método nº 08-03 da AACC (1976).

3.2.5.Umidade

O teor de umidade da matéria-prima foi determinado de acordo com o procedimento nº 14.004 da AOAC (1975).

3.2.6.Açúcares totais e açúcares redutores

A extração dos açúcares solúveis foi procedida conforme descrito por GONZALES *et alii* (1976) com algumas modificações,

utilizando-se solução hidroalcoólica para a extração dos açúcares solúveis (etanol 80%).

A determinação dos açúcares redutores foi procedida no extrato dos açúcares solúveis pelo método espectrofotométrico de Somogyi-Nelson (SOMOGYI, 1945) e a determinação dos açúcares totais foi procedida no mesmo extrato pelo método espectrofotométrico do fenol-ácido sulfúrico, de acordo com HODGE & HOFREITER (1962).

3.2.7. Composição em aminoácidos

Foi determinado no hidrolizado ácido (HCl 6N, 110°C, 22h) em analisador Beckmann 120C, segundo SPACKMAN *et alii* (1958). O teor de triptofano foi determinado no hidrolizado enzimático (pronase) pelo método de SPIES (1967).

3.3. PREPARO DA MATÉRIA-PRIHA PARA A SECAGEM

Após a colheita, as espigas foram despalhadas manualmente, sendo a seguir submetidas a um branqueamento por 6 minutos em água fervente em tanque aberto encamisado para circulação de vapor e, posteriormente, resfriadas com água à temperatura ambiente em um segundo tanque de aço inoxidável. Em seguida procedeu-se o debulhamento manual das espigas, mediante a utilização de facas com lâminas de aço inoxidável.

A moagem dos grãos para a obtenção da polpa a ser desidratada foi definida a partir de testes preliminares, sendo primeiramente utilizado um moinho tipo "cutter" no qual os grãos foram moídos por 6 minutos e posteriormente um moinho coloidal pelo qual procedeu-se 4 passagens para a obtenção de uma granulometria satisfatória da polpa com relação ao perfil de textura.

3.4. DESIDRATAÇÃO DA POLPA EM SECADOR DE ROLOS

A desidratação da polpa foi realizada em um secador de rolos duplos escala piloto de 18 polegadas de comprimento por 18 polegadas de diâmetro, fabricado pela Richards Simons & Sons e pertencente à Seção de Alimentos Desidratados do Instituto de Tecnologia de Alimentos. O secador possuía dispositivos reguladores de velocidade e de espaçamento entre os rolos, bem como do afastamento das facas destinadas a raspagem do material desidratado situado na superfície dos rolos (localizadas a aproximadamente 3/4 no perímetro da circunferência dos rolos a partir do ponto de alimentação da polpa), bem como válvulas controladoras da pressão de entrada do vapor em cada um dos cilindros do secador.

3.5. ESTUDO DO EFEITO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO E DA PRESSÃO DE VA- POR SOBRE O RENDIMENTO DA SECAGEM E QUALIDADE DO PRODUTO

Embora vários são os parâmetros que afetam o rendimento da secagem, como o afastamento entre os rolos, o nível de purê acima do ponto de estrangulamento entre os rolos (ponto de alimentação), a concentração de sólidos no purê e as condições ambientais (WADSWORTH *et alii*, 1966; SPADARO *et alii*, 1966), nossa análise se restringiu a apenas dois desses parâmetros: a velocidade de rotação dos cilindros e a pressão de vapor no interior dos mesmos, determinantes respectivamente da temperatura na superfície dos rolos e do tempo de residência do purê no secador. Procurou-se manter as demais variáveis operacionais intrínsecas ao secador em níveis constantes, sendo o nível do purê mantido a cerca de 10 cm acima do ponto de estrangulamento e o afastamento entre os rolos em 0,15 mm.

As coletas das amostras foram realizadas em um mesmo dia, visando evitar-se grandes oscilações nas condições ambientais

3.5.1. Obtenção das amostras para o estudo

Foi estudado o efeito das duas variáveis a três níveis, sobre as variáveis de resposta indicativas do rendimento do processo e da qualidade do produto. Os níveis foram selecionados com

base em testes preliminares que permitiram a fixação dos valores máximos e mínimos para as variáveis consideradas, de modo a resultar em um produto aceitável (não excessivamente úmido e sem o aspecto visual de "queimado").

Os níveis selecionados para a pressão de vapor foram 50; 60 e 70 lbf/pol² e para a velocidade de rotação foram 1,5; 2,0 e 3,0 r.p.m., sendo o delineamento experimental escolhido descrito no item 3.5.13.

3.5.2.Cálculo do rendimento do processo

O rendimento do processo resultante de cada uma das combinações operacionais procedidas no estudo foi calculado a partir da determinação do peso das amostras coletadas durante 30 minutos de operação do secador e expresso como kg/h/m² de superfície do rolo.

3.5.3.Teor de umidade dos flocos

O teor de umidade dos flocos foi determinado de acordo com o procedimento nº 14.004 do AOAC (1975).

3.5.4.Valor nutricional da proteína dos flocos

O valor nutricional da proteína dos flocos e dos grãos utilizados como matéria-prima ("in natura" e branqueados) e de

uma proteína adotada como padrão para fins comparativos (caseína p.a., marca Riedel), foi determinado com base em dois parâmetros: o Quociente de Eficiência Protéica (P.E.R.) e a Digestibilidade Aparente da Proteína, determinados num mesmo ensaio biológico para o qual foram seguidas as recomendações da ADAC (1975), procedimentos nºs 39.199 à 39.170.

Foram empregados para o ensaio ratos albinos da linhagem Wistar provenientes do biotério da Escola Paulista de Medicina, com idade variando de 21 a 25 dias e pesando aproximadamente 30 a 40 gramas, colocados por ocasião do ensaio em gaiolas de crescimento individual com dieta e água "ad libitum".

O ensaio teve duração de 28 dias, além de um período de 5 dias de adaptação, após os quais foram procedidas pesagens dos ratos e calculada a ração consumida.

Todas as dietas utilizadas no ensaio foram preparadas para conter 10% de proteína e 8% de óleo, sendo o nível de proteína em base úmida dos flocos ou da matéria-prima liofilizada o fator determinante da quantidade da fonte protéica adicionada no preparo de cada uma das dietas. O conteúdo de óleo foi completado com óleo de milho (Mazola). A mistura salina foi preparada segundo HEGSTED *et alii* (1941) e utilizada na proporção de 4% das dietas (NBC, 1977/1978). A mistura vitamínica para fortificação da dieta foi também preparada de acordo com a NBC (1977/1978) e utilizada para resultar em um nível de 2% da pré-mistura desprezando-se o teor de vitaminas originalmente presente nos flocos e na matéria-prima. A adição de fibra (celulose) foi omitida no caso das dietas de flocos e matéria-prima visto que estes já continham

um teor médio de 6,5% de fibra bruta, o que acarretava um teor de fibra bruta das dietas em torno de 5,5%. Igual teor foi adicionado à dieta de caseína para fins comparativos.

As dietas foram completadas à 100% com a fração carboidratos, sendo 25% desta fornecida como sacarose (açúcar refinado União) e 75% como amido (amido de milho Maizena), segundo SGARBIERI (1979). As formulações das dietas, da mistura salina e da mistura vitamínica estão dispostas nas Tabelas 1, 2 e 3 respectivamente.

TABELA 1. Composição centesimal das dietas utilizadas nos ensaios biológicos

Componente	Porcentagem
Proteína (proveniente de cada amostra)	10
Gordura (óleo de milho comercial)	8
Sais minerais (V. Tabela 2)	4
Vitaminas (V. tabela 3)	2
Carboidrato ¹	q.s.p. 100

1. Fornecido 25% como açúcar refinado comercial e 75% como amido de milho comercial

TABELA 2. Formulação da mistura salina utilizada nos ensaios biológicos.

Componente	Fórmula	Porcentagem
Carbonato de cálcio	CaCO_3	29,974
Fosfato di-potássico	K_2HPO_4	32,222
Fosfato mono-cálcico	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7,493
Sulfato de magnésio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10,191
Cloreto de sódio	NaCl	16,735
Citrato férrico	$\text{Fe}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sic	2,747
Iodeto de potássio	KI	0,079
Sulfato de manganês	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,499
Cloreto de zinco	ZnCl	0,024
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,029

Fonte: HEGSTED *et alii* (1941).

TABELA 3. Formulação da mistura vitamínica utilizada nos ensaios biológicos.

Componente	Porcentagem
Concentrado de Vitamina A (200000 UI/g)	2,948
Concentrado de vitamina D (400000 UI/g)	0,163
Alfa-tocoferol	3,276
Ácido ascórbico	29,486
Inositol	3,276
Cloreto de colina	49,144
Menadiona	1,474
Ácido p-aminobenzóico	3,276
Niacina	2,948
Riboflavina	0,655
Hidrocloreto de piridoxina	0,655
Hidrocloreto de tiamina	0,655
Pantotenato de cálcio	1,965
Biotina	0,013
Ácido fólico	0,058
Vitamina B-12	0,001

Fonte: NBC, 1977/1978

A digestibilidade aparente das proteínas foi estimada tendo-se por base a determinação do nitrogênio ingerido e o eliminado nas fezes. O cálculo foi efetuado conforme descrito por WDLZAK *et alii* (1981), de acordo com a seguinte relação:

$$\text{Dap} = \frac{\text{Ning} - \text{Nfezes}}{\text{Ning}} \times 100$$

sendo:

Dap = digestibilidade aparente

Ning = nitrogênio total ingerido com
a ração

Nfezes = nitrogênio eliminado nas fezes

3.5.5. Porcentagem de lisina disponível

Foi determinada em cada lote de flocos processado e na matéria-prima branqueada em relação ao teor originalmente presente na matéria-prima, através de método microbiológico baseado na metodologia introduzida por FORD (1962) e STOCKMAN *et alii* (1961), mediante a utilização de *Streptococcus faecium* (cultura n^o99790 proveniente da American Type Culture Collection - ATCC), conforme procedimento descrito por TANAKA (1968) com algumas modificações.

O microorganismo foi adquirido da ATCC (lote 08-03) em ampola hermeticamente fechada, contendo uma pérola liofilizada da cultura desenvolvida em meio TSA ("Trypticase Soy Agar - BBL - with 5% defibrinated sheep blood").

A cultura foi recuperada pela reidratação da pérola com aproximadamente 0,3 ml do meio "Tomato Juice" (DIFCO) adicionado com pipeta Pasteur após a abertura da ampola, sendo posteriormente transferida para 6 ml do mesmo meio.

Para a manutenção da cultura procedeu-se uma repicagem inicial de 0,5 ml do meio de "Tomato Juice" após incubação por 24 horas a 37°C para 5 ml do meio MRS (Lactobacillus - Bouillon Nach De Man, Rogosa und Sharpe - MERCK), sendo promovido um novo período de incubação neste último por 24 horas a 37°C, após o que procedeu-se a estocagem da cultura a 2°C. A cultura foi sucessivamente repicada de maneira análoga para outros tubos contendo o meio MRS em intervalos de 1 mês.

A inoculação dos meios testes e soluções padrões foi procedida transferindo-se 0,1 ml da cultura, após crescimento por 24 horas a 37°C em meio idêntico ao utilizado para a manutenção, com o auxílio de pipeta graduada esterilizada.

A preparação dos meios testes envolveu inicialmente uma pré-digestão enzimática das amostras, resultando em digeridos com concentrações finais de aproximadamente 208 µg de lisina/ml, conforme procedimento descrito por AKESON & STAHPAN (1964). Os digeridos originários da pré-digestão enzimática foram filtrados em lã-de-vidro e diluídos 6 vezes, sendo então procedida a esterilização dos mesmos através de filtração em filtros de 45 µ (Milli-

pore Corp). Após a diluição e esterilização os digeridos de cada uma das amostras foram adicionados em volumes de 2,0 ml em conjuntos de 3 tubos esterilizados para o preparo dos meios testes.

O preparo das soluções de lisina para a elaboração da curva padrão envolveu inicialmente a preparação de uma solução "stock" aquosa contendo 2 mg de L-lisina (monocloridrato) por ml, mantida armazenada a 2°C. Dessa solução foi preparada uma solução padrão contendo 25 µg de L-lisina por ml, da qual foram adicionadas 1, 2, 3, 4 e 5 ml em triplicatas em tubos de ensaio, após esterilização análoga aquela procedida para os digeridos das amostras.

Dando prosseguimento à preparação dos meios testes e das soluções padrões, foram adicionados em cada tubo de ensaio 2ml de um meio dito "basal" e 1 ml de um suplemento em aminoácidos, cujas composições são mostradas nas Tabelas 4 e 5 respectivamente. Tais soluções haviam sido preparadas, esterilizadas por filtração em filtros de 45µ e estocadas a -20°C, sendo então descongeladas por ocasião do uso. O suplemento em aminoácidos foi, quando necessário, aquecido para dissolver o precipitado formado no congelamento.

Para efeito de cálculo, o teor de lisina disponível da matéria-prima, calculado pelo método microbiológico, foi assumido como 100%, sendo o teor de lisina disponível dos flocos e da matéria-prima branqueada calculado como uma determinada porcentagem daquele valor.

TABELA 4. Composição básica da solução ("meio basal") empregada no preparo do meio de cultura utilizado na determinação de lisina disponível por método microbiológico

Componente	Quantidade
Glicose (g)	60
K ₂ HPO ₄ (g)	60
Ácido cítrico (g)	2,5
Acetato de sódio (g)	12,5
Tween 80 * (ml)	5
Solução de sais minerais ** (ml)	50
Adenina (mg)	25
Guanina (mg)	25
Uracil (mg)	25
Xantina (mg)	25
Tiamina (mg)	10
Piridoxal etilacetal hidrocloreto (mg)	10
Riboflavina (mg)	10
Ácido nicotínico (mg)	10
Pantotenato de cálcio (mg)	10
Ácido p-amino benzóico (mg)	10
Ácido fólico (mg)	1
Biotina (µg)	50
Ácido ascórbico (g)	2,5
Vitamina B ₁₂ (µg)	10

pH ajustado para 7,2
 Água adicionada para 1000 ml

* Polioxietileno sorbitan mono-oleato

** Contendo MgCl₂.6H₂O, 20g; CaCl₂, 5g; FeCl₃.6H₂O, 0,5g; ZnSO₄.7H₂O, 0,5g; MnSO₄.4H₂O, 0,25g; CoCl₂.6H₂O, 0,25g; CuSO₄.5H₂O, 0,25g; VSO₄, 0,25g; Na₂MoO₄, 0,25g; dissolvido em 1000 ml de água destilada com adição de H₂SO₄ 1N para clarear

TABELA 5. Composição do suplemento em aminoácidos utilizado na preparação do meio de cultura empregado na determinação de lisina disponível por método microbiológico

Componente	Quantidade (g)
Ácido L-glutâmico	2
L-leucina	1
L-isoleucina	1
L-valina	1
L-alanina	1
Ácido L-aspártico	1
L-arginina	0,4
L-metionina	0,4
Glicina	0,4
L-cistina *	0,4
L-serina	0,4
L-tirosina	0,4
L-prolina	0,4
L-histidina	0,4
L-fenilalanina	0,4
L-treonina	0,4
L-triptofano	0,4

pH ajustado com KOH 1N para 7,2
 Água adicionada para 500 ml

* Primeiramente dissolvido separadamente em 10 ml de água fervente por adição de KOH 1N.

Finalmente, a preparação dos meios testes e soluções padrões foi completada pela elevação do volume em cada tubo a 10 ml com água destilada esterilizada.

Após a inoculação, os meios testes e as soluções padrões foram incubados a 37°C por 20 horas, após o que procedeu-se uma agitação dos tubos e a leitura da densidade óptica a 580 nm com o colorímetro "Spectronic 20" (Bausch and Lomb Optical Company)

3.5.6. Carotenóides totais

Uma alíquota da fase clorofórmica proveniente da extração pelo método de BLIGH & DYER (1959) foi evaporada totalmente e o resíduo recuperado em 20 ml de hexana e centrifugado a 5.000 rpm por 5 minutos. O teor de carotenóides totais de cada lote foi então determinado nessas soluções pela leitura da absorbância a 448 nm e expressos como zeaxantina ($E_{1cm}^{1\%} = 2350$), de acordo com GOODWIN (1976).

3.5.7. Tocoferóis totais

Foi determinado em cada lote de flocos de acordo com metodologia descrita por CONTRERAS-GUZMAN & STRONG III (1982) que se baseia na redução dos íons cúpricos pelos tocoferóis e na complexação do íon cuproso com batocuproína ou com cuproína.

3.5.8. Tiamina

O teor de tiamina foi determinado de acordo com metodologia proposta por JANSEN conforme descrito por STROHECKER & HENNING (1966), baseado na oxidação da tiamina em meio alcalino por ferricianeto a tiocromo, produzindo fluorescência azul à luz ultravioleta.

3.5.9. Índices de absorção de água e de solubilidade em água

O índice de absorção de água (I.A.A.) e o índice de solubilidade em água (I.S.A.) foram determinados de acordo com o método proposto por ANDERSON *et alii* (1969) para cada um dos lotes de flocos processados. Em um tubo de centrifuga, previamente tarado, foram colocados 2,50 gramas de amostra e 30 ml de água a 30°C. A mistura foi agitada continuamente durante 30 minutos (a 30°C) e centrifugada a 3.000xg por 10 minutos. O líquido sobrenadante foi vertido cuidadosamente em uma placa de Petri previamente tarada. O gel remanescente foi pesado e o I.A.A. calculado conforme a relação:

$$\text{I.A.A.} = \frac{\text{Peso do gel}}{\text{Peso amostra (base seca)}} \times 100$$

A quantidade de sólidos secos obtidos a partir da evaporação do sobrenadante obtido anteriormente foi utilizado para o cálculo do I.S.A. conforme a relação:

$$\text{I.S.A.} = \frac{\text{Peso do resíduo seco}}{\text{Peso amostra (base seca)}} \times 100$$

3.5.10. Propriedades de pasta

As propriedades de pasta dos flocos e da matéria-prima antes e após o branqueamento foram determinadas em um Viscoamilógrafo Brabender com cartucho de sensibilidade de 700 cmg conforme descrito por ANDERSON *et alii* (1969). Foram dispersos 70 gramas de flocos (base seca) em 450 ml de água. Esta suspensão foi aquecida de 25°C até 95°C (1,5°C/min), mantida a 95°C durante 20 min. e resfriada (1,5°C/min) até 50°C. A velocidade de agitação em todo o ciclo foi mantida constante a 75 rpm. Os seguintes parâmetros do amilograma foram tomados para interpretação das propriedades de pasta:

i. Viscosidade inicial de pasta: corresponde ao valor da viscosidade inicial da pasta, em unidades amilográficas (U.A.), no início do ciclo de aquecimento, a 25°C.

ii. Viscosidade no aquecimento: é a viscosidade, em U.A., no final do ciclo de aquecimento, a 95°C.

iii. Viscosidade no ciclo de agitação: é o valor da viscosidade, em U.A., no final do ciclo de agitação, a 95°C.

iv. Viscosidade no resfriamento: corresponde a viscosidade, em U.A., quando a temperatura atinge 50°C no ciclo de resfriamento.

3.5.11. Perfil de sabor

Para avaliação do perfil de sabor dos nove lotes de flocos processados foi procedida uma análise sensorial de acordo com o Método de Análise Descritiva Quantitativa, conforme descrito por STONE *et alii* (1974), utilizando-se para tal 9 provadores treinados. Foi utilizado um delineamento em blocos completos balanceados com 2 fatores de blocagem, sendo o 1º os 9 provadores que provaram 3 grupos de amostras em 3 períodos distintos, perfazendo 9 amostras testadas por provador. O 2º fator de blocagem foi considerado as 9 repetições a que foram submetidas as 9 amostras.

O preparo das amostras para os testes consistiu em se adicionar certa quantidade de flocos em bequeres de 50 ml e um certo volume de água de modo a resultar 40 ml de mistura com um teor de sólidos totais de 33,0%, equivalente ao da matéria-prima original. As emulsões nos bequeres correspondentes a cada lote de flocos foram homogeneizadas e os recipientes transferidos para um forno de micro-ondas na ocasião da prova e lá mantidos por 3 minutos de modo a se obter um cozimento aparentemente similar aquele característico do milho verde cozido, de acordo com testes preliminares. As amostras foram, por fim, agrupadas de acordo com o planejamento procedido para cada repetição e servidas à temperatura de 40°C (mantida por termocondicionadores) em cabines apropriadas para a prova.

A avaliação de cada descriptor de sabor foi computada em escala não estruturada de 9 cm em fichas correspondentes a ca-

da amostra, conforme mostrado na Figura 2.

FIGURA 2. Ficha modelo para caracterização do perfil de sabor dos flocos

Análise Descritiva Quantitativa

Nome: _____ Data: _____ Nº Amostra: _____

Instruções: Prove cada uma das amostras da esquerda para a direita e faça um traço vertical num ponto da linha que melhor descreve a intensidade de cada descriptor de sabor abaixo relacionados.

SABOR

Milho (natural)	Fraco _____	Forte
Doce	Fraco _____	Forte
Sabor estranho (amargo, azedo, rançoso, etc.)	Fraco _____	Forte
IMPRESSÃO GLOBAL	Fraco _____	Forte

3.5.12. Deteminação da cor

Colocaram-se aproximadamente 12 gramas dos flocos em cápsulas especiais do espectrofotômetro (Filterfarbmessegerat R.F. C-3 Computer H.P. 2100 A. Hewlett Packard, com disco de 7900 A e lâmpada de Xenon XB 250 W). O espectrofotômetro foi calibrado previamente com sulfato de bário.

A porcentagem de absorvância foi determinada no espectro visível (440 - 700 nm). A cor da amostra foi localizada no diagrama de cromaticidade da Comissão Internacional de Iluminação (C.I.I.), utilizando-se os valores das coordenadas Kx e Ky. A tonalidade da cor foi determinada pela diferença total em cor (D.E.) e calculada de acordo com a fórmula de ADAMS *et alii* (1978).

$$D.E. = (DAC^2 + DAL^2)^{1/2}$$

onde:

DAC = diferença de cromaticidade

DAL = diferença de luminosidade

3.5.13. Análises estatísticas

3.5.13.1. Metodologia

Para avaliar os efeitos das duas variáveis independentes (pressão de vapor e velocidade de rotação) a três níveis, foi utilizada a metodologia de superfície de resposta, adotando-se em todos os casos um modelo polinomial de segundo grau correspondente a uma superfície quadrática, ilustrado pela equação:

$$Y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + B_{11}x_1^2 + B_{22}x_2^2 + B_{12}x_1x_2 + e$$

3.5.13.2. Delineamento experimental

O plano utilizado para a realização do experimento foi um fatorial completo 3^2 . Em face das dificuldades na fixação de níveis correspondentes aos valores decimais das variáveis independentes, não se optou pela adoção de um delineamento composto central, conforme sugerido por BOX, HUNTER & HUNTER (1978) para substituição de delineamentos 3^k fatorial.

A codificação das variáveis experimentais e os níveis correspondentes são mostrados na Tabela 6. O delineamento genérico utilizado e a combinação aleatória adotada são mostrados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

TABELA 6. Codificação das variáveis "pressão de vapor" e "velocidade de rotação dos rolos" e níveis do desenho experimental utilizado no estudo da secagem

Variável	Código	Nível		
		-1	0	+1
Pressão (lbf/pol ²)(X ₁)	A	50	60	70
Velocidade de rotação (rpm)(X ₂)	B	1,5	2,0	3,0

TABELA 7. Delimitação estatístico genérico para duas variáveis a três níveis

Teste	Variável A	Variável B
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	+1
4	0	-1
5	0	0
6	0	+1
7	+1	-1
8	+1	0
9	+1	+1

TABELA 8. Combinação aleatória dos nove testes de processamento (ordem de realização dos experimentos) utilizados no estudo da secagem

Sequência dos testes								
6	1	2	9	4	8	5	3	7

3.6. ESTUDO DA VIDA-DE-PRATELEIRA DO PRODUTO

3.6.1. Obtenção das amostras para o estudo de vida-de-prateleira

Foram utilizados para o estudo de vida-de-prateleira amostras de flocos dos lotes 3 e 7 processadas no estudo da etapa de secagem (item 5.12.2), correspondentes respectivamente as condições menos e mais drásticas de processamento (lote 3: 50 lbf/pol² e 3,0 r.p.m.; lote 7: 70 lbf/pol² e 1,5 r.p.m.).

3.6.2. Especificação da embalagem do produto

Embora vários são os aspectos que devam ser levados em consideração para a especificação de embalagens flexíveis, como a permeabilidade a gases (como oxigênio e gás carbônico), rigidez ou facilidade em dobrar, tempo e temperatura de termossoldagem, facilidade ao rasgamento, transparência ou opacidade, etc. (GARCIA & CABRAL, 1984), no presente caso tendo em vista tratar-se de um estudo inicial optou-se por uma embalagem de polietileno especificada com base na permeabilidade ao vapor d'água.

A definição do tipo de filme de polietileno baseou-se na metodologia descrita por MADI et alii (1979), levando-se em consideração os processos de transferência de vapor d'água do exterior para o interior da embalagem e a subsequente absorção de umidade pelo produto.

Assim, inicialmente procedeu-se a determinação das isothermas de absorção de umidade dos produtos a 23°C através do mé-

todo dos dessecadores, ou seja, inserindo-se quantidades determinadas dos produtos (com umidade conhecida) em cadinhos previamente tarados e estes por sua vez em dessecadores mantidos com umidades relativas controladas e conhecidas (variando de 10 em 10% na faixa de 10 à 90% de umidade relativa) por soluções com diferentes concentrações de ácido sulfúrico, conforme descrito por FRANCO (1943). Após atingido o equilíbrio, os cadinhos foram novamente pesados sendo possível determinar a umidade de equilíbrio correspondente à cada valor de umidade relativa ambiente considerada e, assim, traçar a curva isoterma de absorção de umidade (teor de umidade x umidade relativa ambiente).

A partir do procedimento para determinação da isoterma de absorção foi igualmente possível determinar-se o valor máximo de umidade permitido pelo produto, sendo este considerado como a maior umidade de equilíbrio em que ainda não se verifica a aglomeração visual do produto ("caking"). Igualmente foi possível estimar-se a taxa de absorção de umidade pelo produto, que foi considerada para efeito de cálculo como sendo a tangente do ângulo formado entre a abcissa e a reta que une a origem ao ponto de umidade máxima situado na curva.

Para efeito de cálculo, o tempo de armazenamento desejado para o produto foi fixado em 300 dias, a umidade relativa ambiente durante o armazenamento foi considerada 75%, a massa de produto a ser acondicionada por embalagem foi fixada em 700 gramas, a área externa da embalagem em $0,168 \text{ m}^2$ e a espessura do filme em 64μ , sendo estes 3 últimos valores fixados com base em testes preliminares de acondicionamento do produto em embalagens

disponíveis no mercado consumidor.

Para determinar-se a taxa de permeabilidade ao vapor d'água requerida pelo filme de polietileno a ser utilizado no estudo de armazenamento, foram inseridos os valores acima mencionados na seguinte equação, que rege a transferência de umidade do exterior para o interior da embalagem (conforme CLIFFORD apud MADI, 1979):

$$\ln \frac{U_e - U_o}{U_e - U_m} = \frac{k \cdot A \cdot p_s}{l \cdot M} \cdot t$$

sendo

$$T.P.V.A. = \frac{k \cdot p_s \cdot U_r}{l} \cdot \frac{U_e}{U_r}$$

e onde:

A = área da embalagem (m²)

k = permeabilidade do filme ao vapor d'água
(g/m².dia. mmHg)

l = espessura do filme (micra)

p_s = pressão de saturação do vapor d'água (mm Hg)

t = tempo (dias)

M = massa de matéria-seca (g)

U_r = umidade relativa (%)

U_e = umidade de equilíbrio do produto (% base seca)

U_o = umidade inicial do produto (% base seca)

U_m = umidade crítica do produto (% base seca)

3.6.3. Avaliação da estabilidade do produto durante o armazenamento

Após especificado o filme de polietileno a ser utilizado, os lotes foram acondicionados nas embalagens especificadas e submetidos a um armazenamento por 300 dias em ambiente de baixa luminosidade com temperatura controlada de 23°C. Os parâmetros utilizados para a avaliação da estabilidade e indicados a seguir foram analisados bimestralmente ao longo do armazenamento.

3.6.3.1. Valor nutritivo da proteína "in vivo"

Foi determinado com base nos valores de Quociente de Eficiência Protéica (P.E.R.) e na Digestibilidade Aparente da Proteína conforme descrito no item 3.5.4.

3.6.3.2. Índice de peróxidos

Foi determinado de acordo com os procedimentos n^{os} 28.023 e 28.024 da AOAC (1975).

3.6.3.3. Índice de acidez titulável

Foi determinado segundo o método de KE & WOJEVODA (1978) que permite a titulação dos ácidos numa alíquota do extrato clorofórmico obtido segundo BLIGH & DYER (1959).

3.6.3.4. Teor de carotenóides totais

Foi determinado de acordo com GOODWIN (1976) conforme descrito anteriormente no item 3.5.6.

3.6.3.5. Perfil de sabor

Foi determinado conforme metodologia empregada no item 3.5.11., com exceção do delineamento experimental que envolveu a participação de 6 provadores que provaram as 2 amostras armazenadas a cada período de estocagem, resultando, portanto, em 6 repetições por amostra por período.

3.6.3.6. Análises estatísticas

Foi procedida uma análise de variância para verificar a existência de diferenças significativas entre as épocas para cada amostra considerada, bem como procedido o teste de Tukey para a verificação da existência de diferenças entre as médias correspondentes aos parâmetros de sabor que apresentaram diferenças significativas.

3.7. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO PROCESSO

3.7.1. Fluxograma quantitativo do processo

O fluxograma quantitativo do processo foi elaborado a partir do dimensionamento do processo, de dados de rendimento e nos cálculos da demanda de água e vapor e geração de efluentes em cada etapa do processo, procedidos conforme descrito abaixo:

3.7.1.1. Dimensionamento do processo e rendimento das operações

O dimensionamento do processo para a elaboração da avaliação econômica foi procedido tomando-se por base a produção de um secador duplo de rolos de dimensões industriais, com rolos de tres metros de comprimento e um metro de diâmetro. A produção deste secador foi estimada diretamente com base nos dados de produtividade obtidos para uma condição selecionada para o secador de rolos piloto (velocidade de rotação de 3,0 rpm e pressão de vapor de 60 lbf/pol²) correspondente a 10,8 kg/hora de flocos, e considerando-se uma área útil de secagem de 75%.

Os dados de rendimento para cada uma das etapas do processo foram obtidos a partir da pesagem do material a montante e a jusante das operações na planta piloto partindo-se de 1 tonelada de espigas com palha como matéria-prima.

3.7.1.2. Demanda de água

A demanda de água total do processo corresponde a demanda de água para a etapa de branqueamento, a demanda de água para o resfriamento e a demanda de água para a produção de vapor.

A demanda de água para o branqueamento foi calculada considerando-se um sistema "in batch", suficientemente dimensionado para branquear uma quantidade de espigas em um tempo determinado de modo a permitir um fluxo equilibrado de material, e considerando-se um tempo de branqueamento das espigas de 5 minutos e um tempo total de operação de 5,5 minutos por batelada (incluindo carga e descarga). Considerou-se também o volume específico aparente das espigas igual a 0,48 kg/l e o volume específico real igual a 1 kg/l, sendo estes valores obtidos com base em determinações analíticas. Finalmente, foi considerado uma taxa de renovação de água de branqueamento de 30%.

A demanda de água de resfriamento foi calculada supondo-se um sistema análogo ao do branqueamento, com um tempo de resfriamento de 5 minutos e um tempo total de operação de 5,5 minutos.

A demanda de água para a produção de vapor foi considerada equivalente a demanda total de vapor, calculada conforme descrito a seguir.

3.7.1.3. Demanda de vapor

A demanda de vapor para o branqueamento foi calculada igualando-se as equações que regem o ganho de entalpia pelas espigas e pela água de branqueamento e a perda de entalpia pelo vapor. As temperaturas de entrada e saída das espigas foram consideradas como sendo, respectivamente, 20 e 100°C, que correspondem igualmente as temperaturas de entrada e saída da água de branqueamento, respectivamente. O calor específico da água e do milho foram ambos adotados como sendo iguais a 1 kcal/kg, e a pressão de vapor na entrada do sistema foi considerado igual a 60 lbf/pol².

A demanda de vapor para a secagem foi calculada considerando-se uma redução do teor de umidade de 67,0% até 5,0% devido a secagem. O requerimento específico de vapor pelo secador foi considerado como sendo de 1,5 kg de vapor/kg de água evaporada, correspondente ao valor médio em relação àquales propostos por ESCHER & NEUKOM (1971), de 1,2 à 1,3 kg de vapor/kg de água evaporada, e por NONHEBEL & MOSS (1971), de 1,8 kg de vapor/kg de água evaporada.

3.7.1.4. Geração de efluentes

A quantidade total de efluentes gerados foi calculada a partir da soma dos efluentes gerados para as operações de branqueamento e resfriamento, que equivalem numericamente a 30% da massa de água requerida para o branqueamento, acrescida da massa

total de água requerida para o resfriamento. O condensado proveniente do vapor fornecido para a operação de secagem é passível de retorno, não sendo, portanto, considerado como efluente do processo.

3.7.2. Valores de compra dos principais equipamentos

A definição das dimensões e quantidade dos principais equipamentos foi procedida com base no fluxograma quantitativo e com base na seleção dos principais equipamentos requeridos para o processo.

Os modelos de equipamentos (com exceção do secador) e os correspondentes valores de compra foram determinados a partir de cotações obtidas junto às várias empresas de bens de capital ao longo do ano de 1986, sendo os valores correspondentes convertidos de unidades monetárias em unidades de ORTN (denominadas posteriormente e expressas nesse estudo como OTN - Obrigações do Tesouro Nacional) com base na relação de equivalência vigente por ocasião das cotações.

O valor de compra do secador foi definido a partir de um valor médio estabelecido por NONHEBEL & MOSS (1971) correspondente a 1000 libras/m² de área de secagem, sendo a conversão de libra para OTN procedida com base na relação de equivalência estabelecida a partir das cotações (para a venda de libra e OTN fiscal) do Banco Central, referentes ao dia 06 de setembro de 1988.

3.7.3. Investimento total

O investimento total é o montante de recursos necessários para instalar uma planta, colocá-la em operação e depois mantê-la funcionando ou, em outras palavras, o investimento total equivale à somatória do investimento fixo e do capital de giro.

3.7.3.1. Investimento fixo

O investimento ou capital fixo representa, segundo HOLLANDA (1983) os recursos necessários para a instalação da unidade industrial e corresponde ao valor monetário do ativo ou patrimônio fixo, que compreende o conjunto de bens que não são motivos de transações correntes por parte da empresa e que são, em geral, adquiridos de uma só vez durante a etapa de instalação do projeto e utilizados normalmente ao longo de sua vida útil.

A natureza dos custos que compõem o investimento fixo varia consideravelmente com os diversos tipos de projetos, sendo de um modo geral correspondentes aos seguintes itens:

- pesquisa, experiências e estudos prévios;
- terreno para a instalação da unidade industrial;
- equipamentos;
- instalação dos equipamentos;

- edifícios industriais;
- organização da empresa;
- estudo do projeto final;
- engenharia e administração durante a fase de montagem e construção;
- móveis e instalação de escritório;
- veículos;
- instalação de redes externas - elétrica, água e esgo-

to

Existem vários métodos para se estimar ou calcular o investimento fixo, que variam segundo o nível de exatidão desejada. No presente caso por se tratar de um estudo preliminar, optou-se pelo método denominado "porcentagem sobre o valor de compra dos equipamentos" (PETERS & TIMMERHAUS, 1968), exigindo que se tenha o valor de compra dos principais equipamentos, sendo os demais itens do investimento estimados como porcentagens desses valores. Essas porcentagens são fixadas conforme o tipo de processo envolvido na unidade industrial

Na Tabela 9 são mostrados os itens de composição do investimento fixo segundo o modelo adotado, assim como as correspondentes porcentagens do valor de compra dos principais equipamentos utilizadas para a estimativa do investimento fixo:

TABELA 9. Porcentagens sobre o valor de compra dos principais equipamentos empregadas para a estimativa de cada item do investimento fixo.

Componente do Investimento Fixo	Estimativa
Instalação de equipamentos	30% do valor dos equipamentos*
Controle e instrumentação	13% do valor dos equipamentos**
Tubulações	35% do valor dos equipamentos***
Instalação elétrica	6% do valor dos equipamentos***
Prédios	29% do valor dos equipamentos**
Terrenos	5% do valor dos equipamentos**
Engenharia e supervisão	32% do valor dos equipamentos**
Despesas de construção	34% do valor dos equipamentos**
Serviços	50% do valor dos equipamentos***

* Experiência no Brasil segundo HUBINGER (1984)

** Segundo PETERS & TIMMERHAUS (1968)

*** Valores médios entre as porcentagens apresentadas por PETERS & TIMMERHAUS (1968) e as condições vigentes no interior do Estado de São Paulo, segundo HUBINGER (1984)

3.7.3.2. Capital de giro

O capital de giro ou de trabalho representa o patrimônio em conta corrente necessário às empresas para atender as ope-

rações da produção ou distribuição de bens, serviços, ou ambos, por determinado tempo. Assim sendo, o capital de giro está relacionado com os recursos necessários para manter uma provisão de matérias-primas, peças sobressalentes ou materiais diversos armazenados, bens em processo de elaboração, estoques de produtos terminados, bens em trânsito para a distribuição, para suprir o passivo referente a contas a cobrar e para pagamento de salários e encargos sociais (MELNICK, 1981).

Embora seja possível estimar o capital de giro com mais exatidão, optamos novamente pelo método da porcentagem, desta feita em relação ao investimento fixo. Assim, segundo PETERS & TIMMERHAUS (1968), o capital de giro seria equivalente a aproximadamente 15% do investimento fixo total sendo que, no entanto, HUBINGER (1984) sugeriu uma porcentagem de 40% (valor que resolvemos adotar) para indústrias de alimentos, particularmente as sazonais, as quais dispendem muito com matérias-primas, estoques, vapor, água e mão-de-obra.

3.7.4. Custos totais de produção

Os custos podem ser considerados como sendo os recursos (em termos monetários) que devem ser aplicados para a produção de determinada quantidade de bens ou serviços com a unidade produtiva já em funcionamento (portanto sem incluir os recursos referentes ao investimento fixo), quer estes recursos sejam ou não diretamente relacionados às operações de produção propriamente ditas.

Os custos podem ser classificados das mais diferentes maneiras, de acordo com os objetivos analíticos que se tem em vista. Em análise econômica, a distinção mais importante é entre custos fixos e variáveis, conforme estes sejam ou não independentes do volume de produção ou do grau de utilização da capacidade produtiva.

A somatória dos custos variáveis e dos custos fixos corresponde aos custos totais de produção da unidade industrial.

O modelo de composição de custos fixos e variáveis aqui adotado e descrito a seguir se baseia nas planilhas em uso pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Para a elaboração dos cálculos foi considerado a divisão em três turnos de trabalho diário, perfazendo um total de 21 horas, sendo as demais 3 horas diárias utilizadas para limpeza. Além disso, considerou-se um período de seis meses de operação ao longo do ano.

3.7.4.1. Custos fixos

Os itens adotados como sendo componentes dos custos fixos no presente estudo foram: salários relativos a mão-de-obra indireta e respectivos encargos sociais; depreciação de prédios e equipamentos; manutenção da planta; seguros sobre impostos de capitais; juros cobrados sobre empréstimos feitos. A forma de cálculo adotada para cada um desses itens é mostrada a seguir:

3.7.4.1.1. Salários e encargos relativos à mão-de-obra indireta.

A mão-de-obra indireta pode ser classificada em mão-de-obra indireta produtiva, abrangendo os operários cujo trabalho é essencial à realização do processo produtivo mas não se encontram vinculados a ele (como mecânicos, encanadores, eletricitas, encarregados, etc.), e pessoal administrativo.

O número total de operários por turno relativos à mão-de-obra indireta foi definido como sendo 8, sendo de 2 mínimos a média de salários recebidos de acordo com o apêndice C.

O número de componentes do pessoal administrativo foi definido como 14 de acordo com o apêndice C, sendo de 5 mínimos a média de salários recebidos. O pessoal administrativo trabalha apenas 1 turno por dia.

O valor do salário mínimo adotado para efeito de cálculo foi equivalente ao valor do piso nacional de salários de setembro de 1988 (mês de referência), sendo convertido em unidades de OTN de acordo com o valor da OTN vigente para aquele mês.

Os encargos sociais correspondem a aproximadamente 90% dos valor dos salários recebidos.

3.7.4.1.2. Depreciação de prédios e equipamentos

A depreciação corresponde a uma perda de valor de equipamentos, prédios e veículos em uso. Por outro lado, ao ser computado nos custos, representa uma recuperação do investimento.

Segundo a legislação vigente no país, os equipamentos depreciam-se em 10 anos e os prédios em 30 anos. Em ambos os casos, a depreciação é linear.

3.7.4.1.3. Manutenção

O valor de manutenção corresponde a uma porcentagem do investimento fixo, normalmente de 3% ao ano, segundo HUBINGER (1984) para indústrias de alimentos.

3.7.4.1.4. Seguros

Os custos relativos a seguros correspondem a cerca de 1% do investimento fixo total ao ano.

3.7.4.1.5. Impostos ao capital

Os impostos ao capital foram estimados com base em equivalência de 1,5% do investimento fixo total.

3.7.4.2. Custos variáveis

De acordo com o modelo de custos adotado fazem parte dos custos variáveis: salários relativos à mão-de-obra direta e respectivos encargos; matéria-prima; água; energia elétrica; embalagens. A estimativa desses itens foi efetuada conforme relatado abaixo:

3.7.4.2.1. Salários e encargos relativos à mão-de-obra direta

São considerados integrantes da mão-de-obra direta todos os operários diretamente envolvidos com o processo produtivo.

A necessidade de mão-de-obra direta foi determinada utilizando como base a experiência por nós obtida nos testes preliminares e nos modelos e dimensões dos equipamentos.

Definiu-se a necessidade de 28 operários por turno, recebendo em média 1,2 salários mínimos por mes, de acordo com o apêndice C.

Os encargos sociais novamente nesse caso foram considerados como equivalentes a 90% dos salários recebidos.

3.7.4.2.2. Água

O preço do metro cúbico de água industrial admitido para o cálculo foi de 0,10 OTN/m³.

3.7.4.2.3. Energia elétrica

O consumo de energia elétrica por hora correspondente a cada equipamento e necessário para a produção de vapor foi calculado com base nas especificações fornecidas pelas empresas fabricantes dos equipamentos e caldeira, de acordo com o apêndice D. O consumo com iluminação foi estabelecido com base em valores utilizados em projetos semelhantes.

O valor pago pela energia elétrica corresponde a potência total consumida acrescido do fator de demanda, que corresponde a um valor pago pela instalação da potência na indústria, independente de sua utilização. Assim, enquanto o preço da potência consumida corresponde a um custo variável, o preço do fator de demanda corresponde a um item do custo fixo.

O preço do fator de demanda é de cerca de 0,555 OTN/kw de potência instalada, enquanto que o valor unitário pago pela potência consumida, incluindo impostos, é de aproximadamente 0,0022 OTN/kwh.

3.7.4.2.4. Matéria-prima

O custo unitário de cultivo e colheita da matéria-prima é de 41 OTN/ha incluindo o preço das sementes, preço este definido a partir de consultas procedidas junto ao Departamento de Genética Vegetal do Instituto de Biologia da UNICAMP.

3.7.5. Custo total unitário

O custo total unitário foi obtido dividindo-se os custos totais de produção pela capacidade produtiva da unidade industrial.

3.7.6. Preço de venda do produto

Foi considerado para o cálculo do preço de venda do produto uma margem de lucro de 20% sobre o custo total unitário.

3.7.7. Estimativa da receita total e lucro bruto

A estimativa da receita total é procedida a partir da multiplicação da quantidade de bens produzidos pelo preço de venda do produto.

O lucro bruto resulta do confronto dos custos totais de produção industrial com as receitas auferidas pelas vendas. Portanto subtraindo-se da receita total os custos totais obteve-se o lucro bruto.

3.7.8. Ponto de equilíbrio da unidade industrial

O ponto de equilíbrio ou de nivelção ("break-even point") identifica, segundo HOLANDA (1983), o volume de produção ou o nível de utilização da capacidade instalada em que as receitas são iguais aos custos.

Portanto, para uma produção abaixo desse ponto, a empresa terá prejuízos e, acima, terá lucros. O ponto de nivelção foi obtido a partir da seguinte relação (HOLANDA,1983):

$$P \cdot x = \frac{Cf}{1 - \frac{V}{P}}$$

sendo:

P = preço de venda

x = quantidades físicas produzidas

Cf = custo fixo total

V = custo variável médio ou unitário

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA BÁSICA E COMPOSIÇÃO EM AMINOÁCIDOS DA MATÉRIA-PRIMA

A composição básica do híbrido L90xL60 derivado do Nutrimaiz e utilizado como matéria-prima no presente estudo aos 25 dias após a polinização (25 DAF) é mostado na Tabela 10.

TABELA 10. Composição básica da matéria-prima utilizada nos estudos

Componente	Porcentagem
Água	67,0
Proteína bruta (%Nx6,25)	12,2*
NNP** (%Nx6,25)	0,5*
Cinza	2,1*
Lipídios totais	6,0*
Açúcares totais	8,7*
Açúcares redutores	2,3*
Fibra	6,8*
Polissacarídeos (por diferença)	64,2*

* Base seca

** Nitrogênio não protéico

A composição do híbrido L90xL60 conforme mostra a Tabela 10 está bem próxima daquela obtida para o Nutrimaiz por SGARBIERI *et alii* (1977, 1982) e SCHONHAUS & SGARBIERI (1983) e, portanto, o híbrido utilizado além de possuir características físicas favoráveis à industrialização, conforme relatado no item 3.1, possui um elevado teor de proteína e de açúcares totais em relação ao milho normal.

A composição em aminoácidos da matéria-prima, assim como a composição em aminoácidos essenciais do padrão elaborado pela Academia Norte Americana de Ciências (NRC, 1980) e o Escore Químico obtido pela relação entre os níveis de aminoácidos essenciais da matéria-prima e do padrão é mostrado na Tabela 11.

A composição em aminoácidos obtida para a proteína da matéria-prima conforme mostrada na Tabela 11 foi igualmente próxima àquela obtida para o Nutrimaiz (SGARBIERI *et alii*, 1977 e 1982; SCHONHAUS & SGARBIERI, 1983). Já a composição em aminoácidos essenciais foi similar a do padrão proposto pela Academia Norteamericana de Ciências, provendo em mais de 80% os níveis recomendados de todos os aminoácidos.

Os aminoácidos essenciais que resultaram em níveis inferiores ao padrão foram lisina, isoleucina, tirosina e triptofano, sendo que o Escore Químico global da proteína determinado pela participação do aminoácido limitante em relação ao padrão (no caso a isoleucina) resultou em 83,3%.

TABELA 11. Composição em aminoácidos essenciais e "Escore Químico" da fração protéica da matéria-prima em relação a uma proteína padrão

Aminoácido	Participação Ponderal (g/16gN)		Escore Químico (X)
	Matéria-Prima	Padrão*	
Lisina	4,4	5,1	86,3
Histidina	3,3	1,7	194,1
Arginina	6,2	-	-
Ácido aspártico	10,9	-	-
Treonina	3,5	3,5	100,0
Serina	5,5	-	-
Acido glutâmico	21,7	-	-
Prolina	8,2	-	-
Glicina	4,2	-	-
Alanina	10,2	-	-
Metionina + Cistina	3,1	2,6	119,2
Valina	4,9	4,8	102,0
Isoleucina	3,5	4,2	83,3
Leucina	8,7	7,0	124,0
Tirosina + Fenilalanina	6,7	7,3	91,8
Triptofano	1,0	1,1	90,9

* NCR, 1980

4.2. ESTUDO DO EFEITO DA PRESSÃO DE VAPOR E VELOCIDADE DE ROTAÇÃO NO RENDIMENTO DO PROCESSO E QUALIDADE DO PRODUTO

4.2.1. Rendimento do processo e umidade do produto

Os valores de rendimento da secagem e umidade final dos flocos resultantes das diferentes combinações de velocidade de rotação e pressão de vapor são mostradas na Tabela 12.

TABELA 12. Rendimento de secagem e umidade dos flocos resultantes de diferentes combinações de velocidade de rotação e pressão de vapor empregadas no secador de rolos

Pressão de Vapor (lbf/pol ²)	Velocidade de Rotação (rpm)	Rendimento (kg*/h/m ²)	Umidade (g/100g**)
50	1,5	6,9	4,5
50	2,0	9,6	5,1
50	3,0	11,2	5,7
60	1,5	6,3	3,3
60	2,0	9,4	4,3
60	3,0	10,8	4,8
70	1,5	8,1	3,5
70	2,0	10,2	3,3
70	3,0	11,2	4,1

* base úmida

** base seca

Os desenhos das superfícies de resposta obtidas para as variáveis rendimento e umidade, gerados a partir dos modelos propostos no Apêndice A e que apresentaram níveis de significância (teste F) de 0,23% e 4,98% (conforme as análises de variância apresentadas no Apêndice E), são mostrados nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

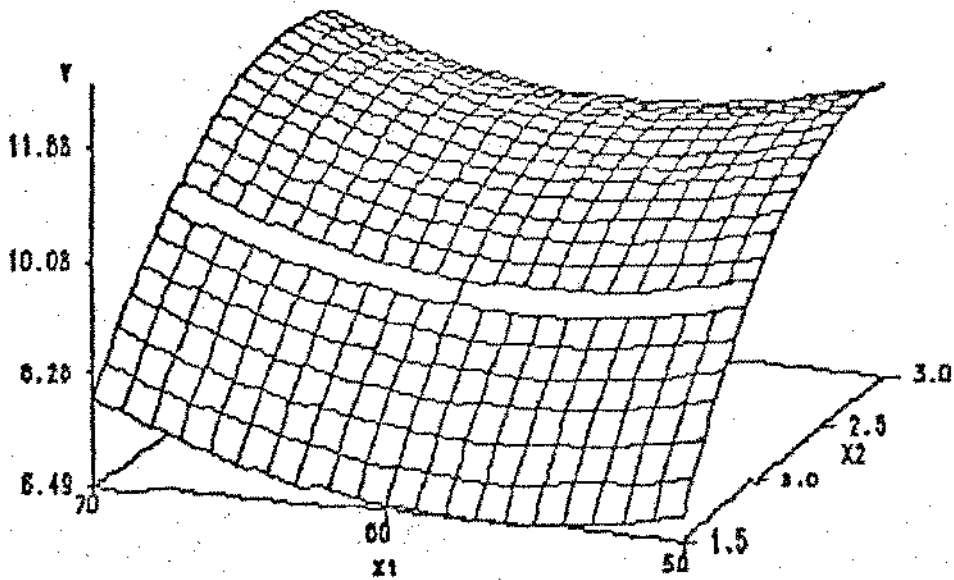
De acordo com a Tabela 12 e a partir da Figura 3 é possível observar um maior efeito da velocidade de rotação em relação à pressão de vapor no rendimento do processo. Assim, o aumento da velocidade de rotação acarretou o aumento no rendimento do processo sendo que, no entanto, à medida que se procedeu a elevação na velocidade de rotação foi cada vez menor a elevação correspondente nos níveis de rendimento do processo, em termos proporcionais.

Essas observações coincidem com aquelas procedidas por SPADARO *et alii* (1966) de que o aumento da velocidade tangencial dos rolos, embora promova um aumento no rendimento do processo, provoca uma diminuição na espessura do filme do material sobre o secador acarretando um certo efeito contrário ao aumento de rendimento.

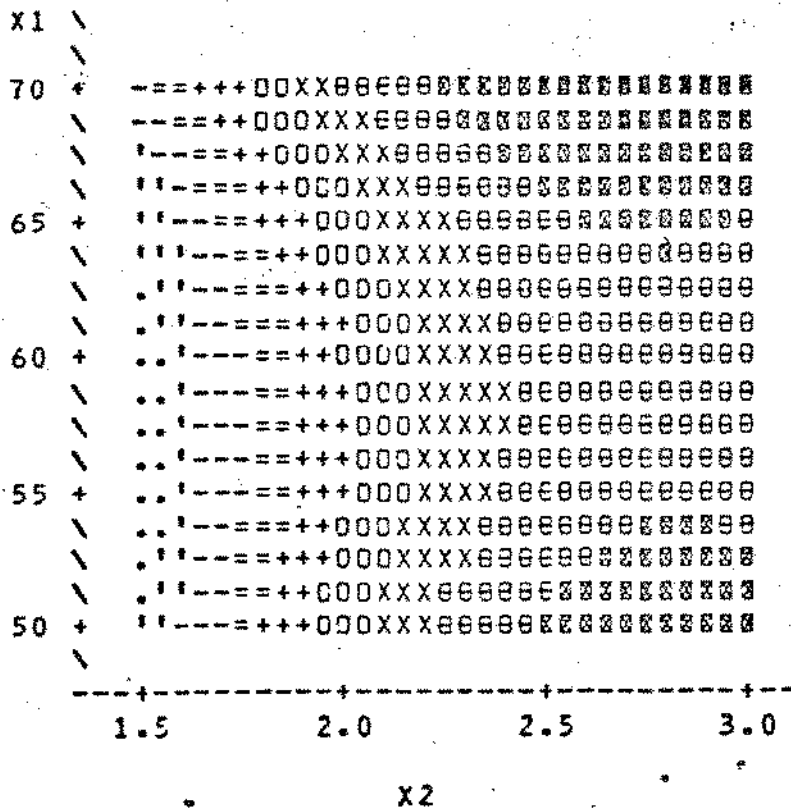
Outra observação relevante em relação à variável rendimento é que, a cada elevação nos níveis de pressão, correspondeu, em geral, uma pequena elevação nos valores de rendimento, para todos os níveis de velocidade, o que igualmente concorda com os resultados de SPADARO *et alii* (1966) e WADSWORTH *et alii* (1966).

O efeito da pressão de vapor no rendimento do processo pode estar relacionado com os mecanismos de formação do filme de

Superfície de Resposta para RENDIMENTO



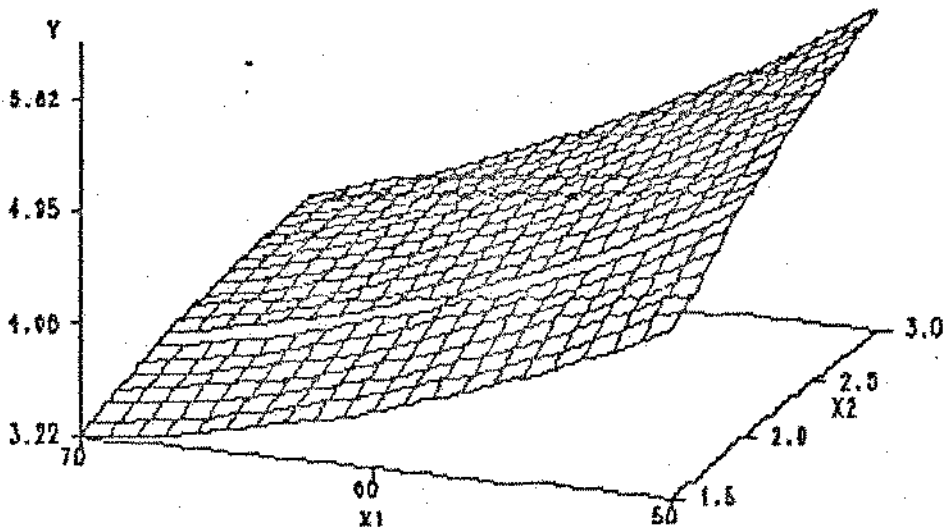
Y=RENDIMENTO
X1=PRESSÃO X2=VELOCIDADE DE ROTACÃO



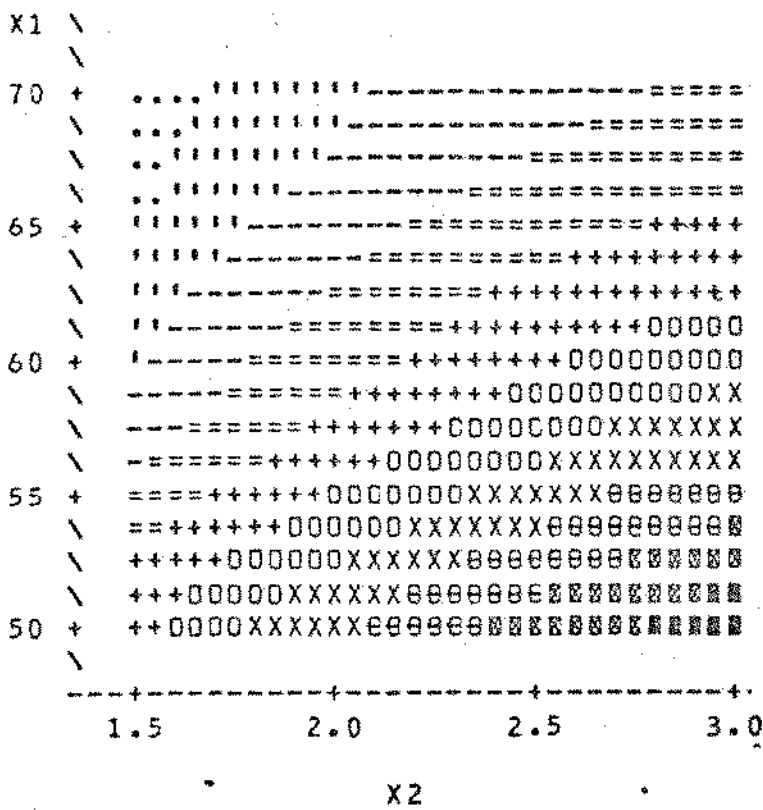
SÍMBOLO	RENDIMENTO	SÍMBOLO	RENDIMENTO
.....	6.488633 - 6.787910	O O O O	9.182131 - 9.780686
	6.787910 - 7.386466	XXXXXXX	9.780686 - 10.379242
-----	7.386466 - 7.985021	θ θ θ θ	10.379242 - 10.977797
=====	7.985021 - 8.583576	⊠ ⊠ ⊠ ⊠	10.977797 - 11.576352
+++++++	8.583576 - 9.182131	⊡ ⊡ ⊡ ⊡	11.576352 - 11.875630

FIGURA 3. Superfície de resposta em duas perspectivas para "rendimento" em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

Superfície de Resposta para UMIDADE



Y=UMIDADE
X1=PRESSÃO X2=VELOCIDADE DE ROTAÇÃO



SÍMBOLO	UMIDADE	SÍMBOLO	UMIDADE
.....	3.218018 - 3.362513	0000000	4.518468 - 4.807457
	3.362513 - 3.651502	XXXXXXXX	4.807457 - 5.096446
-----	3.651502 - 3.940490	00000000	5.096446 - 5.385435
=====	3.940490 - 4.229479	00000000	5.385435 - 5.674424
+++++++	4.229479 - 4.518468	00000000	5.674424 - 5.818919

FIGURA 4. Superfície de resposta em duas perspectivas para umidade em função da pressão de vapor e velocidade de rotação.

purê de milho verde aderido à superfície do secador. Assim sendo, de acordo com WADSWORTH *et alii* (1967), o filme que adere nas superfícies dos rolos pode ser explicado a partir de dois mecanismos e é formado por duas camadas. A primeira camada, apresentando pequena espessura, adere nas superfícies dos rolos por um efeito de "queima", que ocorre quando as superfícies quentes dos cilindros entram em contato com o purê. A segunda camada, de espessura maior que a primeira, é formada pelo purê que flui através da abertura entre os rolos e adere na superfície por tensão superficial. A elevação da pressão e, portanto, da temperatura superficial dos rolos, faz com que diminua a uniformidade da primeira camada provocando uma maior rugosidade, que promove uma maior força de fricção, capaz de aumentar o fluxo de produto para formação da segunda camada.

Além da força de fricção que se soma à força de cisalhamento dos rolos, a outra força atuante é a pressão hidrostática, que aumenta em termos relativos, segundo WADSWORTH *et alii* (1967), com a pressão de vapor, na medida que valores de pressão elevados promovem uma maior taxa de de desprendimento de vapor do produto, o que acarreta a formação de "bolsões" ou lacunas de ar que promovem uma maior fluidez do purê, dependendo da viscosidade do produto.

Com relação à variável umidade, pode-se observar pela Tabela 12 e também pela Figura 4 que o efeito combinado da diminuição da velocidade de rotação e da elevação da pressão de vapor acarretou uma diminuição no teor de umidade dos flocos.

No entanto, pelo desenho da superfície de resposta, pode-se verificar que, à medida que se procede o aumento da pressão e concomitantemente a diminuição da velocidade de rotação, é cada vez menor, em termos proporcionais, a correspondente diminuição no teor de umidade dos flocos. De acordo com WADSWORTH *et alii* (1966) ao se proceder a desidratação de alimentos em rolos secadores deve-se, portanto, levar em consideração que, embora o teor de umidade final do produto diminua progressivamente com a elevação da pressão e diminuição da velocidade de rotação, a diminuição da umidade acarreta gradualmente um aumento da resistência à transferência de calor e massa devido à diminuição da atividade de água. Desse modo, passa a ser cada vez maior a quantidade de energia necessária para remover uma determinada quantidade de água a teores de umidade reduzidos.

Assim sendo, similarmente às curvas de secagem de materiais com conteúdo elevado de umidade, no caso da desidratação da polpa ou purê de milho verde ocorre inicialmente uma taxa elevada de evaporação de água seguida de uma queda na taxa de secagem, que decresce acentuadamente durante o estágio final da secagem. Nesse sentido, WADSWORTH *et alii* (1966) registraram analogamente que, enquanto o tempo requerido para reduzir a umidade do purê de batata doce em rolos secadores de 73,5% a 4,1% foi de 3,6 segundos, foram necessários 3,3 segundos adicionais para reduzir a umidade de 4,1 a 2,0%, acarretando uma diminuição substancial no rendimento do processo.

Portanto, deve-se proceder uma secagem até níveis de umidade correspondentes a um produto com boa qualidade final e

estabilidade durante o armazenamento, aliado ao melhor rendimento possível do processo. De acordo com SPADARO *et alii* (1966), por exemplo, no caso de flocos de batata doce o teor de umidade deveria ficar entre 3 a 5%, já que teores inferiores a 2% correspondem a flocos com sabor "queimado" e baixa estabilidade, acarretando da mesma forma que em produtos com umidade acima de 5% uma vida-de-prateleira reduzida. Já ESHER & NEUKON (1971) definiram como 2% o teor de umidade máximo para flocos de maçã obtidos por desidratação em secador de rolos, de modo a evitar o escurecimento não-enzimático do produto e propiciar uma vida-de-prateleira prolongada (um ano sob temperatura de 20°C e sob umidade relativa ambiente média considerada normal para a Suíça).

Embora a combinação de valores de pressão de vapor e velocidade de rotação em níveis elevados parece ser a ideal para a obtenção de maiores rendimentos para um nível de umidade específico, ESHER & NEUKON (1971) e WADWORTH *et alii* (1966) salientaram que a elevação da pressão de vapor não deve ser indiscriminada, para evitar a ocorrência de escurecimento não-enzimático e aparecimento de sabor "queimado".

Finalmente, um aspecto fundamental a ser lembrado com relação às possíveis comparações entre os diferentes trabalhos divulgados sobre desidratação de alimentos em secadores de rolos é que os valores de rendimento de processo variam consideravelmente de produto para produto, além de variarem conforme os secadores utilizados nos estudos. Nesse sentido, enquanto no presente estudo a faixa de rendimento oscilou entre 6,9 e 11,9 kg/h.m², SPADARO *et alii* (1966) obtiveram valores de rendimento variando

de 6,9 a 13,2 kg/h.m² para flocos de batata doce e mencionaram rendimento médio de 4,9kg/h.m² na desidratação de polpa de pêsserço no mesmo secador. Já ESHER & NEUKON (1971) obtiveram rendimento de 7,2 kg/h.m² no processamento de flocos de maçã.

4.2.2. Qualidade nutricional da proteína e disponibilidade de lisina

A alteração da qualidade nutricional da proteína dos flocos de milho verde resultante do processamento e avaliada pelos valores de Quociente de Eficiência Protéica (P.E.R) e pela digestibilidade aparente, bem como pelos níveis de lisina disponível dos flocos de milho verde em comparação com a matéria-prima, antes e após o branqueamento, e também com a caseína, no caso das duas primeiras variáveis, é mostrado na Tabela 13.

Pode-se observar pelos resultados apresentados que houve uma pequena redução nos valores de P.E.R e lisina disponível e uma pequena elevação na digestibilidade aparente da proteína devido ao branqueamento. Já a operação de secagem provocou reduções nos dois parâmetros característicos da qualidade nutricional da proteína bem como nos níveis de disponibilidade de lisina.

De qualquer forma, os valores médios resultantes de P.E.R e digestibilidade aparente para a proteína dos flocos foram 2,2 e 75,7%, característicos de uma proteína de bom valor nutricional e os níveis médios de redução desses parâmetros decorrentes do processo foram de apenas 15,4% e 7,7%, em relação a maté-

TABELA 13. P.E.R, digestibilidade aparente (DA) da proteína e teor de lisina disponível (LD) para os flocos processados sob diferentes combinações de velocidade de rotação e pressão de vapor no secador, para a matéria-prima (grãos) "in natura" e branqueada e para a caseína.

Pressão Vapor (lbf/pol ²)	Veloc.Rotação (rpm)	P.E.R.	D.A. (%)	L.D. (%)
50	1,5	2,2	72,7	74,07
50	2,0	2,3	78,2	92,24
50	3,0	2,4	76,7	92,52
60	1,5	1,9	74,1	74,13
60	2,0	2,4	74,8	77,02
60	3,0	2,3	76,5	82,33
70	1,5	2,0	71,3	73,48
70	2,0	2,2	74,8	75,52
70	3,0	2,4	77,6	79,79
Grãos "in natura"		2,6	80,4	100,0
Grãos branqueados		2,5	81,5	96,92
Caseína		2,8	87,7	-

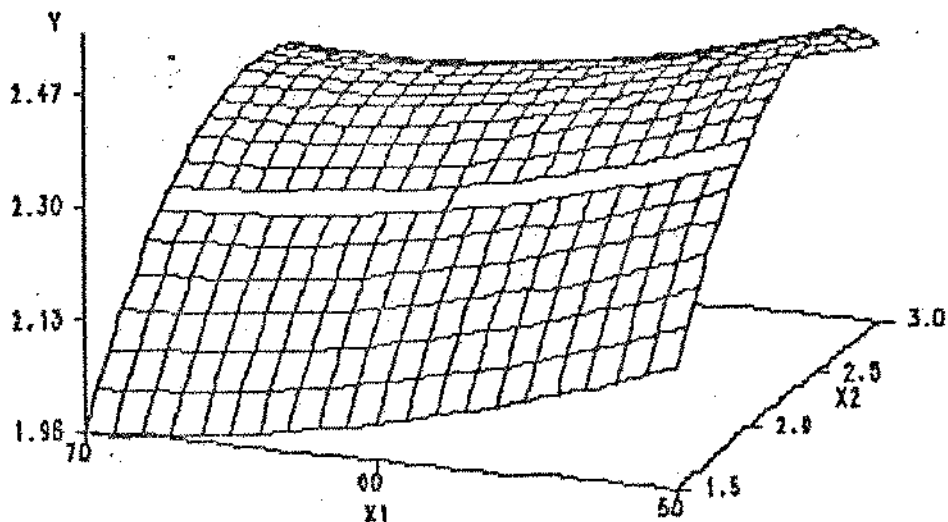
ria-prima. Assim sendo, a diminuição do valor nutricional da proteína encontrada no presente estudo foi bem inferior àquela verificada por WALTER *et alii* (1983) decorrente da desidratação de purê de batata doce em secadores de rolos, cujo P.E.R do produto

final resultou em 1,27 em comparação com 2,22 decorrente da desidratação com ar forçado (corrigidos para caseína 2,50). Da mesma forma, KHAN & EGGUM (1979) encontraram níveis de redução mais acentuados, de 11%, nos valores de digestibilidade verdadeira decorrentes da produção de flocos de milho destinados à alimentação matinal ("corn flakes") e, de 13%, na produção de "snacks" de milho ("puffed corn").

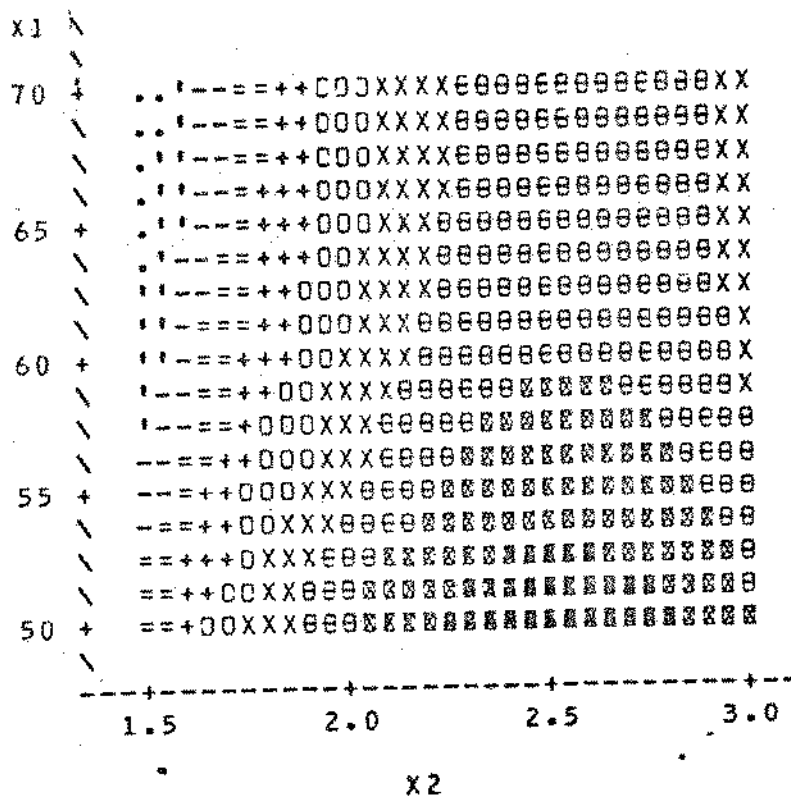
O nível médio de redução no teor de lisina disponível em relação à matéria-prima de 19,9% foi igualmente inferior àquele relatado por MAURON *et alii* (1955) na produção de leite em pó através de rolos secadores, correspondente a 33% (incluindo lisina destruída e inativada, como no presente caso), e igualmente inferior àqueles registrados por KHAN & EGGUM (1979), correspondentes a 76% e 56% na produção de "corn flakes" e "puffed corn", respectivamente (correspondentes somente à destruição, sem incluir a inativação ou perda de disponibilidade).

O efeito da pressão de vapor e velocidade de rotação sobre o P.E.R, digestibilidade aparente e lisina disponível é elucidado pela metodologia da superfície de resposta de acordo com as Figuras 5, 6 e 7, respectivamente. Os modelos das superfícies de resposta utilizados para a geração destas Figuras são apresentadas no Apêndice A, e corresponderam aos níveis de significância (teste F) de 19,96%, 22,22% e 15,94% para as variáveis P.E.R., digestibilidade aparente e lisina disponível, respectivamente, conforme análises de variância mostradas no Apêndice E. Embora os modelos estimados tenham-se revelados pouco significa-

Superfície de Resposta para P.E.R



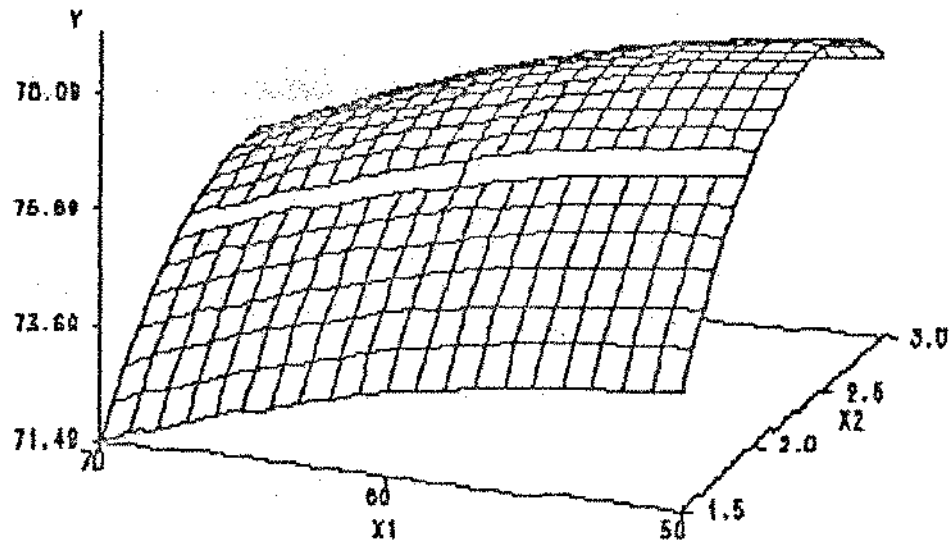
Y=P.E.R
X1=PRESSÃO X2=VELOCIDADE DE ROTAÇÃO



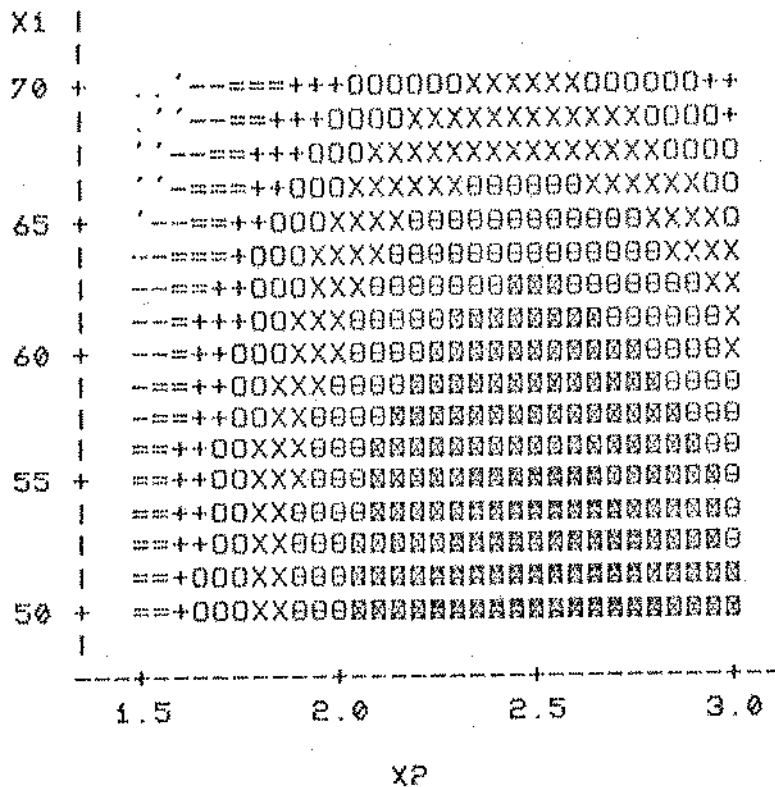
SÍMBOLO	P.E.R	SÍMBOLO	P.E.R
.....	1.958559 - 1.986801	000000	2.212742 - 2.269227
iiiiiii	1.986801 - 2.043286	XXXXXXX	2.269227 - 2.325712
-----	2.043286 - 2.099771	0000000	2.325712 - 2.382197
=====	2.099771 - 2.156256	00000000	2.382197 - 2.438682
+++++++	2.156256 - 2.212742	000000000	2.438682 - 2.466925

FIGURA 5. Superfície de resposta em duas perspectivas para "P.E.R." em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

Superfície de Resposta para DIGESTIBILIDADE APARENTE



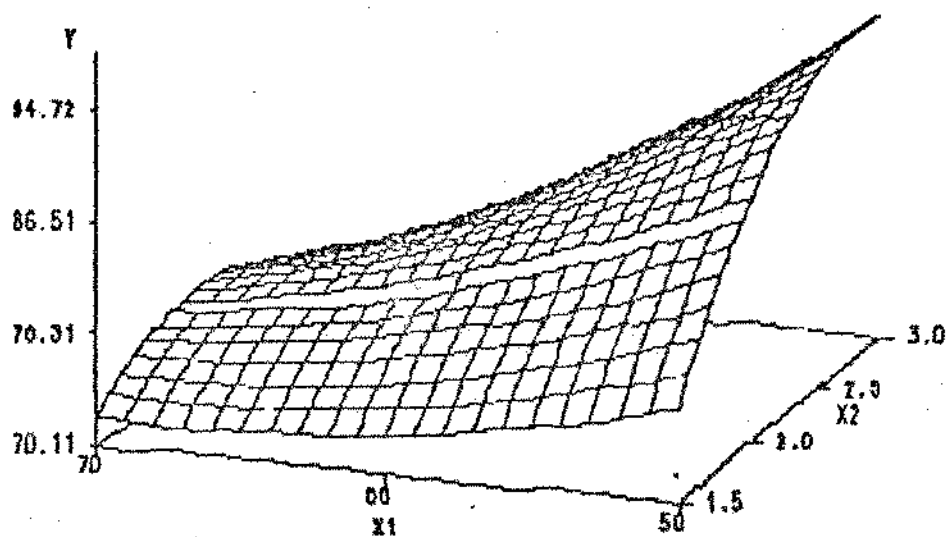
Y=DIGESTIBILIDADE APARENTE
X1=PRESSÃO X2=VELOCIDADE DE ROTAÇÃO



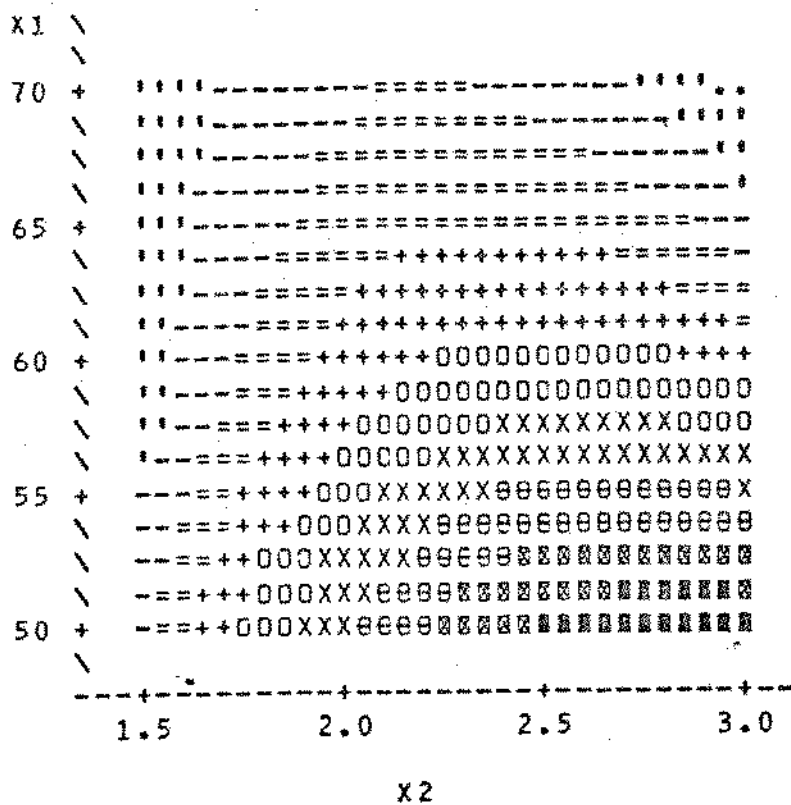
SÍMBOLO	DIGEST: APAR.	SÍMBOLO	DIGEST: APAR.
.....	71.48739 - 71.85447	0000000	74.32279 - 75.52527
	71.85447 - 72.58863	XXXXXXXX	74.52527 - 76.25943
-----	72.58863 - 73.32279	θθθθθθθ	76.25943 - 76.99359
#####	73.32279 - 74.05695	XXXXXXXXX	76.99359 - 77.72775
+++++++	74.05695 - 74.79111	XXXXXXXXX	77.72775 - 78.09483

FIGURA 6. Superfície de resposta em duas perspectivas para "digestibilidade aparente da proteína" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

Superfície de Resposta para LYS DISPONÍVEL



Y=LYS DISPONÍVEL
X1=PRESSÃO X2=VELOCIDADE DE ROTAÇÃO



SÍMBOLO	LYS DISPONÍVEL	SÍMBOLO	LYS DISPONÍVEL
.....	70.10595 - 71.47345	0000000	82.41348 - 85.14849
	71.47345 - 74.20846	XXXXXXXX	85.14849 - 87.88349
-----	74.20846 - 76.94346	0000000	87.88349 - 90.61850
=====	76.94346 - 79.67847	0000000	90.61850 - 93.35351
+++++++	79.67847 - 82.41348	0000000	93.35351 - 94.72101

FIGURA 7. Superfície de resposta em duas perspectivas para "porcentagem de lisina disponível dos flocos" em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

tivos, as superfícies de resposta podem auxiliar na visualização dos efeitos das variáveis independentes sobre as variáveis características da qualidade nutricional da proteína.

Assim sendo, pode-se verificar pelas Figuras 5 , 6 e 7 que os efeitos das variáveis independentes sobre o P.E.R, digestibilidade aparente e lisina disponível foram, em geral, análogos para as três variáveis de resposta, ou seja, o efeito da velocidade de rotação foi mais acentuado do que da pressão de vapor, sendo que para maiores valores de velocidade corresponderam maiores valores de P.E.R, digestibilidade aparente e lisina disponível. O aumento da pressão de vapor, embora tenha ocasionado uma diminuição nos valores das três variáveis para quase todos os níveis de velocidade, provocou reduções mais acentuadas nos níveis de lisina disponível, particularmente nos valores elevados de velocidade de rotação.

Deve-se salientar que embora a diminuição da qualidade nutricional da proteína e o escurecimento não-enzimático estejam ambos relacionados à reação de Maillard, ESHER & NEUKOM (1971) constataram que na produção de flocos de maçã o escurecimento não-enzimático foi mais condicionado pela pressão de vapor do que pela velocidade de rotação dos rolos, enquanto que, pelo presente estudo, a queda da qualidade nutricional da proteína dos flocos de milho verde está mais relacionada com a diminuição da velocidade de rotação. No entanto, CARPENTER (1962) *apud* BENDER (1972) demonstrou que não há uma relação constante entre o aparecimento da cor marrom e a perda de valor nutritivo devido à reação de Maillard.

4.2.3. Tiamina, carotenóides totais e tocoferóis totais

Os teores de tiamina, carotenóides totais e tocoferóis totais presentes nos flocos de milho verde decorrentes das diversas combinações de pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos, assim como nos grãos utilizados como matéria-prima, antes e após o branqueamento, são mostrados na Tabela 14.

A partir dos dados apresentados na Tabela 14, pode-se calcular, para fins comparativos, as perdas percentuais de tiamina, carotenóides e tocoferóis devido ao branqueamento, que resultaram em 11,2%; 8,3% e 8,0%, respectivamente.

As perdas de tiamina devido ao branqueamento foram maiores do que aquelas usualmente verificadas no processamento de vegetais desidratados, segundo BLUESTEIN & LABUZA (1975), que atingem cerca de 5% no caso do milho. As perdas de tiamina e de outras vitaminas hidrossolúveis, com exceção da vitamina C, são normalmente mais associadas ao efeito da lixiviação, que ocorre no branqueamento com água (POULSEN, 1986), do que relacionadas com outros mecanismos deteriorativos.

Já as perdas de carotenóides devido ao branqueamento foram inferiores àquelas verificadas por AKPAPUNAM (1984), que oscilaram de 29,5 a 34,9% no processamento de diferentes vegetais, porém superiores àquelas relatadas por PARK (1987), que observou que o cozimento praticamente não afetou os carotenóides no caso de cenoura, brócoli e espinafre.

TABELA 14. Teores de tiamina, carotenóides totais e tocoferóis totais, nos flocos processados sob diferentes combinações de velocidade de rotação e pressão de vapor no secador, e na matéria-prima (grãos) "in natura" e branqueada.

Pressão Vapor (lbf/pol ²)	Veloc.Rotação (rpm)	Tiamina (ppm)	Carotenóides (ppm)	Tocoferóis (ppm)
50	1,5	1,83	8,32	45,2
50	2,0	1,85	8,26	43,8
50	3,0	1,79	8,02	42,2
60	1,5	1,93	9,02	47,3
60	2,0	1,86	8,33	44,2
60	3,0	1,84	8,42	43,8
70	1,5	1,97	9,47	49,2
70	2,0	1,96	9,12	48,2
70	3,0	1,93	9,63	46,2
Grãos "in natura"		2,76	13,42	56,3
Grãos branqueados		2,45	12,31	51,8

Finalmente, as perdas de tocoferóis devido ao branqueamento no presente caso podem ser consideradas elevadas, tendo em

vista a grande estabilidade destas substâncias, de acordo com BLUESTEIN & LABUZA (1975).

Com relação à secagem, as perdas de tiamina, carotenóides e tocoferóis situaram-se em média em 12,5%, 24,1% e 12,0%, respectivamente, tomando-se por base a matéria-prima branqueada.

Deve-se salientar que por tratar-se de um processo que envolve temperaturas elevadas (próximas à faixa de 148°C à 158°C, correspondentes às pressões de vapor no interior dos cilindros de 50 à 70 lbf/pol²) e períodos curtos de residência do produto no secador (de 15 à 30 segundos para as velocidades de rotação na faixa de 3,0 à 1,5 rpm, respectivamente), as perdas verificadas pode ser consideradas elevadas, havendo possivelmente algum efeito danoso para as vitaminas relacionado com o contato direto do produto com a superfície aquecida do secador.

Embora as perdas de tiamina possam ser consideradas elevadas, estas resultaram próximas àquelas detectadas por MILLER *et alii* (1973) no caso da produção de feijão em pó através de rolos secadores (cerca de 20%), quando considerado o processamento global.

As perdas de carotenóides devido à desidratação, por outro lado, foram inferiores àquelas verificadas em outros estudos, como naquele procedido por PARK (1987) que verificou níveis médios de redução de 47,25 e 53,0% devido à desidratação de vegetais sob vácuo e através de micro-ondas, respectivamente. As perdas de tocoferóis, também no caso da desidratação podem ser consideradas elevadas, embora uma possível associação com as perdas de carotenóides devido à oxidação possa ser estabelecida.

A elucidação do efeito das variáveis de processo nas perdas dessas substâncias pode ser procedida através da interpretação das superfícies de resposta, mostradas nas Figuras 8, 9 e 10, para as variáveis tiamina, carotenóides totais e tocoferóis totais, respectivamente, e geradas a partir dos modelos apresentados no apêndice A que apresentaram níveis de significância de 5,62%, 5,30% e 1,82% (conforme o Apêndice E).

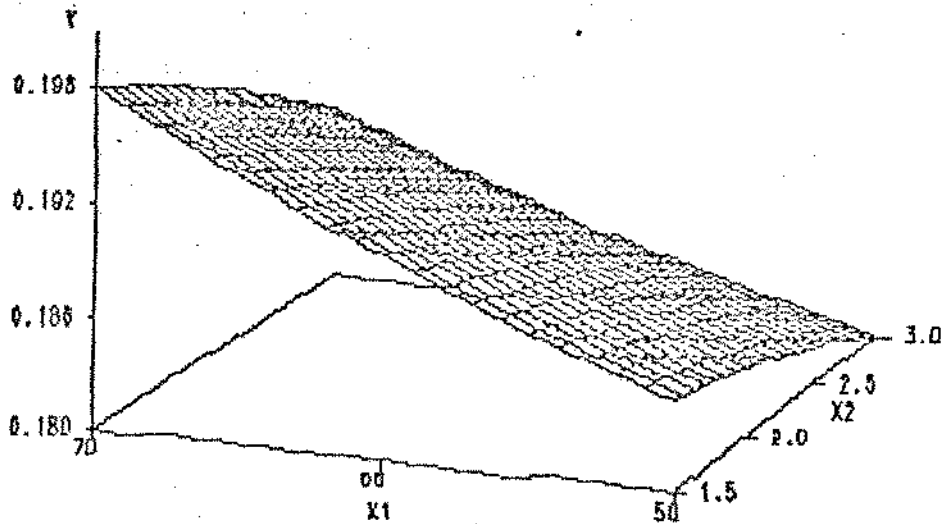
Nota-se pelas figuras 8, 9 e 10 que foram bastante similares as superfícies geradas para o teor de carotenóides, tocoferóis totais e tiamina. Assim, pode-se observar que a elevação de pressão provocou uma menor destruição dessas substâncias para todos os níveis de velocidade, sendo os maiores teores de tocoferóis e carotenóides detectados com maiores níveis de pressão associados com menores níveis de velocidade.

A elevação da velocidade, por outro lado, provocou para níveis intermediários e elevados de pressão inicialmente uma redução e posteriormente uma elevação dos níveis de carotenóides, sendo que, para níveis inferiores de pressão, o aumento de velocidade provocou sempre uma diminuição gradual no teor de carotenóides.

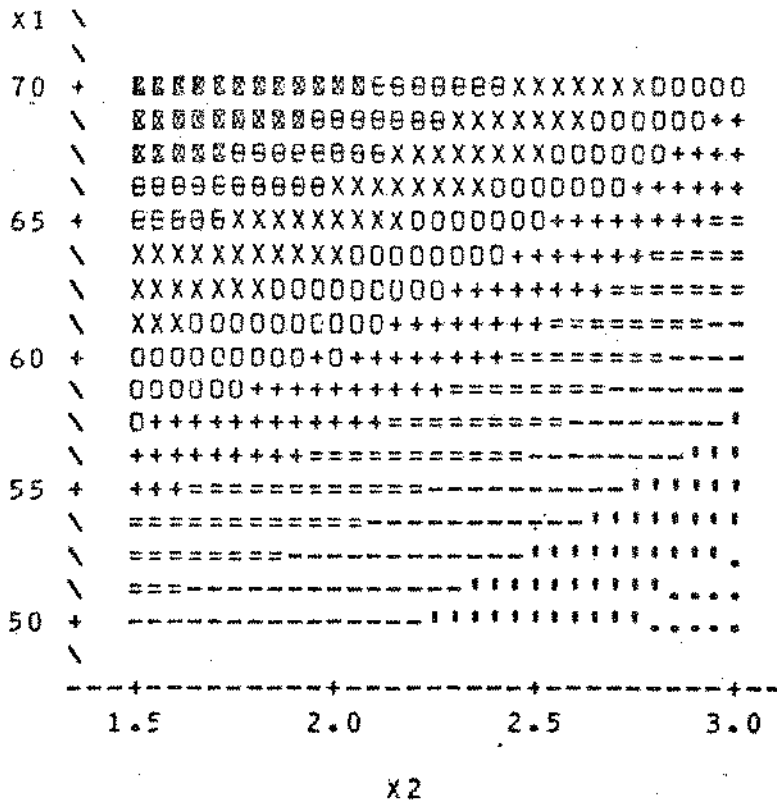
A superfície de resposta para tocoferóis indica, em geral, uma tendência análoga a dos carotenóides, confirmando a princípio, a suposição de que os mecanismos de destruição de tocoferóis e carotenóides estejam interrelacionados.

As superfícies apresentadas para carotenóides e tocoferóis são igualmente similares àquelas apresentadas por RUIZ (1984) relativas à variação dos níveis de carotenóides e vitamina

Superfície de Resposta para TIAMINA



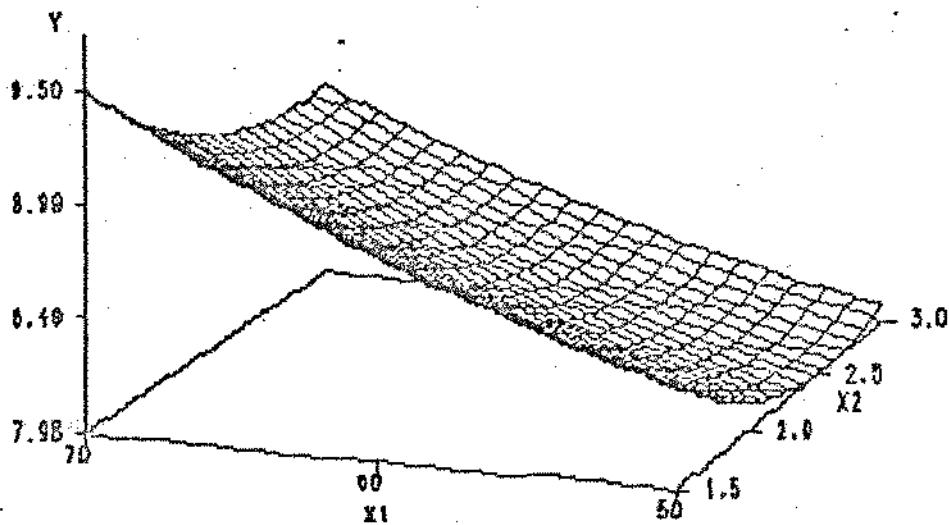
Y=TIAMINA
X1=PRESSAO X2=VELOCIDADE DE ROTAÇÃO



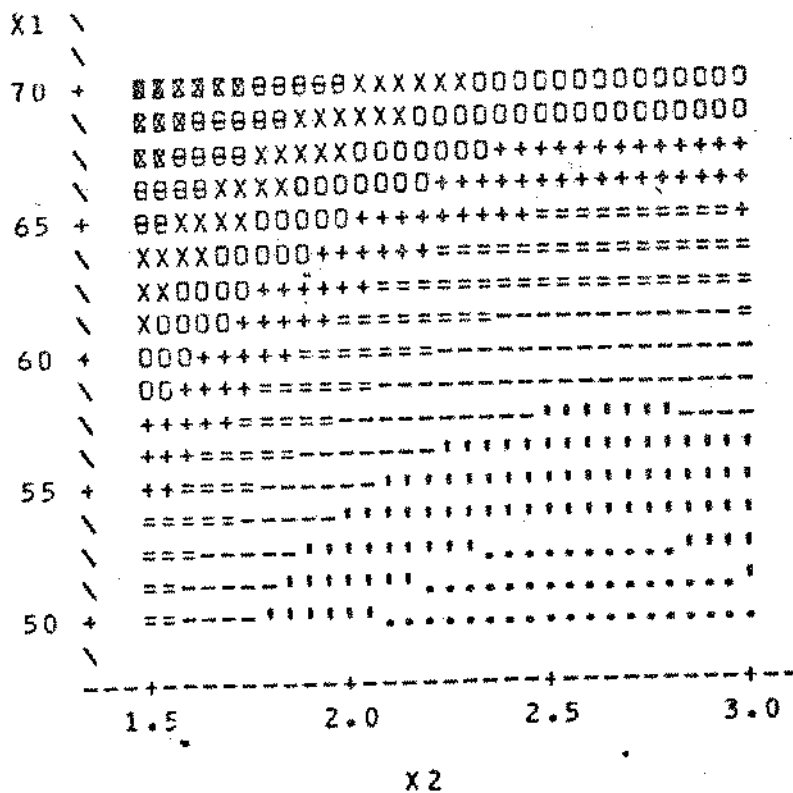
SÍMBOLO	TIAMINA	SÍMBOLO	TIAMINA
.....	0.1796459 - 0.1806731	0000000	0.1888901 - 0.1909443
	0.1806731 - 0.1827273	XXXXXXX	0.1909443 - 0.1929986
-----	0.1827273 - 0.1847816	0000000	0.1929986 - 0.1950529
=====	0.1847816 - 0.1868358	0000000	0.1950529 - 0.1971071
+++++++	0.1868358 - 0.1888901	0000000	0.1971071 - 0.1981342

FIGURA 8. Superfície de resposta em duas perspectivas para "teor de tiamina" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

Superfície de Resposta para CAROTENÓIDES



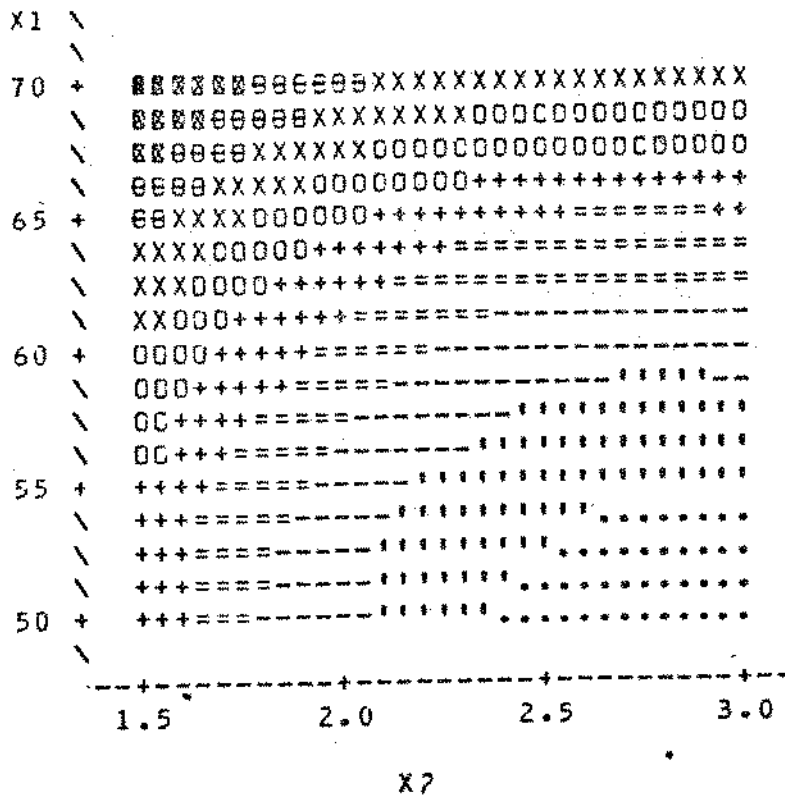
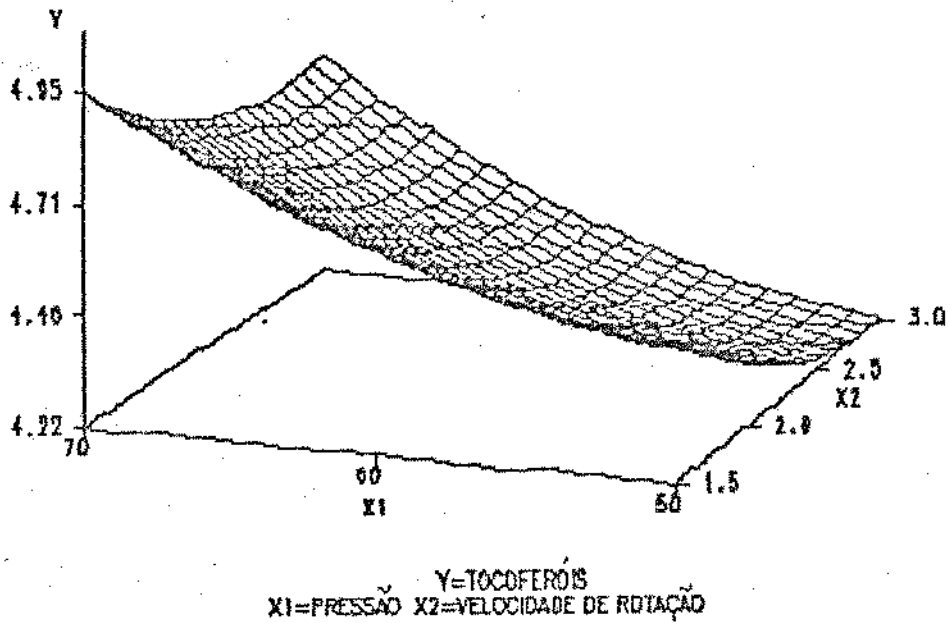
Y=CAROTENÓIDES
X1=PRESSÃO X2=VELOCIDADE DE ROTAÇÃO



SÍMBOLO	CAROTENÓIDES	SÍMBOLO	CAROTENÓIDES
.....	7.982959 - 8.067134	0000000	8.741339 - 8.909890
iiiiiii	8.067134 - 8.235685	XXXXXXX	8.909890 - 9.078442
-----	8.235685 - 8.404236	0000000	9.078442 - 9.246993
#####	8.404236 - 8.572788	0000000	9.246993 - 9.415544
+++++++	8.572788 - 8.741339	0000000	9.415544 - 9.499820

FIGURA 9. Superfície de resposta em duas perspectivas para "teor de carotenóides" totais dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

Superfície de Resposta para TOCOFERÓIS



SÍMBOLO	TOCOFERÓIS	SÍMBOLO	TOCOFERÓIS
.....	4.215604 - 4.256609	0000000	4.584649 - 4.666659
iiiiiiii	4.256609 - 4.338619	XXXXXXXXX	4.666659 - 4.748669
-----	4.338610 - 4.420629	0000000	4.748669 - 4.830679
=====	4.420629 - 4.502639	XXXXXXXXX	4.830679 - 4.912689
+++++++	4.502639 - 4.584649	XXXXXXXXX	4.912689 - 4.953694

FIGURA 10. Superfície de resposta em duas perspectivas para "teor de tocoferóis totais" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

C com os níveis de pressão de vapor e espaçamento entre os rolos, durante o processamento de flocos de batata doce em secador de rolos.

O aspecto das superfícies de resposta para tocoferóis, carotenóides totais e tiamina pode estar relacionado com a variação da taxa de destruição de nutrientes com a atividade de água ao longo do processo de secagem que, conforme LABUZA (1971, 1972), acarreta, no caso de substâncias lipossolúveis, taxas mínimas de destruição a valores de atividade de água de 0,3 a 0,4 e, para nutrientes hidrossolúveis, uma redução gradual das taxas de destruição com a diminuição da atividade da água.

Para efeito de elucidação, deve-se considerar que a atividade de água do lote 3 (processado sob as combinações "mais brandas" de operação, com 50 lbf/pol² de pressão e 3,0 rpm de velocidade de rotação) resultou em 0,3, enquanto que a do lote 7 (processado sob as condições "mais drásticas" de operação, com 70 lbf/pol² de pressão e 1,5 rpm de velocidade de rotação) resultou em 0,25, aproximadamente, de acordo com os isoterma de absorção de umidade apresentados na Figura 17. Assim sendo, os lotes 3 e 7 situam-se nas regiões de menor e maior níveis de retenção de vitamina, o que indica que a retenção de vitamina foi inversamente proporcional à drasticidade do processo, mas, aparentemente, diretamente proporcional aos níveis de atividade de água, dentro da faixa limitada de valores obtidos e condições estudadas.

4.2.4. índice de absorção, índice de solubilidade em água e propriedades de pasta

Os índices de absorção de água e solubilidade em água e algumas propriedades de pasta, obtidas a partir de viscoamilogramas elaborados para cada amostra de flocos, são mostradas na tabela 15, podendo-se observar que foram pequenas as variações encontradas entre os valores obtidos para as variáveis de resposta correspondentes aos diferentes níveis de pressão de vapor e velocidade de rotação no secador de rolos. As variações relativas não podem ser consideradas significativas do ponto de vista prático, notadamente no que se refere aos índices de solubilidade em água e absorção de água, e tornam extremamente dificultada a elaboração de modelos de regressão com alto nível de significância.

Além disso, os modelos propostos correspondentes às análises pela metodologia de superfície de resposta e mostrados no Apêndice A, mostraram-se pouco significativos, apresentando níveis de correlação de 17,01%, 8,73% e 20,80% para as variáveis índice de absorção de água, índice de solubilidade em água e viscosidade inicial, respectivamente, conforme análises de variância mostradas no Apêndice E.

De qualquer modo, os modelos de regressão podem auxiliar na tentativa de avaliação de uma eventual tendência dos dados experimentais decorrentes dos efeitos das variáveis independentes.

TABELA 15. Índice de absorção de água (I.A.A), índice de solubilidade em água (I.S.A) e algumas propriedades de pasta obtidas para os flocos processados sob diferentes combinações de velocidade de rotação e pressão de vapor no secador

Pressão Vapor (lbf/pol ²)	Velocidade Rotação (rpm)	I.A.A	I.S.A	Propriedades Pasta(UA*)			
				V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
50	1,5	3,42	35,17	260	150	180	280
50	2,0	3,70	36,61	280	160	180	290
50	3,0	3,08	38,12	320	180	190	320
60	1,5	3,51	35,12	290	160	180	310
60	2,0	3,44	36,73	330	200	210	330
60	3,0	3,22	37,28	320	190	200	300
70	1,5	3,60	35,10	200	200	210	350
70	2,0	3,58	35,47	310	190	200	340
70	3,0	3,18	38,10	340	220	230	360

* Unidades amilográficas

V₁= viscosidade inicial

V₂= viscosidade ao fim do ciclo de aquecimento

V₃= viscosidade ao fim do ciclo de agitação

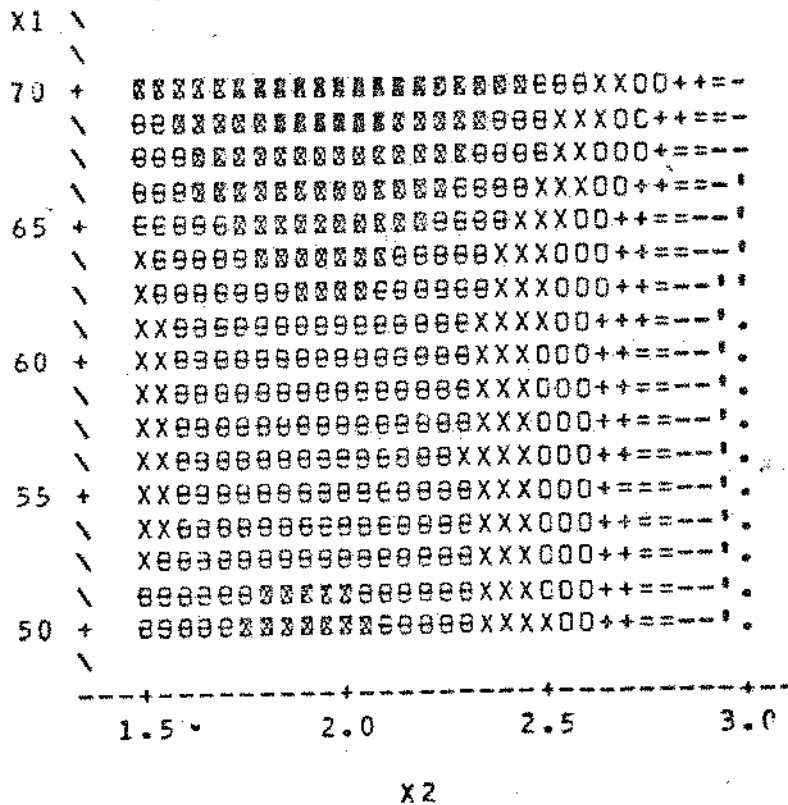
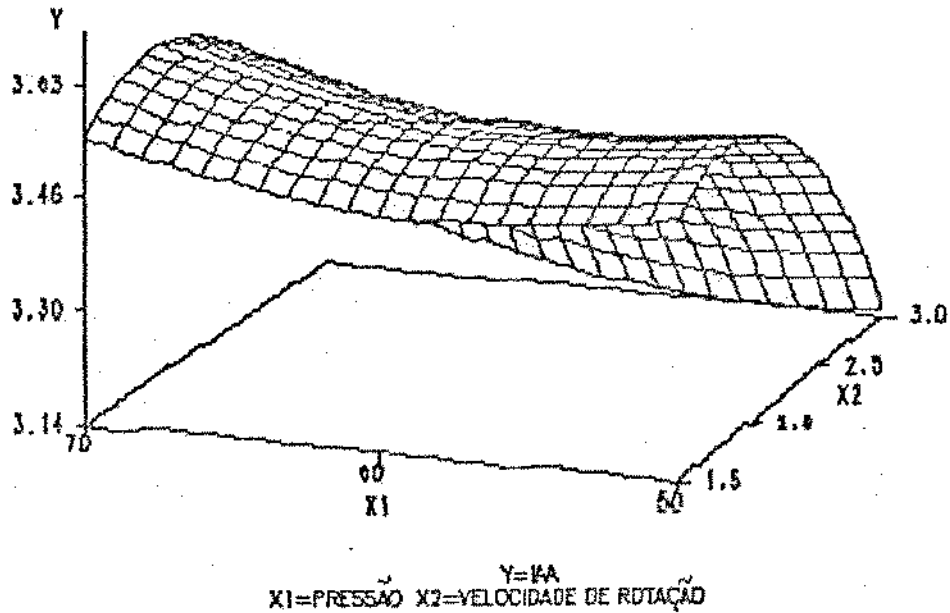
V₄= viscosidade no ciclo de resfriamento quando a temperatura atinge 50°C

As superfícies de resposta para as variáveis índice de absorção de água, índice de solubilidade em água e viscosidade inicial são mostrados em duas perspectivas nas Figuras 11, 12 e 13, respectivamente.

Pode-se verificar a partir das Figuras 11 e 12 que o índice de absorção de água e o índice de solubilidade em água apresentaram, como era de se esperar em função da metodologia adotada, tendências opostas, com ambos tendendo para um "minimax" ou ponto de sela (COCHRAN & COX, 1957). Assim, enquanto os maiores valores do índice de absorção de água (correspondente a faixa de 3,60 e 3,63) foram verificados para níveis elevados de pressão (entre 67,5 e 70 lbf/pol²) associados com níveis de médio para inferiores de velocidade (entre 1,7 e 2,5 rpm), os maiores valores de índice de solubilidade em água (na faixa de 38,00 a 38,17) foram detectados com menores níveis de pressão de vapor (entre 50,0 e 52,5 lbf/pol²) e maiores níveis de velocidade (entre 2,7 e 3,0 rpm).

A superfície de resposta gerada para a viscosidade inicial tendeu igualmente para um ponto de sela com os maiores valores de viscosidade (entre 320 e 324 U.A) situando-se na borda superior esquerda (correspondente a maiores valores de pressão associados com menores valores de velocidade) e na borda inferior direita do gráfico representativo da perspectiva planar da superfície de resposta (correspondente a menores valores de pressão e maiores valores de velocidade), abrangendo uma larga faixa da região central.

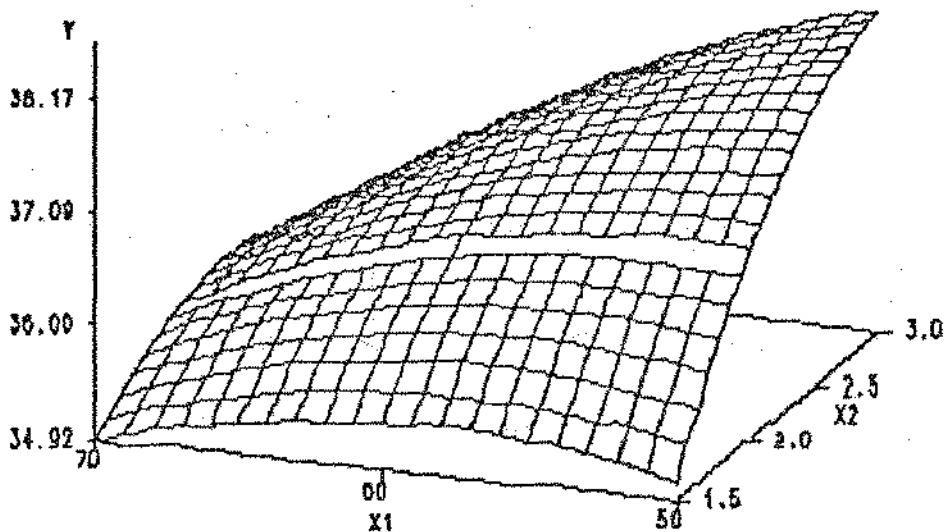
Superfície de Resposta para IAA



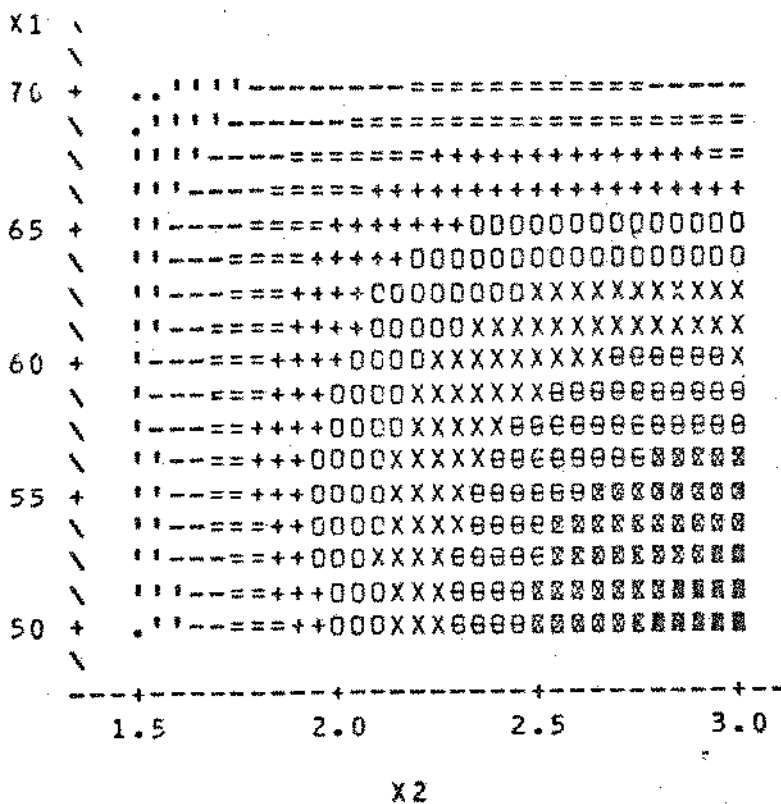
SÍMBOLO	I.A.A	SÍMBOLO	I.A.A
.....	3.136649 - 3.163946	0000000	3.382322 - 3.436916
iiiiiiii	3.163946 - 3.218540	XXXXXXXX	3.436916 - 3.491511
-----	3.218540 - 3.273134	0000000	3.491511 - 3.546105
=====	3.273134 - 3.327728	0000000	3.546105 - 3.600699
++++++	3.327728 - 3.382322	0000000	3.600699 - 3.627996

FIGURA 11. Superfície de resposta em duas perspectivas para "índice de absorção de água" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

Superfície de Resposta para ISA



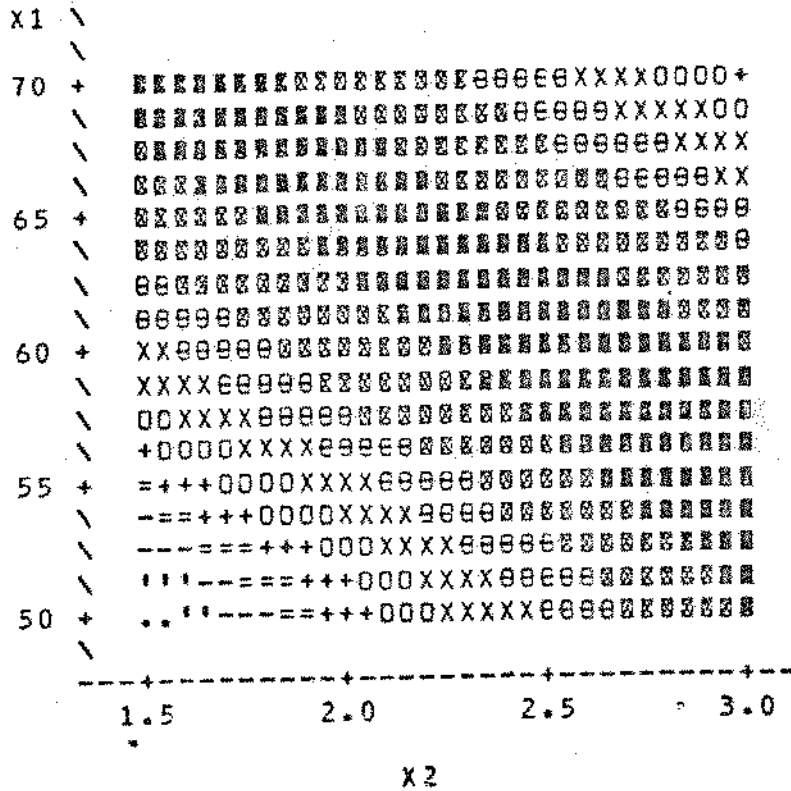
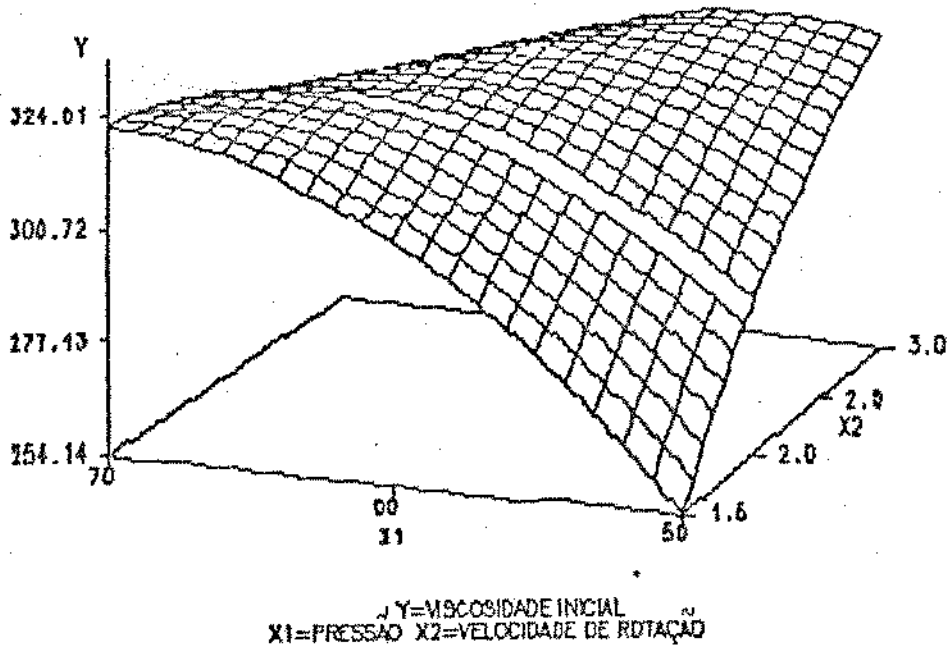
Y=ISA
X1=PRESSÃO X2=VELOCIDADE DE ROTAÇÃO



SÍMBOLO	I.S.A	SÍMBOLO	I.S.A
.....	34.92000 - 35.10056	0000000	36.54500 - 36.90611
	35.10056 - 35.46167	XXXXXXXX	36.90611 - 37.26722
-----	35.46167 - 35.82278	0000000	37.26722 - 37.62833
* * * * *	35.82278 - 36.18389	0000000	37.62833 - 37.98944
+++++	36.18389 - 36.54500	0000000	37.98944 - 38.17000

FIGURA 12. Superfície de resposta em duas perspectivas para "índice de solubilidade em água" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

Superfície de Resposta para VISCOSIDADE INICIAL



SÍMBOLO	VISCOS: INICIAL	SÍMBOLO	VISCOS: INICIAL
.....	254.1441 - 258.0264	0000000	289.0848 - 296.8494
	258.0264 - 265.7910	XXXXXXXX	296.8494 - 304.6140
-----	265.7810 - 273.5556	0000000	304.6140 - 312.3786
=====	273.5556 - 281.3202	0000000	312.3786 - 320.1432
+++++++	281.3202 - 289.0848	0000000	320.1432 - 324.0255

FIGURA 13. Superfície de resposta em duas perspectivas para "viscosidade inicial da pasta" formada a partir dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

O aspecto global dos viscoamilogramas que podem ser visualizados pelas propriedades de pasta pressupõe, juntamente com os baixos valores obtidos para os índices de absorção de água e índice de solubilidade em água, a ocorrência da gelatinização total do amido durante a desidratação da polpa de milho verde no secador de rolos, com início do processo de degradação dos grânulos gelatinizados.

A utilização dos flocos de milho verde como farinha pré-gelatinizada capaz de originar alimentos pastosos com viscosidades elevadas (inviável nos produtos aqui obtidos), poderia ser estudada com base na variação do grau de gelatinização do amido. A variação no nível de gelatinização de amido, por sua vez, poderia ser obtida a partir da adição de água à polpa previamente à secagem, o que embora onerasse o processo, seria eventualmente compensatório dependendo das características desejadas para o produto final.

4.2.5. Diferença em cor e perfil de sabor

Os resultados obtidos para os descritores doce, natural, sabor estranho e impressão global, característicos do perfil de sabor dos flocos produzidos a partir das diferentes combinações operacionais, bem como os resultados correspondentes de diferença total em cor (D.E), indicativos da tonalidade da cor, são mostrados na Tabela 16.

TABELA 16. Perfil de sabor e diferença total em cor (D.E) dos flocos produzidos a partir das diferentes combinações de velocidade de rotação e pressão de vapor no secador

Pressão Vapor (lbf/pol ²)	Veloc. Rotação (rpm)	D.E	Perfil de Sabor			
			Natural	Doce	Sabor estranho	Impressão global
50	1,5	10,5	5,5	6,3	3,1	6,3
50	2,0	8,2	6,4	6,5	2,9	6,4
50	3,0	8,3	6,2	6,1	2,7	6,7
60	1,5	12,2	5,2	5,8	3,1	6,2
60	2,0	9,3	5,5	6,4	3,2	6,2
60	3,0	7,4	6,0	6,5	2,8	6,6
70	1,5	13,9	4,5	5,5	4,1	5,8
70	2,0	11,1	5,5	6,2	3,2	6,2
70	3,0	8,6	5,3	6,1	3,1	6,3

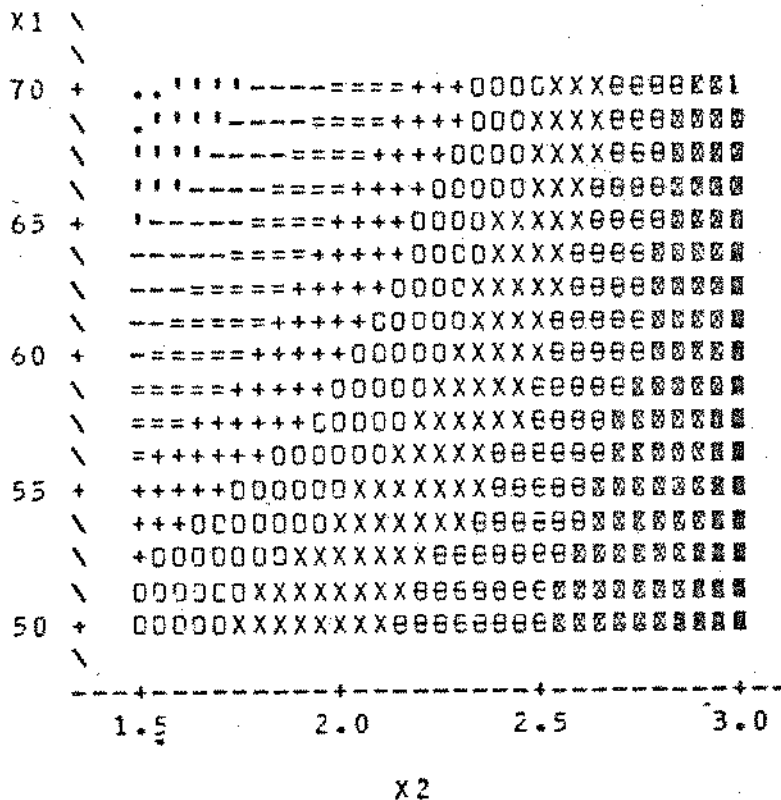
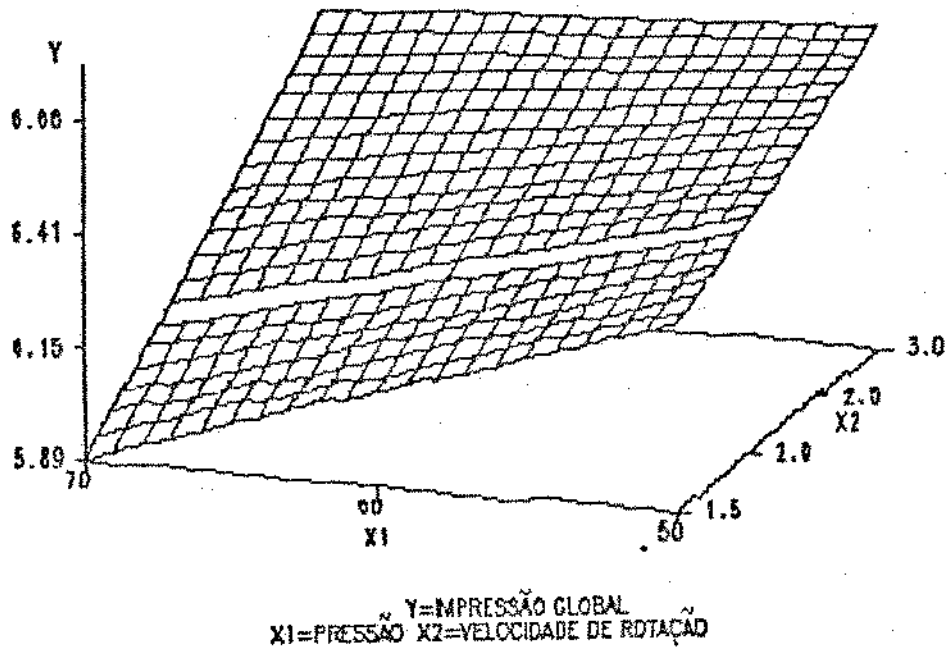
De acordo com a Tabela 16 pode-se observar que o aumento da pressão de vapor implicou, de forma geral, em diminuições nos valores de sabor natural, sabor doce e impressão global, oca-

sionando concomitantemente elevação nos valores de sabor estranho. Por outro lado, o aumento nos níveis de velocidade provocou, ao contrário, aumento nos valores de sabor natural, sabor doce e impressão global, e diminuição nos valores de sabor estranho. Deve-se salientar que o sabor estranho preponderante indicado pelos provadores foi "sabor característico de queimado".

As superfícies de resposta geradas para sabor estranho e impressão global a partir dos modelos propostos no Apêndice A e correspondentes aos níveis de significância de 20,60% e 7,85%, são apresentadas em duas perspectivas distintas nas Figuras 14 e 15, respectivamente. Nota-se que a superfície de resposta ajustada para a variável impressão global teve um comportamento inverso em relação àquela ajustada para sabor estranho, conforme já observado pela Tabela 16. Assim, enquanto níveis máximos de impressão global situaram-se na borda inferior direita da perspectiva planar (característicos dos maiores níveis de velocidade e menores níveis de pressão), os níveis mínimos de sabor estranho situaram-se nessa mesma região. Já de modo contrário, os níveis mínimos de impressão global situaram-se na borda superior esquerda (região correspondente a pressões elevadas e velocidades baixas), região também correspondente a valores elevados de sabor estranho.

Com relação ao comportamento da variável diferença total em cor (D.E), pode-se constatar pela Tabela 16 que, à elevação da pressão de vapor, corresponderam geralmente aumentos nos valores de D.E, enquanto que aos aumentos nos níveis de velocidade

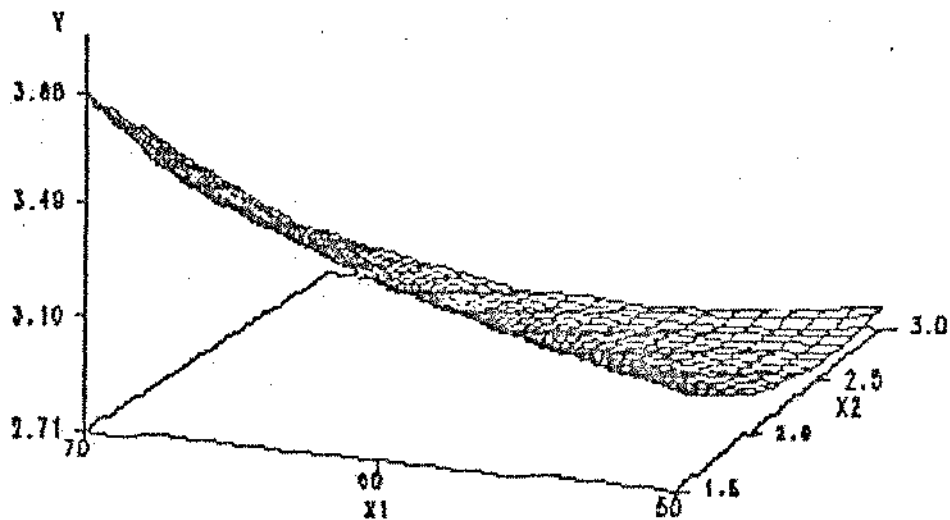
Superfície de Resposta para IMPRESSÃO GLOBAL



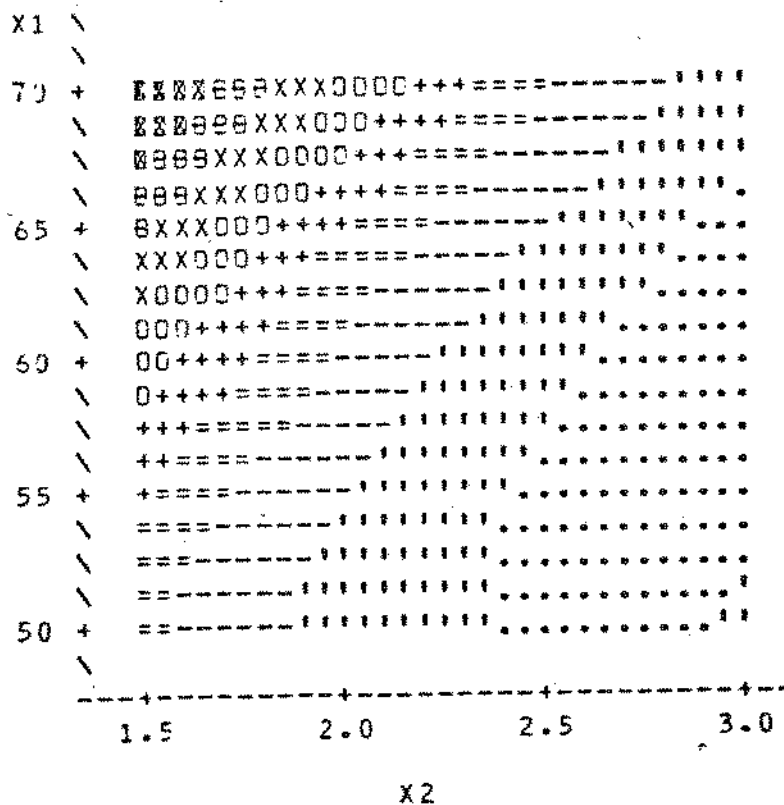
SÍMBOLO	IMPRESSÃO GLOBAL	SÍMBOLO	IMPRESSÃO GLOBAL
.....	5.885586 - 5.928879	0000000	6.275225 - 6.361812
iiiiiii	5.928879 - 6.015465	XXXXXXX	6.361812 - 6.448398
-----	6.015465 - 6.102052	0000000	6.448398 - 6.534985
=====	6.102052 - 6.188639	0000000	6.534985 - 6.621572
+++++++	6.188639 - 6.275225	0000000	6.621572 - 6.664865

FIGURA 14. Superfície de resposta em duas perspectivas para "impressão global de sabor" dos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

Superfície de Resposta para SABOR ESTRANHO



Y=SABOR ESTRANHO
X1=PRESSÃO X2=VELOCIDADE DE ROTAÇÃO



SÍMBOLO	SABOR ESTRANHO	SÍMBOLO	SABOR ESTRANHO
.....	2.708800 - 2.773877	0000000	3.294490 - 3.424643
	2.773877 - 2.904030	XXXXXXXX	3.424643 - 3.554797
-----	2.904030 - 3.034183	0000000	3.554797 - 3.684950
=====	3.034183 - 3.164337	0000000	3.684950 - 3.815104
+++++++	3.164337 - 3.294490	0000000	3.815104 - 3.880108

FIGURA 15. Superfície de resposta em duas perspectivas para "sabor estranho" verificado nos flocos em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

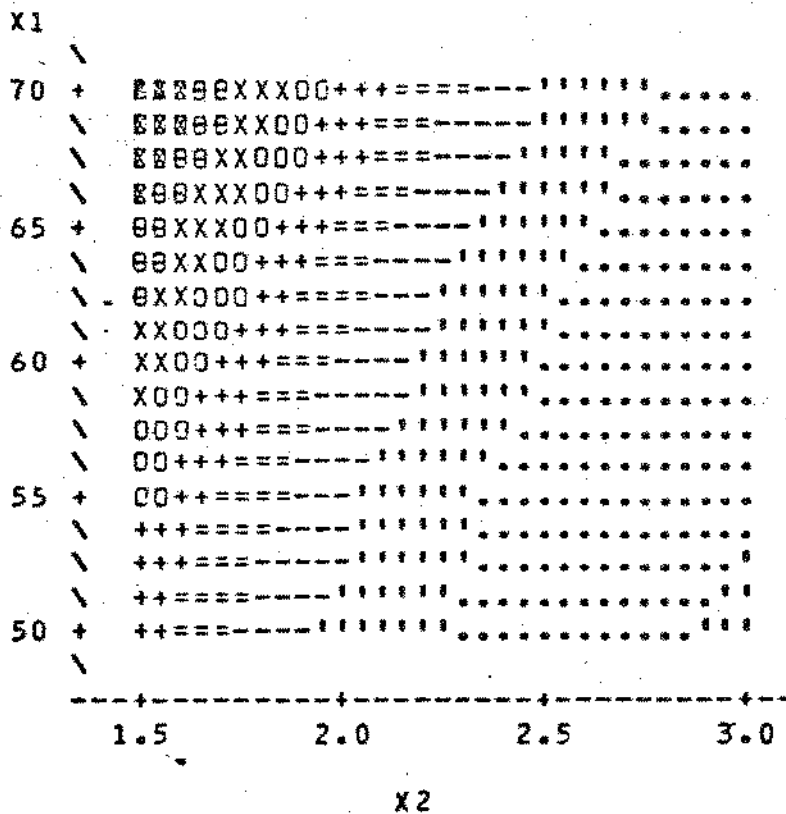
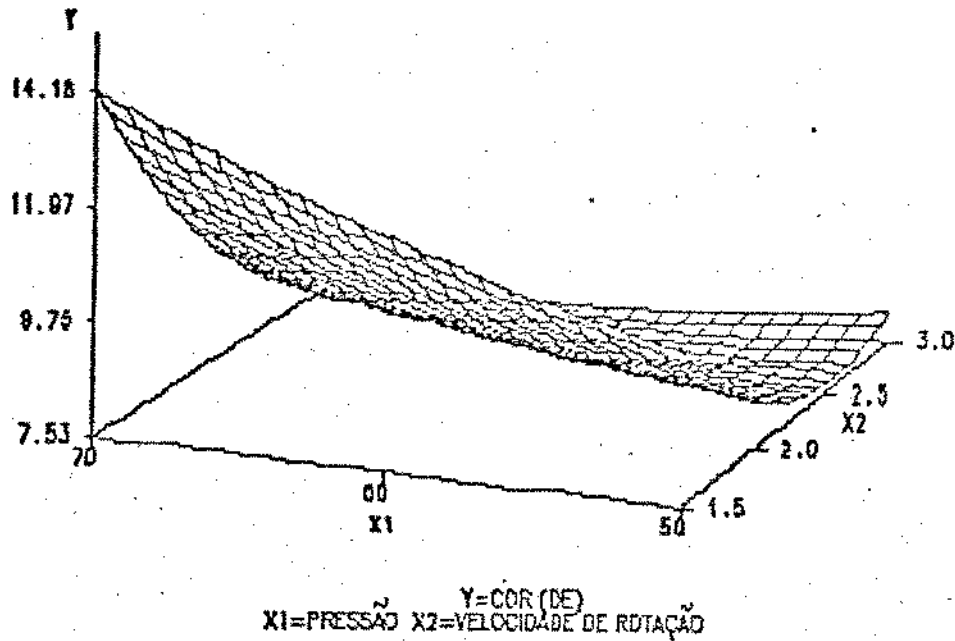
de corresponderam diminuições nos valores de D.E, para todos os níveis de pressão estudados.

O comportamento da variável diferença total em cor também pode ser visualizado pela superfície de resposta, contida em duas perspectivas na Figura 16 e gerada a partir de modelo apresentado no Apêndice A, equivalente a um nível de significância de 0,49% (conforme apêndice E).

A partir das Figuras 14, 15 e 16 pode-se verificar que as superfícies de resposta geradas para as variáveis sabor estranho e D.E foram análogas e opostas àquela gerada para impressão global.

Assim sendo, ambas as variáveis sabor estranho (queimado) e D.E. sofreram elevações a níveis de processamento mais intensos em termos da quantidade de calor fornecido, o que parece estar associado com a ocorrência de reações de escurecimento não-enzimático, responsáveis pela alteração na cor e no sabor do produto. Embora ESHER & NEUKOM (1971) tenham detectado um maior efeito da pressão de vapor no escurecimento não-enzimático em comparação com a velocidade dos rolos, durante a produção de flocos de maçã desidratados em rolos secadores, os presentes resultados não parecem indicar um efeito preponderante de qualquer das duas variáveis independentes nas variáveis de resposta características de cor ou sabor do produto.

Superfície de Resposta para COR (DE)



SÍMBOLO	COR	SÍMBOLO	COR
.....	7.534085 - 7.903563	0000000	10.859385 - 11.598340
	7.903563 - 8.642518	XXXXXXXX	11.598340 - 12.337296
-----	8.642518 - 9.381474	0000000	12.337296 - 13.076251
=====	9.381474 - 10.120429	0000000	13.076251 - 13.815207
+++++++	10.120429 - 10.859385	0000000	13.815207 - 14.184685

FIGURA 16. Superfície de resposta em duas perspectivas para "diferença total em cor" dos flocos em relação à matéria-prima em função da pressão de vapor e velocidade de rotação dos rolos.

4.2.6. Avaliação global do efeito da pressão de vapor e velocidade de rotação no rendimento do processo e qualidade do produto.

De acordo com os resultados obtidos e com as superfícies de resposta geradas para as variáveis estudadas, pode-se observar que a combinação entre os maiores níveis de velocidade com os maiores níveis de pressão de vapor resultou nos maiores valores de rendimento de secagem. No entanto, esta combinação provocou certas alterações nutricionais indesejáveis no produto, com relação à qualidade da proteína (elucidado pelos valores situados em níveis intermediários para "lisina disponível" e "digestibilidade aparente") e com relação aos teores de vitaminas e pró-vitaminas (igualmente constatado pelos valores situados em níveis intermediários para "tiamina", "carotenóides" e "tocoferóis"). Além disto, esta mesma combinação também resultou em valores inadequados para certas características tecnológicas, inferiores àqueles possivelmente mais desejáveis (que corresponderiam aos valores máximos de "índice de solubilidade em água" e "viscosidade inicial"), embora tenha acarretado valores satisfatórios em relação as características sensoriais.

Por outro lado, as combinações entre níveis inferiores de velocidade de rotação com quaisquer níveis de pressão de vapor resultaram em valores relativamente baixos de "rendimento do processo".

Finalmente, a combinação entre níveis elevados de velocidade de rotação com níveis inferiores de pressão de vapor acarretou valores elevados de "rendimento", bem como resultados sa-

tisfatórios em termos de características sensoriais, tecnológicas e nutricionais (com relação à qualidade da proteína), embora tenha acarretado baixos valores de vitaminas e pró-vitaminas.

Para maior visualização da interação dos efeitos das variáveis consideradas, são mostradas na Figura 17 as linhas demarcatórias e a localização da regiões correspondentes aos "níveis mais satisfatórios" das variáveis estudadas, "níveis" estes adotados no presente estudo como aqueles compreendidos entre o valor limite "mais satisfatório" (limite superior ou inferior, conforme a variável) e os valores diferindo no máximo 27,8% desse limite, na faixa de valores encontrados na região estudada, conforme os modelos matemáticos adotados.

Na Tabela 25 são mostradas, para melhor interpretação da Figura 17, os intervalos de variação dos valores de todas as variáveis ao longo da região abrangida no estudo, bem como os limites adotados para a confecção da Figura 17 e os intervalos de valores adotados como "mais satisfatórios".

Nota-se pela Figura 17, que a região correspondente à intersecção dos "níveis mais satisfatórios" de nove das doze variáveis estudadas (exetquando-se, neste caso, as variáveis "tiamina", "carotenóides", "tocoferóis" e "índice de absorção d'água" que, a rigor, variaram pouco em termos absolutos) situou-se, a grosso modo, entre níveis de pressão de vapor de 50 à 55 lbf/pol² e velocidade de rotação de 2,5 à 3,0 r.p.m.

Assim sendo, tal região abrange os "níveis mais satisfatórios" da maior parte das variáveis adotadas, sendo possivelmente uma alternativa mais interessante em relação à condição en-

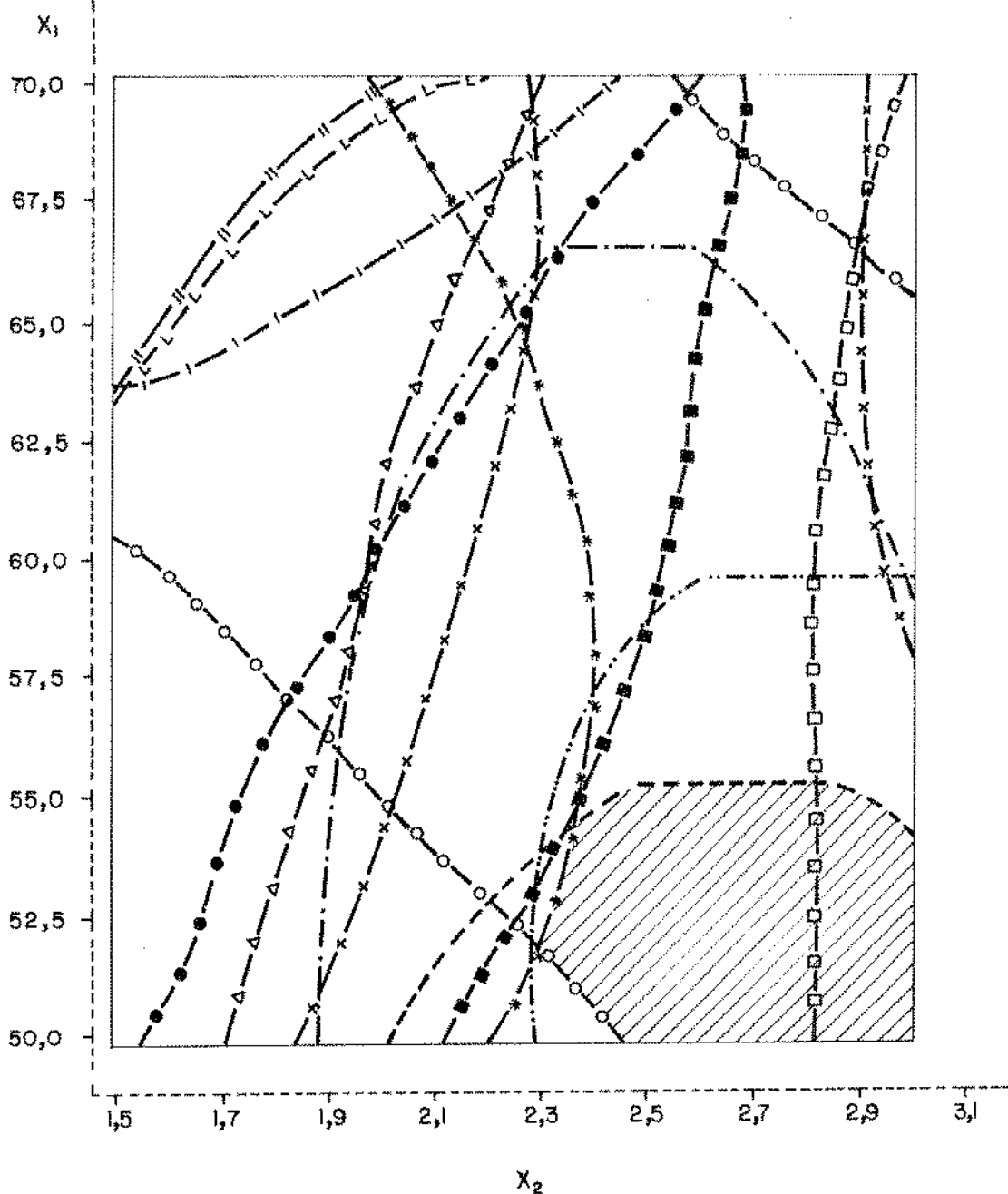


FIGURA 17. Demarcação das regiões correspondentes aos "níveis mais satisfatórios de operação" das variáveis estudadas, em termos dos valores de velocidade de rotação (X_1) e pressão de vapor (X_2) nos rolos:

—*—*—*	Rendimento (%d);	—Δ—Δ—	Cor (U.E.) (%d);
—x—x—x	P.E.R. (*m);	—·—·—·	Índice de solubilidade em água (ISA) (*c,*d);
—·—·—·	Digestibilidade aparente (*c);	—□—□—	Índice de absorção de água (IAA) (*e);
—·—·—·	Lisina disponível (*c);	—○—○—	Viscosidade inicial (*m);
—■—■—■	Impressão global (%d);	— — —	Carotenóides (*c,*e);
—●—●—●	Sabor estranho (*c,*d);	— — —	Tiamina (*c,*e);
		—L—L—L	Tocoferóis (*c,*e);

(*d): "níveis mais satisfatórios" localizados à direita da linha demarcatória correspondente;

(*e): "níveis mais satisfatórios" localizados à esquerda da linha demarcatória correspondente;

(*c): "níveis mais satisfatórios" localizados acima da linha demarcatória correspondente;

(*m): "níveis mais satisfatórios" localizados na região situada entre as linhas demarcatórias correspondentes.

região de concentração dos "níveis mais satisfatórios" para a maioria das variáveis (exceto tiamina, pró-vitaminas e IAA)

TABELA 17. Intervalos de variação dos valores obtidos através de modelos matemáticos para as variáveis estudadas e intervalos de valores adotados como "mais satisfatórios"

Variável	Intervalo de Variação	
	Total	Níveis "mais satisfatórios"
Rendimento(Kg/h.m ²)	6,49- 11,88	10,38- 11,88
PER	1,96- 2,47	2,33- 2,47
D.A.(%)*	71,49- 78,09	76,26- 78,09
L.D.(%)**	70,11- 94,72	87,88- 94,72
Tiamina(ppm)	1,80- 1,98	1,93- 1,98
Tocoferóis(ppm)	42,16- 49,54	47,49- 49,54
Carotenóides(ppm)	7,98- 9,50	9,07- 9,50
IAA	3,14- 3,63	3,14- 3,27
ISA	34,92- 38,17	37,26- 38,17
V.I.(u.a.)***	254,14-324,02	304,61-324,02
Impressão		
Global	5,89- 6,66	6,45- 6,66
Sabor		
Estranho	2,71- 3,88	2,71- 3,03
Cor(D.E.)	7,53- 14,18	7,53- 9,38

* Digestibilidade aparente

** Lisina disponível

*** Viscosidade inicial (unidades amilográficas)

volvendo os níveis máximos de pressão de vapor e velocidade de rotação (próximos à 3,0 r.p.m. e 70 lbf/pol²), embora essa última promova um rendimento superior.

A região destacada na Figura 17, além de conciliar vários aspectos interessantes, propicia também uma certa economia de vapor, na medida que acarreta um produto com teor de umidade superior em relação a condição de rendimento máximo. E, apesar de a condição destacada acarretar teores de umidade superiores (na faixa de 4,80 à 5,82 g água/100 g de matéria seca), estes teores ainda situam-se em níveis bem inferiores em relação àqueles considerados críticos com vistas à manutenção de um armazenamento prolongado, os quais se situam na faixa de 8,10 à 9,55 g água/100 g de matéria-seca de acordo com a metodologia adotada, conforme o item 4.3.1.

4.3. ESTUDO DA VIDA-DE-FRATELEIRA DOS FLOCOS DE MILHO VERDE ARMAZENADOS À TEMPERATURA AMBIENTE

4.3.1. Especificação da embalagem flexível com base na permeabilidade ao vapor d'água.

As curvas isotermas de absorção de umidade determinadas pelo método dos dessecadores para os lotes 3 e 7 são mostrados na Figura 18.

Os parâmetros obtidos a partir das curvas isotermas de absorção de umidade necessários para a especificação de embalagem são mostrados na Tabela 18, assim como os valores de taxa de permeabilidade ao vapor d'água (T.P.V.A) calculados a partir desses parâmetros e que possibilitam a caracterização do filme de polietileno requerido para um período mínimo de armazenamento de 300 dias, sem que se verifique aglomeração do produto.

Nota-se pela Tabela 18 que embora o lote 7 apresentasse uma umidade residual inferior ao lote 3, resultante de um processamento mais intenso, ambos os lotes apresentaram indícios de aglomeração somente aos 70% de umidade relativa, implicando em teores de umidade crítica correspondentes à umidade relativa de 60% para ambos, de acordo com a metodologia empregada.

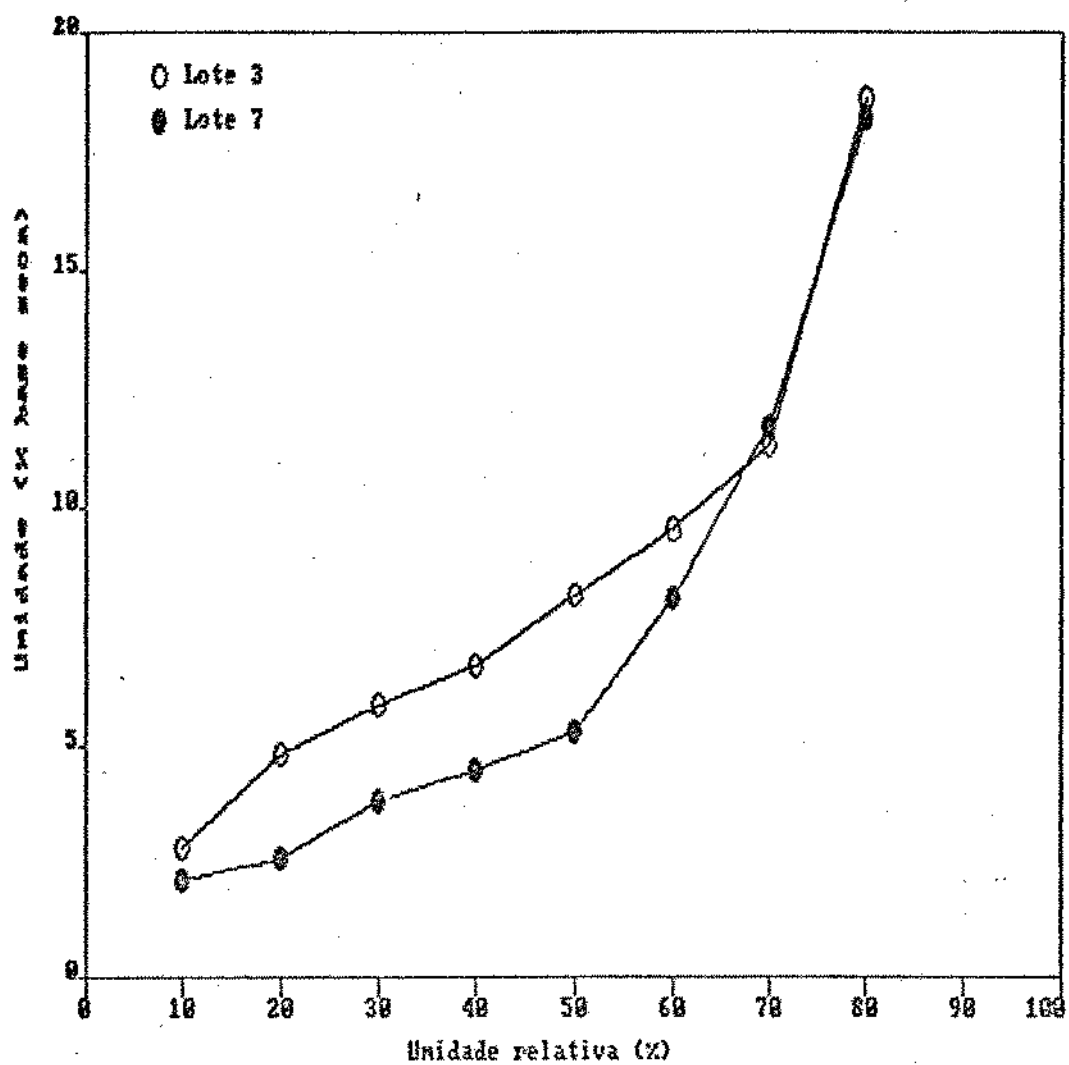


FIGURA 18. Curvas isotermas de absorção de umidade para os lotes 3 e 7 empregados no estudo de vida-de-prateleira

TABELA 18. Valores obtidos para os parâmetros empregados na especificação do filme de polietileno a ser utilizado como embalagem e taxa de permeabilidade ao vapor d'água (TPVA) mínima requerida para o filme visando um período mínimo de armazenamento de 300 dias.

Parâmetro	Lote 3	Lote 7
Umidade crítica (g/100g m.s.*)	9,55**	8,10*
Umidade inicial (g/100g m.s.*)	5,70	3,50
Taxa de absorção de umidade (g água / % umidade relativa)	0,159	0,135
Taxa de permeabilidade ao vapor d'água (g água / m ² dia)	1,60	1,67

* matéria seca

** correspondente a 60% de umidade relativa ambiente.

Com base nesses valores máximos de T.P.V.A calculados, optou-se por um filme de polietileno de T.P.V.A igual a 1,50 gramas de água/m².dia para o acondicionamento dos dois lotes de flocos para o estudo de armazenamento.

Deve-se salientar que a escolha de uma embalagem com esse valor de T.P.V.A permitiria, assumindo-se os valores previamente estipulados ou estimados para os demais parâmetros a partir das curvas isotermas de absorção, um período de estocagem de 319

e 333 dias para os lotes 3 e 7 respectivamente, até que se atingisse a umidade crítica (e sem que se verificasse, portanto, a aglomeração do produto).

4.3.2. Alteração na qualidade nutricional da proteína (P.E.R. e Digestibilidade Aparente) com o armazenamento

Os valores médios de P.E.R e Digestibilidade Aparente obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento juntamente com os valores obtidos para a caseína na época correspondente, são mostrados nas Tabelas 19 e 20, respectivamente.

TABELA 19. Valores de FER obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do estudo de vida-de-prateleira.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)					
	zero	60	120	180	240	300
Lote 3	2,69	2,19	2,43	2,43	2,51	2,72
Lote 7	2,45	2,24	2,36	2,32	2,41	2,90
Caseína	3,36	3,08	3,28	3,19	3,22	3,62

TABELA 20. Valores de Digestibilidade Aparente (%) obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)					
	zero	60	120	180	240	300
Lote 3	69,1	69,5	72,1	66,7	70,4	71,2
Lote 7	67,9	70,0	70,1	67,4	66,1	70,0
Caseína	87,3	91,0	88,8	88,5	87,6	89,3

Em face das variações apresentadas pelos valores de PER e Digestibilidade Aparente para a caseína nas várias épocas estudadas, indicando provavelmente uma diferença entre os ratos utilizados nas várias determinações, procedeu-se uma "correção" para fins comparativos nos valores de PER e Digestibilidade Aparente com base no valor padrão de PER (2,50) e no valor médio de Digestibilidade Aparente (89,0%) obtido para a caseína, através da multiplicação dos valores de PER e Digestibilidade encontrados para cada lote, pela relação existente entre o valor padrão (ou médio, no caso da Digestibilidade Aparente) e o valor encontrado para a caseína na época correspondente.

Os valores de PER e Digestibilidade Aparente corrigidos com base nos valores padrões de caseína são mostrados nas Tabelas 21 e 22, respectivamente.

TABELA 21. Valores de FER corrigidos com base no valor da caseína padrão (2,50) obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)					
	zero	60	120	180	240	300
Lote 3	2,00 ^a	1,78 ^a	1,85 ^a	1,90 ^a	1,95 ^a	1,88 ^a
Lote 7	1,82 ^b	1,82 ^b	1,80 ^b	1,82 ^b	1,87 ^b	2,00 ^b

Valores com letras iguais correspondentes a um mesmo lote não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância.

TABELA 22. Valores de Digestibilidade Aparente (%) obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento e corrigidos com base no valor médio obtido para a caseína (89,0%)

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)					
	zero	60	120	180	240	300
Lote 3	70,4a	68,0 ^a	72,3 ^a	67,1 ^a	71,5 ^a	71,0 ^a
Lote 7	69,2 ^b	68,5 ^b	70,2 ^b	67,8 ^b	67,1 ^b	70,0 ^b

Valores com letras iguais correspondentes a um mesmo lote não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância

Pode-se observar pelas Tabelas 21 e 22 que tanto o PER como a Digestibilidade Aparente mostraram uma constância nos valores nas várias épocas para cada lote, indicando que não houve alterações significativas do valor nutricional ao longo do armazenamento do produto nas condições empregadas, o que foi confirmado pelos resultados das análises estatísticas.

4.3.3. Alteração do índice de peróxido com o armazenamento

Os valores médios obtidos para o índice de peróxido para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento são mostrados na Tabela 23.

TABELA 23. Índice de peróxidos em miliequivalentes de peróxido/kg lipídios obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)					
	zero	60	120	180	240	300
Lote 3	zero ^b	zero ^b	zero ^b	zero ^b	62,2 ^a	58,1 ^a
Lote 7	zero ^d	zero ^d	zero ^d	zero ^d	69,3 ^c	63,0 ^c

Valores com letras iguais correspondentes a um mesmo lote não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância.

Nota-se pela Tabela 23 que foram detectados peróxidos somente na análise correspondente a 240 dias de armazenamento, em

níveis de 62,2 e 69,3 meq de peróxidos/kg de lipídeos para os lotes 3 e 7, respectivamente.

Considerando-se que o valor máximo de índice de peróxidos permitido para óleos e gorduras refinadas foi fixado em 10 meq de peróxidos/kg de produto pelo Conselho Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA) e pela Câmara Técnica do Conselho Nacional de Saúde (Resoluções nº 22/77 e 25/79, respectivamente), os índices encontrados para ambos os lotes podem ser considerados elevados, indicando um alto grau de rancificação da fração lipídica aos 8 meses de armazenamento.

Apesar disso, a participação ponderal da fração lipídica na composição centesimal dos flocos de milho verde pode ser considerada pequena, correspondendo a apenas 5,7% em média do total, razão pela qual possivelmente não foram verificadas alterações no valor nutricional da proteína (como pode ser observado pela constância dos valores de PER e Digestibilidade Aparente ao longo do armazenamento) resultantes de eventuais processos interativos entre produtos originários da rancificação de lipídios com proteínas.

De qualquer forma, a preocupação com a rancidez oxidativa também é relevante sob o aspecto toxicológico, além do aspecto sensorial (por gerar produtos impalatáveis) e do aspecto nutricional (devido à interação dos produtos resultantes com proteínas), devendo portanto ser evitada. Assim, de acordo com SANDERS (1983), a toxicidade de gorduras rancificadas avaliada em experimentos com animais originou os seguintes sintomas: diarreia, diminuição na taxa de crescimento, cardiomiopatia, hepato-

megalia, "steatitis" ou desarranjo de gordura amarela, anemia hemolítica, e deficiências secundárias de vitamina A e E. Como a função da vitamina E é atuar como antioxidante "in vivo", não é surpresa, de acordo com SANDERS (1983), que os sintomas de deficiência de vitamina E são similares aqueles devido a toxicidade de gorduras rancificadas.

4.3.4. Alteração no teor de ácidos graxos livres

A Tabela 24 mostra os valores médios de acidez expresso em termos percentuais de ácido oléico em relação ao teor de lipídios, bem como os resultados dos testes de Tukey procedidos entre os valores médios obtidos pelos lotes nas várias épocas, ao longo da estocagem.

TABELA 24. Índice de acidez livre em g/100g de lipídios obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo da estocagem.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)					
	zero	60	120	180	240	300
Lote 3	2,33 ^c	1,84 ^c	1,94 ^c	2,52 ^c	19,42 ^a	14,32 ^b
Lote 7	1,84 ^f	2,12 ^f	2,03 ^f	2,22 ^f	21,64 ^d	17,21 ^e

Valores com letras iguais na horizontal não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância.

A partir da tabela 24 é possível verificar-se que, analogamente ao ocorrido com o índice de peróxidos, o índice de acidez revelou um acréscimo significativo para ambos os lotes aos 240 dias de armazenamento e uma pequena queda subsequente aos 300 dias.

A elevação do índice de acidez, embora normalmente atribuída à rancidez hidrolítica verificada a partir de atividade de enzimas lipolíticas, parece estar no presente caso mais associada com a própria rancidez oxidativa, constatada a partir da elevação do índice de peróxidos. Assim, de acordo com DeMAN, TIE & DeMAN (1987), o final do período de indução da rancidez oxidativa de óleos e gorduras coincide com o início da produção de ácidos voláteis (principalmente ácido fórmico e acético) responsáveis pela elevação da acidez titulável da fração lipídica.

Outra consideração que deve ser feita com relação à elevação do índice de acidez, analogamente àquela procedida com relação ao índice de peróxidos, é que os valores de acidez registrados aos 240 dias de armazenamento superaram o valor máximo de acidez de 2,0% permitido pelo CNPPA para óleos ou gorduras virgens (Resolução nº22/77), o que representa um aspecto relevante a despeito da pequena participação ponderal da fração lipídica na composição centesimal dos flocos, e de não haver problemas toxicológicos específicos nesse sentido, segundo SANDERS (1983).

4.3.5. Alteração no teor de carotenóides totais com o armazenamento.

Os valores médios de concentração de carotenóides totais expressos como zeaxantina, obtidos para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento, bem como os resultados dos testes de Tukey são mostrados na Tabela 25.

Verifica-se pela Tabela 25 que houve uma redução significativa no teor de carotenóides totais em função do processamento e durante o armazenamento aos 240 dias, para ambos os lotes estudados.

TABELA 25. Concentração de carotenóides (ppm) para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)					
	zero	60	120	180	240	300
Lote 3	10,2 ^a	10,1 ^a	9,6 ^a	9,3 ^a	7,6 ^b	7,4 ^b
Lote 7	9,6 ^c	9,2 ^c	9,3 ^c	9,6 ^c	7,3 ^d	6,9 ^d

Valores com letras iguais referentes a um mesmo lote não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

Uma comparação entre as Tabelas 23 e 25 permite concluir que houve tendência inversa do índice de peróxidos em rela-

ção ao teor total de carotenóides ao longo do armazenamento, ou seja, o aumento do índice de peróxidos verificado aos 240 dias de estocagem foi acompanhado de uma concomitante diminuição no nível de carotenóides totais.

Assim sendo, os dados de peróxidos e carotenóides coincidem com as suposições de LABUZA (1971) de que a destruição de pigmentos lipossolúveis e gorduras obedecem a um mecanismo comum de deterioração e também que há uma possível participação dos hidroperóxidos, formados durante a oxidação das gorduras, na deterioração dos pigmentos lipossolúveis.

4.3.6. Alteração do perfil de sabor com o armazenamento

Na Tabela 26 são apresentados as médias obtidas pelos lotes 3 e 7 para cada descriptor nos tempos de armazenamento considerados, além de serem mostrados os resultados da análise estatística procedida.

De acordo com a Tabela 26 os únicos descriptors que apresentaram valores que variaram significativamente ao longo do armazenamento foram "sabor natural", "sabor estranho" e "impressão global" sendo que a variação para ambos os lotes foi análoga. Assim, houve um decréscimo nos valores dos descriptors "sabor natural" e "impressão global" a partir dos 240 dias de armazenamento e uma elevação nos valores do descriptor "sabor estranho" para ambos os lotes, sendo que essas verificações supostamente atestam os fenômenos de elevações dos índices de peróxido e acidez verificados anteriormente.

TABELA 26. Perfil de sabor obtido para os lotes 3 e 7 ao longo do armazenamento.

Descriptor de sabor	Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)					
		zero	60	120	180	240	300
Sabor Natural	Lote 3	3,80 ^b	4,82 ^a	4,10 ^b	3,91 ^b	3,54 ^{bc}	3,32 ^c
	Lote 7	3,32 ^{ef}	3,71 ^{de}	3,46 ^e	3,38 ^e	3,02 ^{de}	2,72 ^f
Sabor Cozido	Lote 3	4,30 ^a	3,02 ^a	4,49 ^a	3,30 ^a	4,51 ^a	4,04 ^a
	Lote 7	4,49 ^b	4,22 ^b	4,03 ^b	3,48 ^b	4,32 ^b	4,58 ^b
Sabor Doce	Lote 3	3,57 ^a	4,17 ^a	3,54 ^a	3,12 ^a	2,92 ^a	3,53 ^a
	Lote 7	2,93 ^b	3,72 ^b	3,03 ^b	2,90 ^b	2,84 ^b	3,19 ^b
Sabor Estranho	Lote 3	3,25 ^b	3,40 ^b	3,10 ^b	3,60 ^b	4,20 ^a	4,17 ^a
	Lote 7	3,52 ^e	3,83 ^e	3,61 ^e	3,94 ^e	4,60 ^d	4,42 ^d
Impressão Global	Lote 3	5,22 ^b	6,06 ^a	5,15 ^b	5,66 ^{ab}	4,68 ^c	4,52 ^c
	Lote 7	4,80 ^{de}	4,64 ^{de}	4,66 ^{de}	5,05 ^d	4,31 ^e	4,22 ^e

Letras iguais indicam diferenças não significativas a 5% de probabilidade entre valores médios obtidos para um certo descriptor de sabor nas várias épocas e para um lote determinado.

Assim sendo, embora o teor de lipídios do produto seja relativamente baixo, as elevações nos índices de peróxidos e acidez foram suficientes para acarretar uma perda de qualidade no perfil de sabor, limitando a vida-de-prateleira do produto.

4.3.7. Avaliação global da vida-de-prateleira e embalagem.

De acordo com os resultados apresentados, somente na análise dos 240 dias foi detectada a presença de peróxidos e uma elevação acentuada no índice de acidez, acompanhado de uma piora no perfil de sabor do produto e uma diminuição mais acentuada no teor de carotenóides totais.

Já com relação ao valor nutricional da proteína, não foram detectadas diminuições significativas nos valores de PER e Digestibilidade Aparente ao longo do armazenamento.

Assim, para que se amplie a vida-de-prateleira do produto segundo as condições e parâmetros empregados, seria necessário especificar a embalagem com vistas a restringir a permeabilidade ao oxigênio de modo a retardar ainda mais o início do processo de rancificação, ou ainda, conceber alguma outra alternativa para evitar o processo de rancificação, como eventualmente adicionar-se em algum ponto do processamento, agentes antioxidantes no produto.

4.4. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO PROCESSO

4.4.1. Fluxograma Quantitativo do Processo

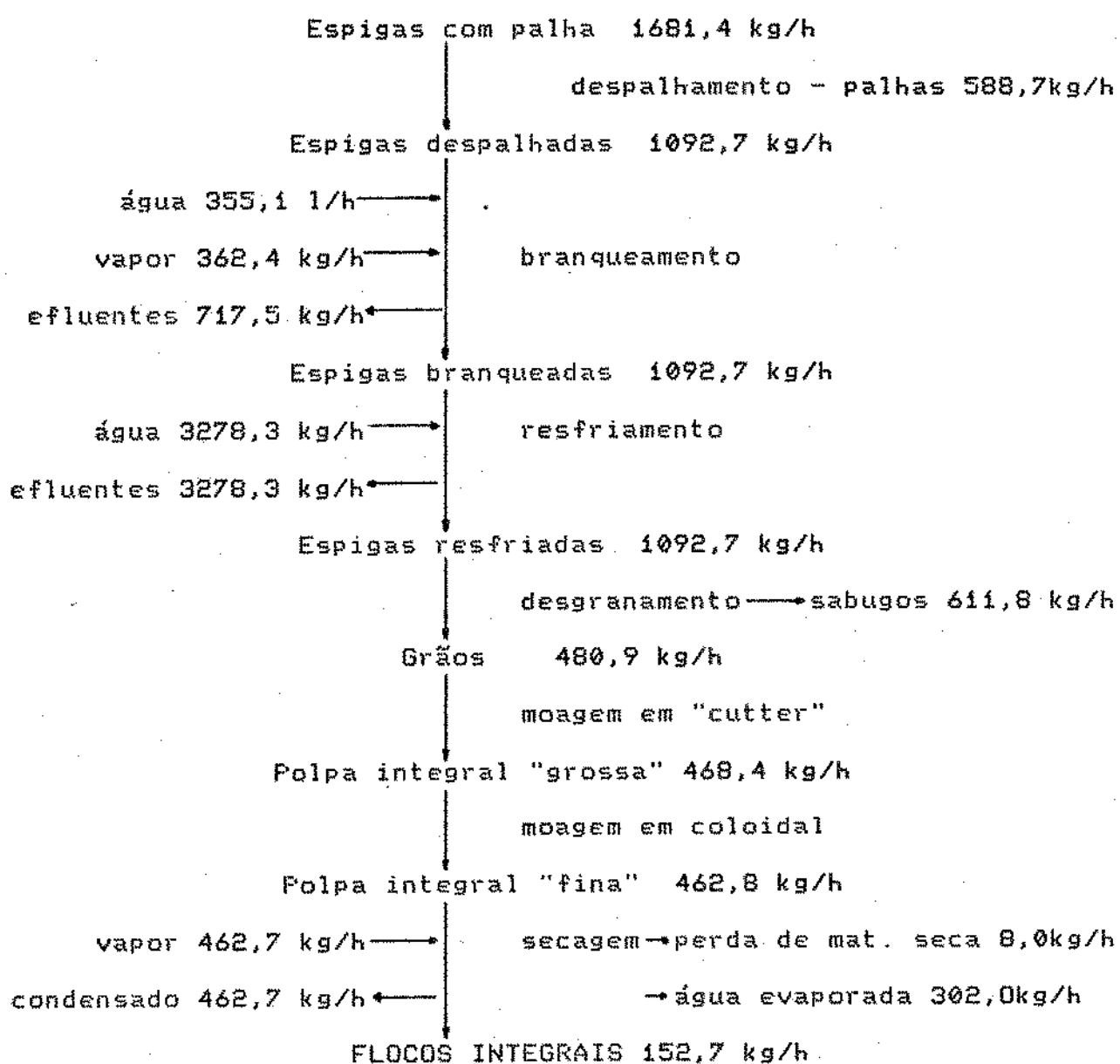
O fluxograma quantitativo do processo elaborado a partir dos dados de rendimento contidos no Apêndice B é mostrado na Figura 19.

É possível concluir-se da Figura 19 que o rendimento em massa do processo em termos da quantidade de flocos processada a partir de determinada quantidade de matéria-prima, é de 9,08%, com base em espigas com palha, e 13,97%, com relação à espigas despalhadas.

Ainda da Figura 19 é possível observar-se que o consumo de vapor estimado para a etapa de branqueamento foi bem elevado quando comparado com aqueles normalmente encontrados em projetos de indústrias de enlatamento de milho verde, tendo em vista que o processo usual de enlatamento compreende o degranamento prévio à etapa de branqueamento.

Assim, é conveniente proceder-se posteriormente um estudo dessa alternativa de processo, ou seja, verificar-se a validade de se promover o branqueamento posteriormente ao desgranamento que, apesar de implicar em maiores perdas de nutrientes, acarreta uma economia de vapor nesta operação.

FIGURA 19. Fluxograma quantitativo do processo para produção de 152,7 kg/h de flocos de milho verde



4.4.2. Valores de compra dos principais equipamentos

O número de unidades de cada tipo de equipamento necessário ao processo, bem como o valor de compra a eles correspondentes, são mostrados na Tabela 27.

TABELA 27. Valores de compra dos principais equipamentos necessários para a implantação de uma unidade industrial com capacidade de produção de 152,7 kg/h de flocos de milho verde.

Tipo de Equipamento	Quantidade	Valor Unitário (OTN)	Valor Global (OTN)
Branqueador	1	2646,0	2646
Despalhadeira	1	1613,0	1613
Desgranadeira	1	2626,0	2626
Moinho "Cutter"	4	1137,5	4550
Moinho Coloidal	1	1096,0	1096
Secador de Rolos	1	2945,0	2945
Caldeira Elétrica	1	5921,0	5921
TOTAL			21397

Em face do valor relativamente elevado correspondente às quatro unidades de moinho tipo "cutter" necessárias para a moagem inicial dos grãos, bem como em função da descontinuidade do processo acarretada pelas características desse tipo de equipamento, faz-se necessário que se proceda futuramente um estudo de equipamentos alternativos com menores valores de compra e que se prestem a função de trituração inicial dos grãos, possibilitando simultaneamente a realização de um processamento contínuo.

4.4.3. Investimento fixo, capital de giro e investimento total

Os valores correspondentes aos itens componentes do investimento fixo são mostrados na Tabela 28.

Já o valor do capital de giro resultou, de acordo com a metodologia empregada, em 31.445 OTN.

O valor do investimento total, que corresponde a soma-tória do investimento fixo e do capital de giro, resultou, por fim, em 110.058 OTN.

4.4.4. Custos de produção

4.4.4.1. Custos fixos

Os itens componentes dos custos fixos bem como os valores correspondentes a esses itens estão apresentados na Tabela 29.

TABELA 28. Valores estimados para os itens do investimento fixo correspondentes a implantação de uma unidade industrial com capacidade de produção de 152,7 kg/h de flocos.

Componentes do Investimento Fixo	Valor (OTN)
Principais equipamentos	21397
Instalação dos equipamentos	6419
Controle e instrumentação	2782
Tubulações	7489
Subestação elétrica e instalações	1284
Prédios	6205
Terrenos	1070
Engenharia e supervisão	6847
Despesas de construção	7275
Serviços	10698
SUBTOTAL	71466
Imprevistos (10%)	7147
TOTAL	78613

TABELA 29. Custos fixos correspondentes a seis meses de operação de uma unidade com capacidade de produção de 152,7 kg/h de flocos de milho verde.

Componentes dos Custos Fixos	Valor (OTN)
Mão-de-obra indireta produtiva*	4337
Pessoal administrativo*	3329
Depreciação	5214
Manutenção	2358
Seguros	786
Impostos do capital	1179
Fator de demanda da potência instalada	647
TOTAL	17850

* de acordo com o Apêndice C

Nota-se pela Tabela 29 que de acordo com o modelo de custos empregado, os custos com salários e encargos sociais representam conjuntamente mais de 40% do custo fixo total.

4.4.4.2. Custos variáveis

Os custos variáveis de produção são mostrados na Tabela 30.

TABELA 30. Custos variáveis relativos a seis meses de operação de uma unidade com capacidade de produção de 152,7 kg/h de flocos de milho verde.

Componente dos Custos Variáveis	Valor (OTN)
Mão-de-obra direta*	9108
Água	1405
Energia elétrica**	8151
Matéria-prima	14459
TOTAL	33513

* de acordo com Apêndice C; ** de acordo com Apêndice D.

Com relação aos custos variáveis, é possível verificar-se pela Tabela 30 que os custos com a matéria-prima perfazem 43% do total enquanto que, nesse caso, os salários e encargos sociais correspondem à somente 27%.

4.4.4.3. Custos totais de produção

Os custos totais de produção correspondentes à soma dos custos variáveis e custos fixos totais da unidade industrial equivalem a 51.363 OTN anuais.

4.4.5. Custo total unitário e preço de venda do produto

O custo total unitário correspondente ao custo total de produção por unidade de massa de produto processado, considerando-se uma produção máxima de 481.005kg anuais relativa ao processamento de 21 horas/dia, durante 25 dias/mes e 6 meses/ano, resultou em 0,11 OTN/kg.

O preço de venda do produto, tendo em vista a margem de lucro atribuída, resultou em 0,13 OTN/kg.

4.4.6. Estimativa da receita total e lucro bruto

A receita total da unidade industrial correspondente à produção máxima por um período de seis meses anual resultou em 62.531 OTN.

O lucro bruto correspondente à essa produção resultou em 11.168 OTN.

4.7. Ponto de equilíbrio ou de nivelção

O ponto de equilíbrio ou de nivelção da unidade industrial que corresponde ao nível de produção em que os custos e as receitas totais são igualados, ou seja, ao volume de produção que a unidade deve comercializar para não ter lucros nem prejuízos, resultou em 295.858 kg, o que equivale a 61,5% da capacidade instalada de produção. A representação gráfica do ponto de equilíbrio é mostrada na Figura 20.

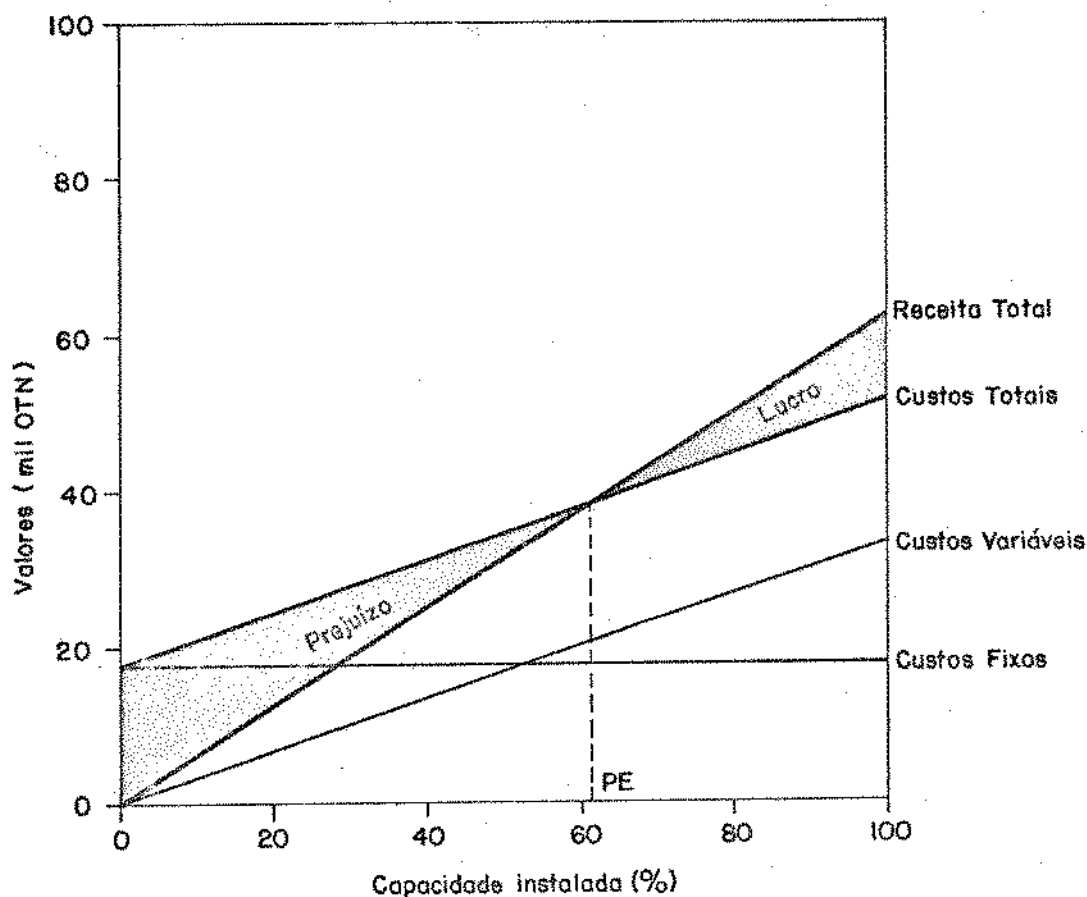


FIGURA 20. Representação gráfica do ponto de equilíbrio de uma unidade industrial com capacidade de produção de 152,7 kg/h de flocos de milho verde.

é possível observar-se pelo gráfico apresentado na Figura 20 que a medida que se aumenta o nível de utilização da capacidade instalada, diminui-se a participação ponderal dos custos fixos e aumenta-se em contrapartida a participação ponderal dos custos variáveis na composição dos custos totais.

Deve-se salientar que determinados componentes dos custos fixos foram estimados no presente estudo com base em um período de operação anual da unidade industrial de apenas seis me-

ses, como é o caso dos salários e encargos sociais da mão-de-obra indireta produtiva e pessoal administrativo, enquanto outros itens foram estimados com base em um período de doze meses anual, como a depreciação, manutenção e seguros.

Como todos os itens correspondentes aos custos variáveis e também à receita total referem-se a um período anual de operação de apenas seis meses, para que se diminua ainda mais a participação ponderal dos custos fixos e para que se viabilize o investimento com um mínimo de risco, seria necessário o processamento de algum outro produto no período ocioso da unidade industrial (equivalente a entressafra do milho verde).

De qualquer forma, embora os custos variáveis, parte dos custos fixos e igualmente as receitas geradas estão associados com seis meses de operação anuais, o ponto de equilíbrio encontrado nesse estudo, embora elevado, coincide aproximadamente com os níveis encontrados em outros projetos de unidades de produção de alimentos desidratados. Assim, por exemplo, LEITE *et alii* (1982) encontraram um ponto de equilíbrio médio de 62,7% para uma unidade industrial processadora de cebola e pimenta desidratadas.

Já com relação à uma unidade de congelamento, ALMEIDA *et alii* (1983) encontraram um ponto de equilíbrio médio de 43,7% para uma unidade processadora de batata pré-frita e hortaliças congeladas (incluindo cenoura, morango e cebola) sendo que, tanto o projeto da unidade de congelamento como o projeto da unidade de desidratados anteriormente citados para fins comparativos, envolveram maiores unidades industriais com maiores capacidades insta-

ladas de produção e que operam durante todo o ano, o que implica em uma diminuição relativa dos custos fixos em função do aumento potencial da produção.

Além disso, os preços de venda dos produtos nesses projetos, diferentemente do presente estudo, foram fixados com base em valores de mercado e não com base em uma porcentagem fixa de lucro sobre os custos de produção unitário do produto, o que certamente altera o potencial de receita bruta e portanto o ponto de equilíbrio da unidade processadora.

5. CONCLUSÕES

Foi possível expressar, através de modelos matemáticos, o efeito das variáveis operacionais - velocidade de rotação dos rolos e pressão de vapor no interior dos rolos - no rendimento da secagem, teor de umidade residual dos flocos, teor de tocoferóis e diferença total em cor, com significância (teste F) de até 5,00%. Os modelos propostos para elucidar os efeitos das variáveis independentes no teor de tiamina, teor de carotenóides, índice de solubilidade em água e impressão global de sabor foram significativos ao nível de 5,62%, 5,30%, 8,73% e 7,85%, respectivamente. Já os modelos propostos para descrever os efeitos dos parâmetros operacionais sobre as variáveis teor de lisina disponível, P.E.R. (Quociente de Eficiência Protéica), digestibilidade aparente da proteína, índice de absorção de água e viscosidade inicial, apresentaram níveis de significância variando de 15,94% a 22,22%.

Os maiores valores de rendimento foram verificados com maiores níveis de velocidade de rotação (entre 2,5 e 3,0 r.p.m.) e menores níveis de pressão de vapor (entre 66,8 e 70 lbf/pol²). Tal combinação, no entanto, não originou um produto que apresentasse os melhores resultados para a maioria das variáveis estudadas, notadamente para aquelas relacionadas com certas características nutricionais (digestibilidade aparente, lisina disponível, tocoferóis, carotenóides e tiamina) e com certas características tecnológicas (índice de solubilidade em água e viscosidade inicial de pasta).

A combinação entre menores níveis de pressão (50 à 55 lbf/pol²) com maiores níveis de velocidade de rotação (2,5 à 3,0 rpm) também resultou em valores elevados de rendimento, o que se deveu ao pequeno efeito da pressão de vapor em relação à velocidade de rotação nessa variável. Essa última combinação mencionada originou, por sua vez, um produto que conciliou os melhores resultados para a maioria das variáveis estudadas, relacionadas com características nutricionais (particularmente no que diz respeito à qualidade nutricional da proteína), sensoriais e tecnológicas, exetquando-se somente as variáveis relacionadas com os teores de vitaminas e pró-vitaminas.

Com relação ao estudo de vida-de-prateleira procedido, pode-se concluir que o filme de polietileno empregado para o acondicionamento do produto, em unidades de 700 gramas, apresentando uma taxa de permeabilidade ao vapor d'água de 1,50 gramas de água/m².dia e 64 micra de espessura, foi adequado para o armazenamento do produto por um período de até 180 dias sendo que, nas análises procedidas a partir de então, detectou-se indícios de deterioração da fração lipídica, constatados por valores elevados dos índices de peróxidos e acidez, característicos de um processo de rancidez oxidativa, sendo esses fenômenos verificados paralelamente a uma piora do perfil de sabor do produto. Deve-se ressaltar que não foram verificadas alterações significativas no valor nutritivo da proteína ao longo do período estudado, a despeito das alterações indesejáveis verificadas para as demais variáveis consideradas.

Finalmente, a partir da avaliação econômica do processo, pode-se concluir que, mediante um nível de investimento razoável, é possível implantar uma unidade industrial de dimensões médias, produtora dos flocos de milho verde. O ponto de equilíbrio dessa unidade, no entanto, resultou elevado, possivelmente por se considerar um período de operação de apenas seis meses por ano e, também, mediante a fixação de um preço final de venda relativamente baixo para o produto final, em comparação com os preços de venda de produtos similares disponíveis no mercado consumidor.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC (AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS). *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists v.2*, St. Paul, 1976.
- ABRAHAMSSON, L.; BENGTSSON, O.; HAMBRAEUS, L. & HOLM, H. Protein quality of milk-cereal based foods for infants and children in relation to processing methods and composition of the products. *Journal of Food Technology* 14(4): 429-440, 1979.
- ADAMS, NICKERSON & STULTS. Zeiss Automatisches Farbmessgerät RFC 3. *Operating instructions*. West Germany, 1978.
- AKESON, W.R. & STAHMANN, M.A. A pepsin pancreatin digest index of protein quality evaluation. *Journal of Nutrition* 83: 257-261, 1964.
- AKPAPUNAN, M.A. Effects of wilting, blanching and storage temperatures on ascorbic acid and total carotenoids content of some Nigerian fresh vegetables. *Qualitas Plantarum - Plants Foods for Human Nutrition* 34(3): 177-180, 1984.
- ALMEIDA, L.A.S.B.; GASPARINO Fº., J.; PASCHOALINO, J.E.; BERNHARDT L.W. & CANTO, W.L. Batata pré-frita e hortaliças congeladas : economia e industrialização. *Estudos econômicos - Alimentos*

processados n.º 18. Campinas, ITAL, 1983, 90p.

AMAYA, D.R. Degradação de Carotenóides. In: AMAYA, D.R.; BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. ed. *Curso sobre Pigmentos Naturais*. Campinas, SBCTA e FEAA-UNICAMP, 1984, p.38-45.

ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F. & GRIFFIN Jr., V.F. Gelatinization of corn by roll and extrusion - cooking. *Cereal Science Today* 14(1): 4-12, 1969.

ANDREW, R.H.; BRINK, R.A.; NEAL, N.P. Some effects of the waxy and sugary genes on endosperm development in maize. *Journal of Agriculture Research* 69: 355-371, 1944.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS). *Official Methods of Analysis*, 11.ed., Washington D.C., 1975.

BEALE, W.L. & GOULD, W.A. Adaptation of a quantitative peroxidase test for detection of quality levels of frozen corn-on-the-cob. *Journal of American Society for Horticultural Science* 74: 465-471, 1959.

BECKER, H.C.; MILNER, R.T. & NAGEL, R.H. A method for the determination of nonprotein nitrogen in soybean meal. *Cereal Chemistry* 17: 447-457, 1940.

BENDER, A.E. Processing damage to protein food: a review.

Journal of Food Technology 7: 239-250, 1972.

BLACK, R.C.; LOERCH, J.D.; McARDLE, L.J. & CREECH, R.G. Genetic interaction affecting phyto glycogen and the phyto glycogen-forming branching enzyme. *Genetics* 53:661-668, 1966.

BLIGH, E.C. & DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemical Physiology* 37: 911-917, 1959.

BLUESTEIN, P.M. & LABUZA, T.F. Effects of moisture removal on nutrients. In: HARRIS, R.S. & KARHAS, E. ed. *Nutritional evaluation of food processing*. 2.ed. Connecticut, The AVI Publishers Comp. Inc. 1975. p.289-323.

BORSATO, D. ; SILVA, R.S.F. Otimização de sistemas alimentares através da metodologia da superfície de resposta. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 5(2): 132-143, 1985.

BOSCOVIC, M.A. Fate of lycopene in dehydrated tomato products: carotenoid isomerization in food system. *Journal of Food Science* 44(1): 84-86, 1979.

BOX, G.E.; HUNTER, W.G. & HUNTER, J.S. *Statistics for Experiments* 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1978, 653p.

BRESSANI, R. The importance of maize for human nutrition in Latin America and other countries. In: BRESSANI, R.; BEHAR, M. & BRAHAM, E. ed. *Nutritional Improvement of Maize*. INCAP, Guatemala, 1972.

BRESSANI, R. & ELIAS, L.G. *Mejoramiento Tecnológico de la Calidad Proteica del Maiz*. INCAP, Guatemala, 1972.

CABRAL, A.C.D. & FERNANDES, M.H.C. Aspectos gerais sobre a vida-de-prateleira de produtos alimentícios. *Boletim do ITAL* 17(4): 371-439, 1980.

COCHRAN, W.G. & COX, G.M. *Experimental design*. 2.ed. New York, John Willey & Sons Inc. 1957. 611p.

CHRISTIANSON, D. D. ; WALL, J. S. ; DIMLER, R. J. & BOOTH, A.N. Nutritionally unavailable niacin in corn. Isolation and biological activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 16:100-104, 1968.

COLONNA, P.; DOUBLIEL, J.L. ; MELCION, J. P. ; MONREDON, F. & MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. *Cereal Chemistry* 61(6): 538-543, 1984.

CONTRERAS-GUZMAN, E. & STRONG III, F. C. Determination of tocopherols (vitamin E) by reduction of cupric ion.

Journal of Association of Official Analytical Chemists 65(5):
1215-1221, 1982.

CONTRERAS-GUZMAN, E.; STRONG III, F.C & SILVA, W J. Fatty acid and vitamin E content of Nutrimaiz, a sugary/opaque-2 corn cultivar. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 30: 1113-1117, 1982.

CREECH, R.G. Carbohydrate synthesis in maize. *Advances in Agronomy* 20: 275-319, 1968.

CRUESS, W.V. *Produtos industriais de frutas e hortaliças*. Rio de Janeiro, Edgard Blucher, 1973. v.1. 446p.

DANG, N.P.D. The building and uses of dynamic models for biological studies. *Journal of Fermentation Technology* 54:397-405, 1976.

DELLA MÔNICA, E.S. & McDOWELL, P.E. Comparison of beta-carotene content of dried carrots prepared by three dehydration processes. *Food Technology* 19: 141-143, 1965.

De MAN, J.M.; TIE, F. DeMAN, L. Formation of short chain volatile organic acids in the automated AOM method. *Journal of American Chemistry Society* 64(7): 993-996, 1987.

DIETRICH, W.C.; HUXSOLL, C.C.; WAGNER, J.R. & GUADAGNI, D.G. Com-

- parison of microwave with steam or water blanching of corn-on-cob. 2. Peroxidase inactivation and flavor retention. *Food Technology* 24(3): 293-296, 1970.
- DUGAN Jr., L.R. Lipids. In: FENNEMA, O.R. ed. *Principles of Food Science. Part.1: Food Chemistry.* New York, Marcel Dekker, 1976,p.139-204.
- ESCHER, F. & NEUKOM, H. Nicht-enzymatische braunungen und optimierung der trocknungsbedingungen bei der walzentrocknung von apfelpuree. *Lebensm.-Wiss. und Technologie* 4(5):145-151, 1971.
- EVANS, B.L. Optimization theory and its application in food processing. *Food Technology* 36(7): 88-93, 1982.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). *Production Yearbook. 1985. v.39. p.107.*
- FANCELLI, A.L. Tecnologia da Produção. In: FANCELLI, A.L. & LIMA, V.A. ed. *Milho: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial.* São Paulo, Secretaria do Comércio, Indústria, Ciência e Tecnologia. 1981. p.1-68.
- FARRER, K.T.H. The thermal destruction of vitamin B1 in foods. *Advances in Food Research* 6: 257-311, 1955.

FORD, F.E. A microbiological method for assessing the nutritional value of protein. 2. A measurement of "available" methionine, leucine, arginine, histidine, tryptophan and valine. *British Journal of Nutrition* 16: 409-425, 1962.

FOX, M.; LONCIN, M. & WEISS, M. Investigations into the influence of water activity, pH and heat treatment on the breakdown of thiamine in foods. *Journal of Food Quality* 5: 161-182, 1982.

FOX, M.; LONCIN, M. & WEISS, M. Investigations into the influence of water activity, pH and heat treatment on the velocity of the Maillard reaction in foods. *Journal of Food Quality* 6: 103-118, 1983.

FRANCO, C.M. Estudos sobre a conservação de sementes de algodão em diversas umidades relativas. *Bragantia* 3(6): 137-149, 1943.

FRITZE, H. Dry gelatinized starch produced on different types of drum dryes. *Industrial and Engineering Chemistry - Process Design & Development* 12(2): 142-148, 1973.

GARCIA, E.E.C. & CABRAL, A.C.D. Principais materiais flexíveis utilizados como embalagem para alimentos. In: SEÇÃO DE EMBALAGENS DO ITAL. *Aspectos técnicos sobre conservação de alimentos acondicionados em embalagens flexíveis*. Campinas, ITAL, 1984, p.32-70.

GONZALES, J.W.; RHODES, A.M. & DICKINSON, D.B. Carbohydrate and enzymic characterization of a high sucrose sugary inbred line of sweet corn. *Plant Physiology* 58: 28-32, 1976.

GOODWIN, T.W. *Chemistry and biochemistry of plant pigments*. 2.ed. London, Academic Press, 1976, v.2. p.57, 153.

HALEVY, S. & GUGGENHEIM, K. The biological availability of heated wheat gluten-glucose mixtures. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 44: 211-217, 1953.

HANNAN, R.S. & LEA, C.H. Studies of the reaction between proteins and reducing sugars in the dry state. IV. The reactivity of the terminal amino groups of lysine in model systems. *Biochimica et Biophysica Acta* 9:293-305, 1952.

HARRIS, R.S. General discussion on the stability of nutrients. In: HARRIS, R.S. & KARMAS, E. ed. *Nutritional evaluation of food processing*. 2.ed. Connecticut, The AVI Publishers Comp. Inc., 1975. p. 1-4.

HAULY, M.C.O.; SILVA, R.S.F. & RAO, C.S. Produção de celulase: uma análise pela metodologia de superfície de resposta. Otimização de nutrientes salinos do meio de cultivo. *Revista Brasileira de Tecnologia* 11: 1-11, 1980.

HAYES, R.E.; NELSON, A.I. & STEINBERG, M.P. Considerations in

- sulfiting sweet corn with an aqueous salt solution prior to dehydration. *Food Technology* 10: 18-22, 1956.
- HEARNE, J.F. Long-term storage of foods. *Food Technology* 18(3): 60-65, 1964.
- HEGSTED, M.D.; MILLS, R.C.; ELVEHJEIN, C.A. & HART, E.B. Choline in the nutrition of chicks. *Journal of Biological Chemistry* 138: 459-466, 1941.
- HODGE, J.E. & HOFREITER, B.T. Determination of reducing sugars and carbohydrates. In: WHYSTLER, R. L. & WOLFROM, M. L., ed. *Methods in Carbohydrates Chemistry*. New York, Academic Press 1962. v.1. p.380-394.
- HOLANDA, N. *Planejamento e projetos*. 12.ed. Fortaleza, Ed. Universidade Federal do Ceará, 1983. 402p.
- HUBINGER, M.D. *Avaliação técnica e econômica de um processo de desidratação de cebolas pela combinação de prensagem e secagem com ar aquecido*. Tese de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. 1984. 170p.
- IDA, E.I.; da SILVA, R.S.F.; FABRE-SANCHES, S.; PERRE DA SILVA, M A. & RAO, C.S. Aplicação da metodologia da superfície de resposta na caracterização de farinha de soja integral de baixo

teor de oligossacarídeos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 3(1): 90-107, 1983.

IFT (INSTITUTE OF FOOD TECHNOLOGISTS). Effect of food processing on nutritive value. *Food Technology* 40(12): 109-116, 1986.

INGLETT, G.E. Corn in perspective. In: INGLETT, G.E. ed. *Corn: culture, processing, products*. Connecticut, AVI Publishing Co. Inc., 1970a. p.1-5.

INGLETT, G.E. Food uses of corn around the world. In: INGLETT, G.E. ed. *Corn: culture, processing, products*. Connecticut, AVI Publishing Co. Inc., 1970b. p.138-150.

ISHIMURA, I.; YANAI, K.; SAWAZAKI, E. & NODA, M. Avaliação de cultivares de milho verde em Paríquera-Açu. *Bragantia* 45(1): 95-105, 1986.

JERGER, E. W. ; ZOELLNER, J. A. & TISHER, R. G. Influence of processing variables on drying rate and quality of dehydrated frozen sweet corn. *Food Technology* 7: 200-202, 1953.

KAREL, M. & HEIDELBAUGH, N.D. Effects of packaging on nutrients. In: HARRIS R.S. & KARMAS, E. ed. *Nutritional evaluation of food processing*. 2.ed. Connecticut, The AVI Publishers Company Inc., 1975. p.412-462.

KE, R. J. & WOJEWODA, A. D. A titrimetric method for determination of free fatty acids in tissues and lipids with ternary solvents and m-cresol purple indicator. *Analytical Chemical Acta* 99: 387-391, 1978.

KHAN, M.A. & EGGUM, B.O. Effect of home and industrial processing on protein quality of baby foods and breakfast cereals. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 30: 369-379, 1979.

KIES, C.; KAN, S. & FOX, H.M. Vitamin B-6 from wheat, rice and corn brans for humans. *Nutrition Report International* 30: 483-491, 1984.

LABUZA, T.P. Kinetics of lipid oxidation in foods. *CRC Critical Review in Food Technology* 2: 355-405, 1971.

LABUZA, T. P. Nutrient losses during drying and storage of dehydrated foods. *CRC Critical Review in Food Technology* 3(2):217-240, 1972.

LEE, C.Y.; McCOON, P.E. & LeBOWITZ, J.M. Vitamin A value of sweet corn. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 29: 1294-1295, 1981.

LEITE, R.S.S.F.; MORETTI, V.A.; CANTO, W.L.; MAIA, M.L.; ALMEIDA, L.A.S.B.; GASPARINO F^o. J. Estudo técnico-econômico para im-

plantação de uma unidade industrial para produção de cebola e pimenta desidratadas. *Estudos econômicos - Alimentos processados nº15*. Campinas, ITAL, 1982. 80p.

LIMA, U.A. Industrialização do milho. In: FANCELLI, A.L. & LIMA, U.A. ed. *Milho: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial*. São Paulo, Secretaria do Comércio, Indústria, Ciência e Tecnologia. 1981. p.77-112.

LUND, D.B. Effects of blanching, pasteurization and sterilization on nutrients. In: HARRIS R.S. & KARMAS, E. ed. *Nutritional evaluation of food processing*. 2.ed. Connecticut, The AVI Publishers Company Inc., 1975. p.205-240.

MADI, L.F.C.; QUAST, D.G.; SOLER, R.M.; GAZETA, G.F.; ORTIZ, S.A. ALVIM, D.D.; CABRAL, A.C.D. & FERNANDES, M.H.C. *Manual de projetos de embalagens para alimentos com base na permeabilidade ao vapor de água*. Campinas, ITAL, 1979. 30ip.

MASURE, M.P. & CAMPBELL, H. Rapid estimation of peroxidase in vegetable extracts - an index of blanching adequacy for frozen foods. *Journal of Fruit Products* 23: 369-374, 1944.

MAURON, J.; MOTTU, F. BUJARD, E. & EGLI, R.H. The availability of lysine, methionine and tryptophan in condensed milk and milk powder. "In vitro" digestion studies. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 59: 433-451, 1955.

McQUEEN, R.E. & NICHOLSON, J.W.G. Modification of the detergent fiber procedure for cereal and vegetables by using alfa amilase. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 62: 676-682, 1979.

MELNICK, J. *Manual de projetos de desenvolvimento econômico*. Rio de Janeiro, Unilivros Cultural. 1981, 293p.

MERTZ, E.T. Nutritive value of corn and its products. In: INGLETT G.E. ed. *Corn: culture, processing, products*. Connecticut, The AVI Publish Comp. Inc. 1970. p.350-359.

MERTZ, E.T.; BATES, L.S. & NELSON, O.E. Mutant gene that changes protein composition and increase lysine content of maize endosperm. *Science* 145: 279-280, 1964.

MILLER, C.F.; GUADAGNI, D. & KOW, S. Vitamin retention in bean powders: cooked, canned and instant. *Journal of Food Science* 38: 493-495, 1973.

MINISTÉRIO DO INTERIOR. Contribuição ao desenvolvimento da agro-indústria. In: *Milho*. 1974. v.14.

MISRA, P.S.; MERTZ, E.T. & GLOVER, D.V. Studies on corn proteins. VI. Endosperm protein changes in single and double mutants of maize. *Cereal Chemistry* 52: 161-166, 1975.

MIZRAHI, S. ; KOPELMAN, I. J. & PERLMAN, J. Blanching by electro conductive heating. *Journal of Food Technology* 10: 281-288, 1975.

MOHAMMAD, A.; FRANKEL-CONRAT, H.; OLCOTT, H.S. The "browning" reaction of proteins with glucose. *Archives of Biochemistry* 24: 157-178, 1949.

NBC (NUTRITIONAL BIOCHEMICALS CORPORATION INC). *ICN Diet Catalog*. 1977-1978, Cleveland, p.18,24.

NCR (THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL). *Recommended dietary allowances*. 9.ed. Washington, D.C., National Academic of Sciences, USA, 1980.

NELSON, A.I.; KEMPE, L.L.; NORTON, H.W. & HOWARD, L.B. Studies on the dehydration of sweet corn. *Food Technology* 1: 9-14, 1954

NELSON, A.I.; STEINBERG, M.P.; LEGAULT, R.R. & NORTON, H.W. A comparison of through-air-flow and cross-air-flow methods for the initial dehydration of sweet corn. *Food Technology* 5 : 254-259, 1955.

NELSON, A.I. & STEINBERG, M.P. Sweet corn. In: INGLETT, G.E. ed. *Corn: culture, processing, products*. Connecticut, The AVI Publishers Co. Inc. 1970. p.314-349.

- NELSON, D.E. ;MERTZ, E.T. & BATES, L.S. Second mutant gene affecting the amino acid pattern of maize endosperm proteins. *Science* 150: 1469-1470 , 1965.
- NEVENS, W.B. & SHAW, D.D. The effect of dairy manufacturing processes upon the nutritive value of milk. II. The apparent digestibility of fresh whole milk and of powdered whole milk. *Journal of Nutrition* 6(2): 139-150, 1933.
- NILSSON, J.L.G., REDALEIU, E., NILSSON, I.M. & FOLKERS, K. On the protection against infraction by corn oil. *Acta Chemica Scandinavica* 22(1): 97-105, 1968.
- NONHENBEL, G. & MOSS, A.H. *Drying of solids in the chemical industry*. London, Butterworths, 1971. p.158-179.
- OSNER, R.C. & JOHNSON, R.M. Nutritional changes in protein during heat processing. *Journal of Food Technology* 3: 81-86, 1968.
- PARK, Y.W. Effect of freezing, thawing drying and cooking on carotene retention in carrots, broccoli and spinach. *Journal of Food Science* 52(4): 1022-1025, 1987.
- PETERS, M.S. & TIMMERHAUS, K.D. *Plant design and economics for chemical engineers*. 2.ed. New York, Mc Graw Hill Inc., 1968, 850p.

- POULSEN, K.P. Optimization of vegetable blanching. *Food Technology* 6: 122-126, 1986.
- REYNA, R.D.; CONTRERAS-G., E.; SGARBIERI, V.C.; AMAYA-F., J. & REYES, F.G.R. Composição e valor nutritivo de uma nova variedade de milho (Nutrimaiz) no estágio de milho verde, submetida a diferentes processos de desidratação. *Ciência e Tecnologia de alimentos* 4(2): 105-115, 1984.
- ROBERTS, T. Comparison: vitamin retention in foods frozen, canned and dried. *Quick Frozen Foods International* 4: 88-96, 1985.
- RUIZ, F.S. *Estudo das variáveis envolvidas no processo de obtenção de farinhas pregelatinizadas de batata doce com rolos aquecidos (double-drum dryer)*. Tese de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. 1984. 106p.
- SANDERS, T.A.B. Nutritional significance of rancidity. In: ALLEN, J.C. & HAMILTON, R.J. *Rancidity in foods*. London, Applied Science Publishers. 1983, 199p.
- SAWAZAKI, E.; POMMER, C.V. & ISHIMURA, I. Avaliação de cultivares de milho para utilização no estágio de verde. *Ciência e Cultura* 31(11): 1297-1302, 1979.
- SCHONHAUS, I. & SGARBIERI, V.C. Characteristics of composition

and protein nutritive value of a new cultivar of maize (Nutimaiz) in two stages of maturity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 31(1): 1-7, 1983.

SGARBIERI, V.C. *Propriedades físico-químicas e nutricionais de proteínas de feijão (Phaseolus vulgaris) variedade Rosinha G2* Tese de Livre Docência. Universidade Estadual de Campinas. 1979. 207p.

SGARBIERI, V.C. Modificações químicas e físicas das proteínas dos alimentos durante o processamento. *Alimentação* 10: 6-21, 1981.

SGARBIERI, V. C .; AMAYA, J.; TANAKA, M. & CHICHESTER, C. O. Response of rats to amino acid supplementation of brown egg albumin. *Journal of Nutrition* 103: 1731-1738, 1973a.

SGARBIERI, V.C.; AMAYA, J.; TANAKA, M. & CHICHESTER, C.O. Nutritional consequences of the Mailard reaction. Amino acid availability from fructose-leucine and fructose-tryptophan in the rat. *Journal of Nutrition* 103: 657-663, 1973b.

SGARBIERI, V.C.; CONTRERAS, E.; AMAYA, F.; da SILVA, W.J. & REYES F.G.R. Composição e valor nutricional de quatro cultivares de milho (Zea mays) em dois estágios de maturação. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 2(2): 180-193, 1982.

SGARBIERI, V.C. ; SILVA, W.J. ; ANTUNES, P. L. & AMAYA-F., J.

Chemical composition and nutritional properties of a sugary-1/
opaque-2 (su1/o2) variety of maize (*Zea mays* L.). *Journal of
Agriculture and Food Chemistry* 25(5): 1098-1101, 1977.

SHOCKMANN, G.D.; CONOVER, M.J.; KOLB, J.J. PHILLIPS, P.M.; RILLEY

L.S. & TOENNIES, G. Lysis of *Streptococcus faecalis*. *Journal
of Bacteriology* 81(1): 36-43, 1961.

SILVA, R.S.F.; IDA, E.I.; PERRE DA SILVA, M.A. & FABRE-SANCHES, S.

Aplicação da metodologia da superfície de resposta para previ-
são de remoção de oligossacarídeos da soja. *Ciência e Tecno-
logia de Alimentos* 1(2): 107-122, 1981.

SILVA, W. J. ; TEIXEIRA, J. P. F. ; ARRUDA, P. & LOVATO, M. B.

Nutrimaiz, a tropical sweet maize cultivar of high nutritional
value. *Maydica* 23: 129-136, 1978.

SOMOGY, M. A new reagent for the determination of sugars.

Journal of Biological Chemistry 160: 661-668, 1945.

SPACKMAN, D.H. ; STEIN, W.H. & MOORE, S. Automatic recording

apparatus for use in chromatography of amino acids. *Analytical
Chemistry* 30: 1190-1206, 1958.

SPADARO, J.J. & PATTON, E.L. Precooked dehydrated sweet potato

flakes. *Food Engineering* 33(7): 46-48, 1961.

SPADARO, J.J.; WADSWORTH J.I. & VIX, H.L.E. Drum drying of foods.

Transactions of the ASAE 9(9): 55-63, 1966.

SPIES, J.R. Determination of tryptophan in proteins. *Analytical*

Chemistry 32: 1412- 1415, 1967.

STEINKRAUS, K.H. & MacDONALD, G.E. Processing quick-cooking,

dehydrated sweet corn. *Food Technology* 21(8): 1136-1140,

1967.

STONE, H.; SIDEL, J.; OLIVER, S.; WOOLSEY, A. & SINGLETON, R.C.

Sensory evaluation by Quantitative Descriptive Analysis.

Food Technology 28(11): 24-34, 1974.

STROHECKER, R. & HENNING, H.M. *Vitamin assay tested methods.*

Stuttgart, Verlag Chemie, 1966. 360p.

TANAKA, M. *Influence of the reaction on the availability of*

amino acids to microorganisms. Thesis MSc. University of

California, Davis. 1968. 57p.

THIJSSSEN, H.A.C. & KERKHOF, P.J.A.M. Effect of temperature-

moisture content history during processing on food quality.

In: HOYER, T. & KVALE, O. ed. *Physical, chemical and biological*

changes in food caused by thermal processing. London, Applied

Science Publishers LTD, 1977. p.10-30.

VAN SOEST, P.J. & WINE, R.H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds IV. Determination of plant cell-wall constituents. *Journal of Association of Official Analytical Chemists* 50(1): 50-55, 1967.

WADSWORTH, J.I. ; KOLTUN, S.F. ; GALLO, A. S. & SPADARO, J.J. Instant sweet potato flakes: factors affecting drying rate on double drum-dryer. *Food Technology* 20: 815-822, 1966.

WADSWORTH, J. I. ; ZIEGLER, G. M. ; GALLO, A.S. & SPADARO, J.J. Factors affecting film thickness on double drum-dryer. *Transactions of ASAE* 10(2): 157-160, 1967.

WALTER Jr., W. M. ; CATIGNANI, G. L.; YOW, L. L. & PORTER, D.H. Protein nutritional value of sweet potato flour. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 31:947-949, 1983.

WATSON, E.L.; GARLAND, M.R.; TUNG, M.A. & MAUSER, A.R. Dehydrated sweet corn quality. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* 12(1): 1-6, 1979.

WEBER, E.J. Corn lipids. *Cereal Chemistry* 55(5): 572-584, 1978.

WOLZAK, A.; BRESSANI, R. & BRENES, R.G. A comparison of in vivo and in vitro estimates of protein digestibility of native and thermally processed vegetables proteins. *Qualitas Plantarum - Plants Foods for Human Nutrition* 31: 31-43, 1981.

WRIGHT, K.N. Nutritional properties and feeding value of corn and its by products. In: WATSON, S.A. & RAMSTAD, P.E. ed. *Corn chemistry and technology*. Minnesota, American Association of Cereal Chemists, Inc. 1987. p.447-455.

APÊNDICE A - Modelos Matemáticos relacionando Condições Operacionais e as Variáveis de Resposta e suas Significâncias

MODELO	SIGNIFICÂNCIA
$\begin{aligned} \text{REND} = & 16,39126984 - 0,908926 \text{PRES} + 14,71428571 \text{VEL} + 0,008166667 \text{PRESE} \\ & - 2,46667 \text{VEL}^2 - 0,0135714 \text{PRES} \text{VEL} \end{aligned}$	0,23%
$\begin{aligned} \text{UMID} = & 12,36825397 - 0,319286 \text{PRES} + 2,57619048 \text{VEL} + 0,002333333 \text{PRESE} \\ & - 0,2 \text{VEL}^2 - 0,0157143 \text{PRES} \text{VEL} \end{aligned}$	4,98%
$\begin{aligned} \text{P.E.R.} = & 3,20238075 - 0,0789286 \text{PRES} + 1,23650794 \text{VEL} + 0,0005 \text{PRESE} \\ & - 0,0311111 \text{VEL}^2 + 0,06428571 \text{PRES} \text{VEL} \end{aligned}$	19,96%
$\begin{aligned} \text{DIG APAR} = & 71,44682540 - 0,373929 \text{PRES} + 13,43650794 \text{VEL} + 0,000833333 \text{PRESE} \\ & - 3,64444 \text{VEL}^2 + 0,09642857 \text{PRES} \text{VEL} \end{aligned}$	22,22%
$\begin{aligned} \text{LYS} = & 136,88468254 - 3,94289 \text{PRES} + 62,76587302 \text{VEL} + 0,03443333 \text{PRESE} \\ & - 8,07556 \text{VEL}^2 - 0,318357 \text{PRES} \text{VEL} \end{aligned}$	15,94%
$\begin{aligned} \text{TIAM} = & 0,20288413 - 0,000882143 \text{PRES} - 0,00378413 \text{VEL} + 0,00001266667 \text{PRESE} \\ & - 0,000088889 \text{VEL}^2 + 0,0000714286 \text{PRES} \text{VEL} \end{aligned}$	5,62%
$\begin{aligned} \text{CAROT} = & 18,06611111 - 0,23575 \text{PRES} - 3,83444 \text{VEL} + 0,002133333 \text{PRESE} \\ & + 0,56888889 \text{VEL}^2 + 0,0165 \text{PRES} \text{VEL} \end{aligned}$	5,30%

MODELO

SIGNIFICANCIA

TDCOF = 6,93619048 - 0,0627143*PRES - 0,893968*VEL + 0,0007*PRES2
+ 0,1555556*VEL2 0,000285714*PRES*VEL 1,82%

I.A.A. = 3,28269841 - 0,0397857*PRES + 1,42952381*VEL + 0,000366667*PRES2
- 0,36*VEL2 - 0,000714286*PRES*VEL 17,01%

I.S.A. = 34,55793651 - 0,102929*PRES + 3,38650794*VEL + 0,000516667*PRES2
- 0,477778*VEL2 + 0,009428571*PRES*VEL 8,73%

VISC INIC = - 310,556 + 13,25000000*PRES + 132,2222222*VEL - 0,0666667*PRES2
- 4,44444*VEL2 - 1,5*PRES*VEL 20,80%

IMP GLOBAL = 4,98571429 + 0,03857143*PRES + 0,40317460*VEL - 0,0005*PRES2
0,0444444*VEL2 + 0,001428571*PRES*VEL 7,85%

SAB ESTRAN = 6,76428571 - 0,116071*PRES - 0,692063*VEL + 0,0015*PRES2
+ 0,2888889*VEL2 - 0,0164286*PRES*VEL 20,60%

COR (D.E.) = 23,96031746 - 0,217857*PRES - 8,00476*VEL + 0,00466667*PRES2
= 2,60000000*VEL2 - 0,107143*PRES*VEL 0,49%

APÊNDICE B - Rendimento em massa das etapas do processo

Etapa	Rendimento(%)
Despalhamento	65,0*
Desgranamento	44,0*
Moagem em "cutter"	97,4*
Moagem em coloidal	98,8*
Secagem	95,0**

* Base úmida

**Base seca

APÊNDICE C - Demanda de pessoal

C.1. Necessidade de operários na linha de produção

Função	Número de Operários
Recepção de matéria-prima	5/turno
Despalhamento	2/turno
Branqueamento	4/turno
Desgranamento	4/turno
Trituração	5/turno
Secagem	4/turno
Embalagem	4/turno
TOTAL	28/turno

C.2. Necessidade de mão-de-obra indireta produtiva

Função	Número de Operários
Auxiliar de laboratório	1/turno
Controlador de linha	1/turno
Caldeirista	1/turno
Mecânico	1/turno
Eletricista	1/turno
Encanador	1/turno
Responsáveis pela limpeza	1/turno
Encarregado	1/turno
TOTAL	8/turno

C.3.Necessidade de PESSOAL Administrativo

Função	Número de Operários
Responsável pelo laboratório	1
Responsável pelo almoxarifado	1/turno
Responsável pelo estoque	1/turno
Comprador de matéria-prima	1
Recepcionista	1
Telefonista	1
Secretária	1
Contador	1
Engenheiro de Alimentos	1
Gerente geral	1
TOTAL	14

APÊNDICE D - Demanda de energia elétrica

item	Demanda Horária (Kw)
Despalhadeira	4,6
Desgranadeira	1,2
Moinho "Cutter"	30,8
Moinho Coloidal	7,6
Secador	15,0
Caldeira	950,0
Iluminação	20,0
TOTAL	1029,2

APENDICE E - Análises de variância relativas às variáveis estudadas por superfície de resposta

SUPERFICIE DE RESPOSTA PARA UMIDADE

RESPONSE MEAN 4.288889
 ROOT MSE 0.3400124
 R-SQUARE 0.9377209
 COEF OF VARIATION 0.07927751

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	5.03626984	0.9044	21.78	0.0164
QUADRATIC	2	0.12817460	0.0230	0.55	0.6239
CROSSPRODUCT	1	0.05761905	0.0103	0.50	0.5311
TOTAL REGRESS	5	5.22206349	0.9377	9.03	0.0498

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	0.34682540	0.11560847

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	12.36825397	9.32599953	1.33	0.2767
X1	1	-0.319286	0.29284246	-1.09	0.3553
X2	1	2.57619048	2.61297302	0.99	0.3969
X1*X1	1	0.002333333	0.002404251	0.97	0.4034
X2*X1	1	-0.0157143	0.02225904	-0.71	0.5311
X2*X2	1	-0.2	0.48967389	-0.41	0.7104

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	3.393175	1.131058	9.78	0.0466
X2	3	1.866508	0.622169	5.44	0.0989

APENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPOSTA PARA RENDIMENTO

RESPONSE MEAN 9.377778
 ROOT MSE 0.2757625
 F-SQUARE 0.9923124
 COEF OF VARIATION 0.02940596

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	25.13698413	0.8471	165.28	0.0009
QUADRATIC	2	4.26746032	0.1438	28.06	0.0114
CROSSPRODUCT	1	0.04297619	0.0014	0.57	0.5068
TOTAL REGRESS	5	29.44742063	0.9923	77.45	0.0023

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	0.22813492	0.07604497

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	16.39126984	7.56372669	2.17	0.1188
X1	1	-0.908929	0.23750595	-3.83	0.0314
X2	1	14.71428571	2.11921668	6.94	0.0061
X1*X1	1	0.008166667	0.001949936	4.19	0.0248
X2*X1	1	-0.0135714	0.0180529	-0.75	0.5068
X2*X2	1	-2.46667	0.39714344	-6.21	0.0084

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	2.418532	0.8061772	10.60	0.0418
X2	3	27.07187	9.023955	118.67	0.0013

APENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPOSTA PARA P.E.R

RESPONSE MEAN 2.233333
 ROOT MSE 0.1206793
 R-SQUARE 0.8319597
 COEF OF VARIATION 0.0540355

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	0.15500000	0.5962	5.32	0.1031
QUADRATIC	2	0.05166667	0.1987	1.77	0.3101
CROSSPRODUCT	1	0.009642857	0.0371	0.66	0.4754
TOTAL REGRESS	5	0.21630952	0.8320	2.97	0.1996

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	0.04369048	0.01456349

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	3.20238095	3.31004069	0.97	0.4047
X1	1	-0.0789286	0.10393743	-0.76	0.5028
X2	1	1.23650794	0.92741234	1.33	0.2746
X1*X1	1	0.0005	0.0008533315	0.59	0.5991
X2*X1	1	0.006428571	0.007900314	0.81	0.4754
X2*X2	1	-0.3111111	0.17379805	-1.79	0.1714

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	0.02964286	0.009880952	0.68	0.6212
X2	3	0.1963095	0.06543651	4.49	0.1244

PÂNDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPOSTA PARA DIGESTIBILIDADE APARENTE

RESPONSE MEAN 75.18889
 ROOT MSE 1.5911
 R-SQUARE 0.8178219
 COEF OF VARIATION 0.02116138

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	25.50674603	0.6118	5.04	0.1099
QUADRATIC	2	6.41769841	0.1539	1.27	0.3990
CROSSPRODUCT	1	2.16964286	0.0520	0.86	0.4229
TOTAL REGRESS	5	34.09408730	0.8178	2.69	0.2222

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	7.59480159	2.53160053

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	71.44682540	43.64134829	1.64	0.2001
X1	1	-0.373929	1.37036678	-0.27	0.8027
X2	1	13.43650794	12.22750069	1.10	0.3521
X1*X1	1	0.0008333333	0.01125078	0.07	0.9456
X2*X1	1	0.09642857	0.10416197	0.93	0.4229
X2*X2	1	-3.64444	2.29144649	-1.59	0.2100

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	4.718532	1.572844	0.62	0.6473
X2	3	31.5452	10.51507	4.15	0.1363

APENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPONSA PARA LYS DISPONIVEL

RESPONSE MEAN 80.12222
 ROOT MSE 4.63424
 R-SQUARE 0.8577703
 COEF OF VARIATION 0.05783964

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	309.75653651	0.6838	7.21	0.0714
QUADRATIC	2	55.15584127	0.1218	1.28	0.3955
CROSSPRODUCT	1	23.64862976	0.0522	1.10	0.3711
TOTAL REGRESS	5	388.56100754	0.8578	3.62	0.1594

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	64.42854802	21.47618267

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	136.88468254	127.10982340	1.08	0.3604
X1	1	-3.94289	3.99133129	-0.99	0.3961
X2	1	62.76587302	35.61382757	1.76	0.1762
X1*X1	1	0.03443333	0.03276903	1.05	0.3701
X2*X1	1	-0.318357	0.30338224	-1.05	0.3711
X2*X2	1	-8.07556	6.67406875	-1.21	0.3129

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	197.762	65.92066	3.07	0.1908
X2	3	214.4477	71.48255	3.33	0.1749

APENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPOSTA PARA TIAMINA

RESPONSE MEAN 0.1886776
 ROOT MSE 0.002734504
 R-SQUARE 0.9322884
 COEF OF VARIATION 0.01449298

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	0.0003056384	0.9226	20.44	0.0179
QUADRATIC	2	0.0000032127	0.0097	0.21	0.8181
CROSSPRODUCT	1	1.19048E-08	0.0000	0.00	0.9707
TOTAL REGRESS	5	0.000308863	0.9323	8.26	0.0562

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	.00002243254	.00000747751

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	0.20286413	0.07500309	2.71	0.0735
X1	1	-0.000882143	0.002355146	-0.37	0.7329
X2	1	-0.00378413	0.02101448	-0.18	0.8686
X1*X1	1	.00001266667	.00001933586	0.66	0.5592
X2*X1	1	.00000714286	0.0001790153	0.04	0.9707
X2*X2	1	-.00008888889	0.003938136	-0.02	0.9834

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	0.0002593275	.00008644249	11.56	0.0372
X2	3	.00004954746	.00001651562	2.21	0.2660

APENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPONSTA PARA CAROTENOIDES

RESPONSE MEAN 8.732222
 ROOT MSE 0.2438028
 R-SQUARE 0.93499
 COEF OF VARIATION 0.02791991

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	2.23771746	0.8158	18.82	0.0201
QUADRATIC	2	0.24706032	0.0901	2.08	0.2714
CROSSPRODUCT	1	0.07985853	0.0291	1.34	0.3303
TOTAL REGRESS	5	2.56463611	0.9350	8.63	0.0530

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	0.17831944	0.05943981

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	18.06611111	6.68712274	2.70	0.0737
X1	1	-0.23575	0.20998001	-1.12	0.3433
X2	1	-3.83414	1.87360843	-2.05	0.1332
X1*X1	1	0.002133333	0.001723946	1.24	0.3039
X2*X1	1	0.0185	0.01596064	1.16	0.3303
X2*X2	1	0.56888889	0.35111619	1.62	0.2036

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	2.354947	0.7849824	13.21	0.0310
X2	3	0.2895472	0.09651574	1.62	0.3501

APENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPONSTA PARA TOCOPEROIS

RESPONSE MEAN 4.556667
 ROOT MSE 0.06695177
 R-SQUARE 0.9688135
 COEFF OF VARIATION 0.01469315

REGRESSOR	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	0.39626667	0.9190	44.20	0.0059
QUADRATIC	2	0.02146667	0.0498	2.39	0.2390
CROSSPRODUCT	1	0.00001904762	0.0000	0.00	0.9521
TOTAL REGRESS	5	0.41775238	0.9688	18.64	0.0182

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	0.01344762	0.00448254

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	6.93619048	1.83638037	3.78	0.0325
X1	1	-0.0627143	0.05766354	-1.09	0.3563
X2	1	-0.893968	0.51451990	-1.74	0.1807
X1*X1	1	0.0007	0.0004734205	1.48	0.2358
X2*X1	1	-0.000285714	0.004383022	-0.07	0.9521
X2*X2	1	0.15555556	0.09642157	1.61	0.2051

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	0.2660857	0.08869524	19.79	0.0177
X2	3	0.1516857	0.0505619	11.28	0.0385

APENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPOSTA PARA IAA

RESPONSE MEAN 3.414444
 ROOT MSE 0.1334067
 R-SQUARE 0.8507861
 COEF OF VARIATION 0.03907128

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	0.23913651	0.6683	6.72	0.0780
QUADRATIC	2	0.0651746	0.1821	1.83	0.3022
CROSSPRODUCT	1	0.0001190476	0.0003	0.01	0.9400
TOTAL REGRESS	5	0.30443016	0.8508	3.42	0.1701

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	0.05339206	0.01779735

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	3.28269841	3.65913385	0.90	0.4358
X1	1	-0.0397857	0.11489919	-0.35	0.7520
X2	1	1.42952381	1.02522180	1.39	0.2575
X1*X1	1	0.0003666667	0.000943328	0.39	0.7234
X2*X1	1	-0.000714286	0.00873352	-0.08	0.9400
X2*X2	1	-0.36	0.19212764	-1.87	0.1577

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	0.007074603	0.002358201	0.13	0.9345
X2	3	0.2974746	0.0991582	5.57	0.0960

APENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPDSTA PARA ISA

RESPONSE MEAN 36.41111
 ROOT MSE 0.6194177
 R-SQUARE 0.9077762
 COEF OF VARIATION 0.01701178

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	11.19371270	0.8969	14.59	0.0285
QUADRATIC	2	0.11539841	0.0092	0.15	0.8665
CROSSPRODUCT	1	0.02074286	0.0017	0.05	0.8311
TOTAL REGRESS	5	11.32965397	0.9078	5.91	0.0673

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	1.15103492	0.38367831

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	34.55793651	16.98964065	2.03	0.1348
X1	1	-0.102929	0.53348579	-0.19	0.8593
X2	1	3.38650794	4.76018388	0.71	0.5282
X1*X1	1	0.0005166667	0.004379945	0.12	0.9136
X2*X1	1	0.009428571	0.04055041	0.23	0.8311
X2*X2	1	-0.477778	0.89206347	-0.54	0.6294

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	0.2782317	0.09274392	0.24	0.8630
X2	3	11.07237	3.690788	9.62	0.0476

PENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPOSTA PARA VISCOSIDADE INICIAL

RESPONSE MEAN 308.8889
 ROOT MSE 18.13019
 R-SQUARE 0.8266602
 COEF OF VARIATION 0.05869485

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	4079.36508	0.7171	6.21	0.0859
QUADRATIC	2	98.41269841	0.0173	0.15	0.8670
CROSSPRODUCT	1	525.0000000	0.0923	1.60	0.2956
TOTAL REGRESS	5	4702.77778	0.8267	2.86	0.2080

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	986.1111111	328.70370370

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	-310.556	497.28214885	-0.62	0.5766
X1	1	13.25000000	15.61498356	0.85	0.4585
X2	1	132.22222222	139.32928415	0.95	0.4126
X1*X1	1	-0.06666667	0.12819979	-0.52	0.6390
X2*X1	1	-1.5	1.18689939	-1.26	0.2956
X2*X2	1	-4.44444	26.11045442	-0.17	0.8757

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	3013.989	1004.63	3.06	0.1917
X2	3	2213.889	737.963	2.25	0.2619

APENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPOSTA PARA IMPRESSAO GLOBAL

RESPONSE MEAN 6.3
 ROOT MSE 0.1240839
 R-SQUARE 0.9144621
 COEF OF VARIATION 0.01969586

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	0.48738095	0.9026	15.83	0.0255
QUADRATIC	2	0.005952381	0.0110	0.19	0.8338
CROSSPRODUCT	1	0.0004761905	0.0009	0.03	0.8716
TOTAL REGRESS	5	0.49380952	0.9145	6.41	0.0785

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	0.04619048	0.01539683

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	4.98571429	3.40342483	1.46	0.2392
X1	1	0.03857143	0.10686976	0.36	0.7421
X2	1	0.40317460	0.95357685	0.42	0.7009
X1*X1	1	-0.0005	0.000877406	-0.57	0.6087
X2*X1	1	0.001428571	0.008123201	0.18	0.8716
X2*X2	1	-0.04444444	0.17870130	-0.25	0.8196

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	0.2071429	0.06904762	4.48	0.1247
X2	3	0.2871429	0.09571429	6.22	0.0838

APENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPOSTA PARA SABOR ESTRANHO

RESPONSE MEAN 3.133333
 ROOT MSE 0.2730632
 R-SQUARE 0.8279304
 COEF OF VARIATION 0.08714782

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	0.92809524	0.7139	6.22	0.0856
QUADRATIC	2	0.0852321	0.0656	0.57	0.6161
CROSSPRODUCT	1	0.06297619	0.0484	0.84	0.4259
TOTAL REGRESS	5	1.07630952	0.8279	2.89	0.2060

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	0.22369048	0.07456349

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	6.76428571	7.48968738	0.90	0.4330
X1	1	-0.116071	0.23518106	-0.49	0.6555
X2	1	-0.692063	2.09847223	-0.33	0.7632
X1*X1	1	0.0015	0.001930848	0.78	0.4939
X2*X1	1	-0.0164286	0.01787618	-0.92	0.4259
X2*X2	1	0.28888889	0.39325590	0.73	0.5158

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	0.5896429	0.1965476	2.64	0.2235
X2	3	0.5496429	0.1832143	2.46	0.2398

APENDICE E (Cont.)

SUPERFICIE DE RESPOSTA PARA CDR (DE)

RESPONSE MEAN 9.944444
 ROOT MSE 0.3968794
 R-SQUARE 0.987167
 COEF OF VARIATION 0.03990966

REGRESSION	DF	TYPE I SS	R-SQUARE	F-RATIO	PROB
LINEAR	2	29.97626984	0.8141	95.15	0.0019
QUADRATIC	2	3.69484127	0.1003	11.73	0.0382
CROSSPRODUCT	1	2.67857143	0.0727	17.01	0.0259
TOTAL REGRESS	5	36.34958254	0.9872	46.15	0.0049

RESIDUAL	DF	SS	MEAN SQUARE
TOTAL ERROR	3	0.47253968	0.15751323

PARAMETER	DF	ESTIMATE	STD DEV	T-RATIO	PROB
INTERCEPT	1	23.96031746	10.88576829	2.20	0.1151
X1	1	-0.217857	0.34182022	-0.64	0.5692
X2	1	-8.00476	3.04999145	-2.62	0.0787
X1*X1	1	0.004666667	0.002806361	1.66	0.1949
X2*X1	1	-0.107143	0.02598185	-4.12	0.0259
X2*X2	1	2.60000000	0.57157161	4.55	0.0199

FACTOR	DF	SS	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB
X1	3	10.37413	3.458042	21.95	0.0152
X2	3	28.65413	9.551376	60.64	0.0035